

SYSTEMY MIKROFALOWE

BUDOWNICTWO RZEMIOSŁO KONSERWACJA ZABYTKÓW



Marek Komraus Siemianowice 2014r.

Wyłącznie do użytku służbowego w firmie MARKOM.

Kopiowanie, rozpowszechnianie oraz wykorzystywanie części lub całości zabronione.

Spis treści

1	Technologia	1
1.1	Zastosowanie	1
1.2	Promieniowanie	1
1.3	Podział materiałów	1
1.4	Działanie mikrofal	2
1.5	Oddziaływanie na organizmy żywe	2
1.6	Częstotliwości robocze	3
2	Generatory mikrofal	4
2.1	MG5	4
2.2	MG4	5
2.3	Podstawowe dane techniczne generatorów MG4 i MG5	6
3	Promiennik MR5	7
4	Falowody	8
4.1	Falowody sztywne serii SW	8
4.2	Falowody kątowe serii AW	9
5	Podnośniki	10
5.1	Podnośnik hydrauliczny HL200	10
5.2	Podnośnik TL340	10
6	Osuszanie budynków	12
6.1	Wilgotność	12
6.2	Osuszanie dyfuzyjne	13
6.3	Osuszanie mikrofalami	13
6.3.1	Temperatura osuszania	14
6.3.2	Osuszanie obiektów historycznych i sakralnych	14
6.3.3	Wydajność mikrofal podczas osuszania	15
6.3.4	Błędy i mity osuszania mikrofalami	15
7	Dezynsekcja	16
7.1	Degradacja biologiczna	16
7.2	Zwalczanie metodami chemicznymi	16
7.3	Dezynsekcja mikrofalami	17
7.4	Wydajność technologii mikrofalowej	18
8	Urządzenia pomiarowe	19
8.1	Miernik pola mikrofalowego TM-195	19
8.2	Wilgotnościomierz LB-796	19

1 Technologia

1.1 Zastosowanie

Mikrofale należą do fal elektromagnetycznych w przedziale częstotliwości od 300 MHz do 300 GHz. Najbardziej znane zastosowania to: kuchenka mikrofalowa, telefon komórkowy, transmisja danych (Wi-Fi), telewizja satelitarna, radary.

Firmy dysponujące technologią mikrofalową skupiły się na dziedzinach takich jak medycyna, farmacja oraz przemysł ciężki. W budownictwie, rzemiośle oraz konserwacji zabytków pozostała przestrzeń, która otwiera szereg możliwości. Badania oraz doświadczenia wykazały, że zastosowanie technologii mikrofalowej w tych dziedzinach przynosi wymierne korzyści.

1.2 Promieniowanie

Promieniowanie można podzielić na dwie grupy: promieniowanie jonizujące oraz niejonizujące. Przykładem promieniowania jonizującego jest promieniowanie jądrowe lub rentgenowskie. Po usunięciu lub wyłączeniu źródła takiego promieniowania pozostają trwałe zmiany w strukturze materii lub szczątkowe promieniowanie.

Mikrofale to promieniowanie niejonizujące. Promieniowanie tego typu nie może rozbić jądra atomu, nie wybije też elektronu z jego orbity. Dlatego atomy materii nie zostaną zmienione w jony. Efektem działania mikrofal jest jedynie wzrost temperatury materiału. Po usunięciu źródła mikrofal (wyłączeniu urządzenia) nie pozostaje żadna forma promieniowania wtórnego czy resztkowego, materiał nie jest też radioaktywny. Ogólnie mówiąc, nic poza wyższą temperaturą materiału nie świadczy o działaniu mikrofal. W tym samym ułamku sekundy, w którym generator zostaje wyłączony, znika promieniowanie mikrofalowe.



Rysunek 1: Znak ostrzegawczy przed promieniowaniem mikrofalowym (niejonizującym)

1.3 Podział materiałów

Mikrofale oddziałują na wszystkie materiały, do których dotrą. Sposób oddziaływania zależy od rodzaju materiału. Na potrzeby tego opracowania uproszczone zostaną niektóre aspekty oddziaływań, nie będzie to jednak sprzeczne z prawami fizyki.

Materiały poddane działaniu mikrofal można podzielić na:

- izolatory - mikrofałe przechodzą przez te materiały nie powodując żadnych zmian,
- przewodniki - mikrofałe odbijają się od nich nie powodując żadnych zmian,
- dielektryki - mikrofałe wnikają do nich, powodując wzrost temperatury.

Do izolatorów zaliczamy praktycznie wszystkie materiały termoplastyczne. Przewodniki to bez wyjątku wszystkie metale. Dielektrykami są woda, białka, węgle, związki organiczne itp.

W budownictwie, rzemiośle oraz konserwacji zabytków mamy do czynienia głównie z cegłą, betonem, wapnem, cementem, wapieniem, drewnem itp. Większość z tych materiałów można by zaliczyć do izolatorów. Teoretycznie, mikrofałe oddziałujące na całkowicie suchy mur nie spowodują wzrostu jego temperatury. W praktyce mur nigdy nie jest całkowicie pozbawiony wody oraz innych związków i soli, podobnie jak pozostałe materiały budowlane.

1.4 Działanie mikrofał

Mikrofałe podnoszą temperaturę materiałów, wprowadzając cząstki materii w szybkie drgania lub zmianę polaryzacji dipoli. Mikrofałe wnikając do materiału powodują, że temperatura rośnie nie tylko na powierzchni ale również w głębszych warstwach. Dzięki temu materiał jest ogrzewany w całym jego przekroju, nie występują więc naprężenia termiczne. Głębokość wnikania mikrofał jest zależna od rodzaju materiału i stopnia jego zawilgocenia.

Dla porównania, w trakcie ogrzewania materiału innymi metodami, najpierw jest ogrzewana powierzchnia a dopiero później ciepło jest dystrybuowane w głąb materiału. Jeżeli materiał jest złym przewodnikiem ciepła – np. drewno –, nawet wysoka temperatura powierzchni nie gwarantuje dużego wzrostu temperatury wewnątrz materiału.

1.5 Oddziaływanie na organizmy żywe

Wszystkie organizmy żywe zawierają wodę. Ich komórki odżywiane są węglowodanami i cukrami. Składają się z białek i wielu innych związków chemicznych. Można więc zaliczyć je do grupy dielektryków, niezależnie czy będziemy mieli na myśli rośliny, zwierzęta czy ludzi.

Mikrofałe powodują wzrost temperatury wewnątrzkomórkowej. Szybkość z jaką wzrasta temperatura zależna jest od mocy źródła mikrofał, masy organizmu oraz zdolności adaptacyjnych. Przykładowo, godzinna rozmowa przez telefon komórkowy powoduje wzrost temperatury mózgu średnio o 1°C. Na szczęście mózg jest na bieżąco schładzany (mechanizm adaptacji) więc długa rozmowa przez telefon nie musi oznaczać problemów zdrowotnych. Przy znacznie większych mocach organizm ludzki nie będzie w stanie się obronić i może dojść do uszkodzeń ciała.

Wykorzystujemy tę właściwość mikrofał przy likwidacji szkodników drewna, niszczeniu grzybów, pleśni oraz mikroorganizmów. Gwałtowny wzrost temperatury materiału w jakim żyją te organizmy, jak również bezpośrednie działanie mikrofał na żywe komórki powoduje, że następuje hipertermia (przegrzanie) a w efekcie śmierć.

1.6 Częstotliwości robocze

W ramach międzynarodowych porozumień wszystkie częstotliwości radiowe zostały podzielone na pasma (zakresy). Dane pasmo może być wykorzystywane wyłącznie do określonych celów. Taki podział eliminuje wzajemne zakłócanie się urządzeń należących do różnych grup.

Urządzenia mikrofalowe oferowane przez MARKOM pracują wyłącznie w pasmach ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Pasma ISM (*ISM bands*) to grupa ponad 10-ciu wydzielonych zakresów częstotliwości. Z tego 6 zakresów ma zasięg ogólnosiwiatowy (*Worldwide*). W Europie najbardziej powszechnym pasmem jest 2450 MHz oraz 5800 MHz. W obydwu Amerykach używane jest pasmo 915 MHz.

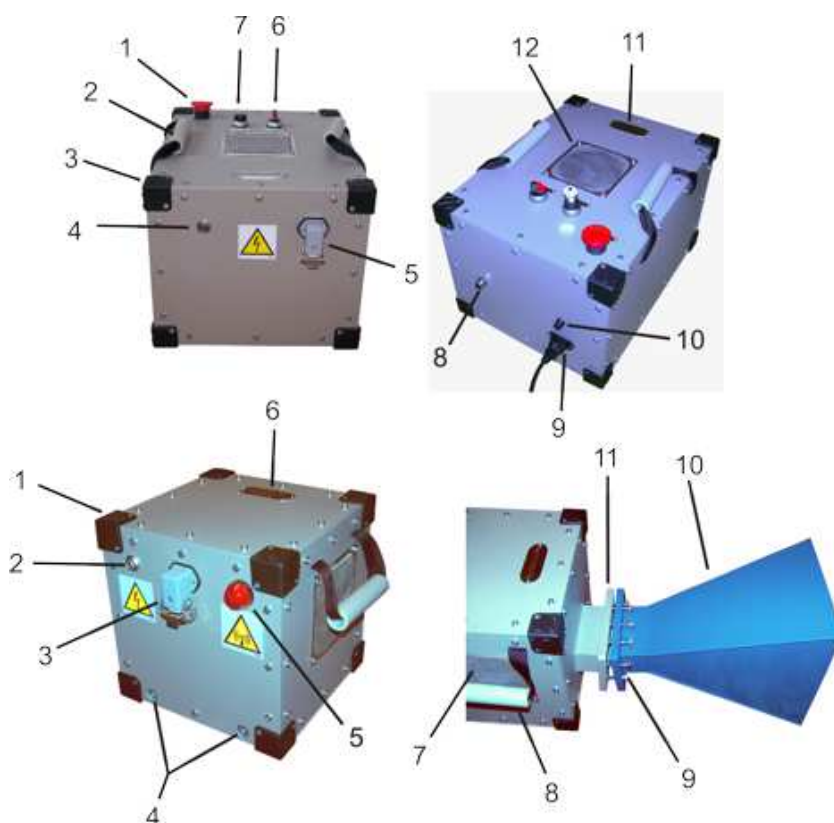
2 Generatory mikrofal

Urządzenia produkowane przez MARKOM doskonale sprawdzają się w firmach remontowych, budowlanych, dezynfekcyjnych oraz zajmujących się konserwacją zabytków. Używane są w mieszkaniach, budynkach mieszkalnych, zakładach produkcyjnych, halach magazynowych, obiektach użyteczności społecznej (szpitalach, szkołach, kinach, teatrach), gospodarstwach rolnych, budowlach sakralnych i historycznych (kościóły, kaplice, klasztory, zamki, pałace, dwory). Przy ich pomocy można wykonywać prace w miejscach trudno dostępnych, na dużej wysokości oraz w ciasnych pomieszczeniach. Mogą pracować również jako autonomiczne źródło mikrofal w liniach technologicznych lub laboratoriach.

2.1 MG5

Generator mikrofal z serii MG5 dedykowany jest do osuszania konstrukcji budowlanych, niszczenia grzybów i likwidacji szkodników drewna.

Urządzenie podzielone zostało na dwa moduły: zasilania oraz mikrofal. Moduł zasilania odpowie-



Rysunek 2: Najważniejsze elementy na obudowie

dzialny jest za dostarczanie niezbędnych napięć oraz sterowanie pracą wszystkich układów. Na obudowie umieszczone są wszystkie przełączniki i gniazda. W trakcie prowadzonych prac istotny jest czas przez jaki mikrofałe oddziałują na materiał. Nowe urządzenia wyposażane są w programowany licznik, który pozwala ustawić czas z dokładnością do 1s, przez jaki urządzenie ma generować mikrofałe. Po upływie zadanego czasu urządzenie jest automatycznie wyłączone.



Rysunek 3: Programowany licznik czasu

Na życzenie Użytkownika generator może zostać wyposażony w układy współpracujące z zewnętrznym systemem bezpieczeństwa. Może to być bariera laserowa, czujnik nacisku, ogrodzenie bezpieczeństwa itp. Takie systemy mają chronić wyznaczoną strefę wokół urządzenia. Wejście człowieka do chronionej strefy automatycznie wyłącza urządzenie mikrofalowe.

Znacznie mniejszy i lżejszy moduł mikrofal generuje energię, która jest doprowadzona do wyjścia zakończonego kołnierzem mikrofalowym. Do kołnierza mocowane są elementy wyposażenia takie jak falowody i promienniki. Wewnętrzny układ kontroli temperatury i wentylacji zabezpiecza wrażliwe elementy generatora przed przegrzaniem. Lampa błyskowa na obudowie sygnalizuje pracę urządzenia mikrofalowego. Moduł mikrofal może być ustawiony na ziemi lub mocowany do podnośnika. Urządzenie poprawnie pracuje w dowolnej pozycji.

Kable sterowania i wysokiego napięcia są odłączane od modułów, zapewniając duży promień działania modułu mikrofal, bez konieczności przesuwania modułu zasilania.

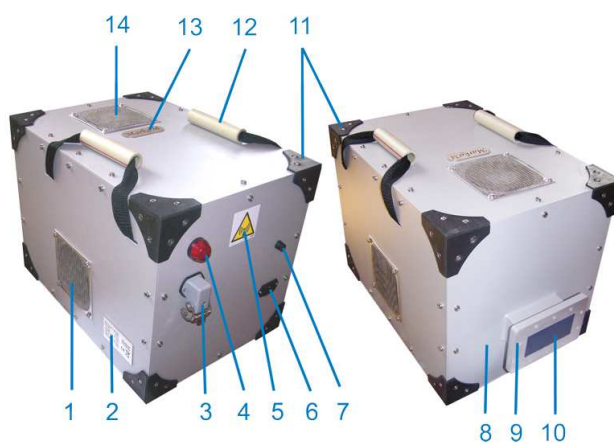
2.2 MG4

Generator mikrofal MG4 to kompaktowa konstrukcja, wszystkie układy umieszczono w jednej obudowie. Doskonale sprawdza się przy osuszaniu fundamentów i murów. Może być również używany do niszczenia grzybów oraz likwidacji szkodników drewna. Jednak ze względu na większe gabaryty niż MG5, trudniej jest nim manewrować w ciasnych przestrzeniach. Nie jest też fabrycznie dostosowany do pracy na podnośniku. Najchętniej używany jest przez firmy budowlane i remontowe. Podobnie jak MG5, prace przy jego użyciu mogą być prowadzone w budynkach mieszkalnych jedno- i wielorodzinnych, obiektach użyteczności publicznej, gospodarstwach rolnych, kościołach lub zamkach. Stabilna, kompaktowa konstrukcja jest zaletą, gdy większość prac prowadzona jest na poziomie gruntu, z podestów, rusztowań, na niewielkich wysokościach.

Kompaktowa konstrukcja oparta jest na spawanym, aluminiowym szkielecie. Wszystkie gniazda oraz elementy sygnalizacji umieszczono na obudowie urządzenia. Sterowanie odbywa się z panelu, który jest połączony z urządzeniem kablem o długości 10m.

Generator posiada cichy i wydajny system wentylacji oraz kontroli temperatury wewnętrznej, zabezpieczając wrażliwe elementy przed przegrzaniem. Urządzenie może współpracować z zewnętrznym systemem bezpieczeństwa, który chroni miejsce pracy przed dostępem osób niepowołanych.

Wytworzona energia mikrofalowa jest doprowadzona do wyjścia zakończonego kołnierzem. Kołnierz



Rysunek 4: Najważniejsze elementy na obudowie

mikrofalowy służy do mocowania elementów wyposażenia, takich jak falowody i promienniki. Lampka błyskowa sygnalizuje, że urządzenie mikrofalowe pracuje. Generator może pracować w dowolnej pozycji, pod warunkiem, że nie zostaną zasłonięte otwory wentylacyjne.

2.3 Podstawowe dane techniczne generatorów MG4 i MG5

Użytkownik otrzymuje kabel sieciowy zgodny ze standardem swojego kraju lub odpowiedni adapter. Długie kable sterowania i wysokiego napięcia pozwalają sterować pracą urządzeń z bezpiecznej odległości.



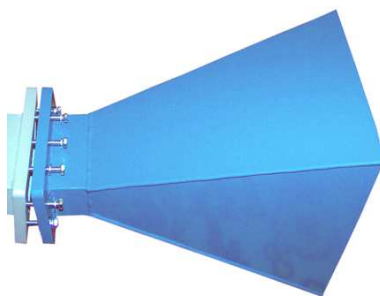
Rysunek 5: Przykładowe standardy stosowanych przez nas wtyków zasilających

- zasilanie jednofazowe 230 V \sim ,
- max pobór prądu 7 A,
- moc mikrofal 1.25 kW,
- wyjście mikrofal zakończone kołnierzem mikrofalowym,
- możliwość współpracy z zewnętrznym systemem bezpieczeństwa,
- waga ok. 26 kg,
- średni czas pomiędzy awariami (MTBF) >2000 h.

3 Promiennik MR5

Jest to uniwersalny rodzaj anteny tubowej, której zadaniem jest skupienie i skierowanie wiązki mikrofal na wybrany obszar. Wymiary promiennika zapewniają optymalne warunki pracy przy większości prac, do których wykorzystuje się technologię mikrofalową. Wyposażony w kołnierz mikrofalowy jest mocowany do generatora lub falowodu za pomocą 10 śrub. Mocowanie promiennika bez problemu wykona jedna osoba przy wykorzystaniu dwóch kluczy płaskich #10. Promiennik jest w całości wykonany z aluminium i pomalowany proszkowo na wybrany przez użytkownika kolor z palety RAL. Współpraca promiennika z generatorem pozwala skutecznie:

- osuszać fundamenty, mury i przegrody budowlane o grubości do 0.5 m,
- niszczyć grzyby i pleśnie na mokrych ścianach i drewnianych elementach konstrukcyjnych,
- likwidować szkodniki drewna w belkach o max. przekroju 20x20 cm.



Rysunek 6: Uniwersalny promiennik mocowany do generatora

Podstawowe dane techniczne:

- pasmo pracy: 1.70 ÷ 3.20 GHz,
- maksymalna moc wejściowa: 6000 W,
- zysk energetyczny: 16 dBi (wynik symulacji komputerowej),
- wejście mikrofal zakończone kołnierzem,
- wymiary: 26 x 21 x 31 cm,
- waga 0.7 kg.

4 Falowody

Falowód jest rodzajem przedłużenia pomiędzy generatorem a promiennikiem. Rozróżniamy falowody proste oraz kątowe. Jeżeli znajdzie taka potrzeba, pozwala umieścić promiennik w miejscach gdzie nie zmieści się generator (np. pod schodami), wysoko położonych (pod sufitem) lub za przeszkodami (nad szafą). Falowody wprowadzają niewielkie tłumienie. Straty mocy na oferowanych falowodach, niezależnie od długości i kształtu nie przekraczają 1%. Kołnierze falowodu, generatora i promiennika są kompatybilne. Falowody wykonano z aluminium, malowanego na wybrany kolor z palety RAL.



Rysunek 7: Przykładowe zastosowania falowodów

4.1 Falowody sztywne serii SW

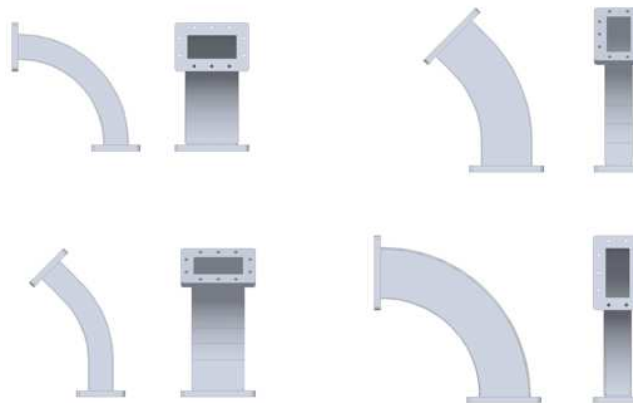
Sugerowane długości falowodów prostych, przy typowych pracach to 0.5, 1.0 oraz 1.5m. Do generatorów umieszczonych na rusztowaniach czy podnośnikach MARKOM nie używa falowodów >1.0m. Długa konstrukcja byłaby niestabilna.



Rysunek 8: Oferowane długości 0.5, 1.0 oraz 1.5m

4.2 Falowody kątowe serii AW

Promiennik ma największą skuteczność działania, gdy jego apertura (powierzchnia czynna) jest ustawiona równoległe do nagrzewanego materiału. W przypadku gdy promiennik jest przymocowany bezpośrednio do generatora lub poprzez falowód sztywny, są one ustawione w tej samej płaszczyźnie. W takim układzie dotarcie z promiennikiem np. do narożników ścian nie jest możliwe. Pozwalają na to falowody kątowe. Odpowiednio wyprofilowane, są zakrzywione w płaszczyźnie E lub H. Standardowo oferowane kąty zagięcia to 30, 45 oraz 90°.



Rysunek 9: Kątowe elementy mikrofalowe AWE90, AWH45, AWE45, AWH90

5 Podnośniki

5.1 Podnośnik hydrauliczny HL200

Podnośnik hydrauliczny HL200 jest prosty w montażu i łatwy w obsłudze. Podnoszenie na wybraną wysokość jest regulowane przez dźwignię naciskaną nogą oraz odkręcany zawór. Stabilną podstawę tworzy krzyżak z metalowymi kółkami. Do platformy mocowany jest moduł mikrofal generatora MG5. Kąt nachylenia platformy jest regulowany w zakresie od -30 do $+70^{\circ}$. Podnośnik HL200 pozwala umieścić promiennik na wysokość 2m. Zastosowanie falowodów zwiększa zasięg do 4 m.



Rysunek 10: Urządzenie mikrofalowe zamontowane na podnośniku hydraulicznym

Podstawowe dane techniczne:

- max. wysokość podnoszenia: 2.0 m,
- rozstaw podstawy: 57 x 57 cm,
- waga: 37 kg.

5.2 Podnośnik TL340

Podnośnik teleskopowy TL340 wykonany jest z wytrzymałego aluminium. Waży niewiele, po złożeniu przenoszony może być w torbie. Montaż i ustawienie nie wymaga użycia narzędzi. Teleskopowe nogi wyposażone są w kółka z blokadą. Wysokość i szybkość podnoszenia są sterowane elektrycznie. Moduł mikrofal generatora, mocowany jest do platformy podnośnika przy użyciu 4 śrub. Kąt nachylenia platformy jest ustawiany ręcznie w zakresie od -45 do $+90^{\circ}$. Podnośnik pozwala unieść moduł mikrofal na wysokość ponad 3 m. Korzystając z falowodów, promiennik można ustawić na wysokości nawet ponad 5 m.



Rysunek 11: Podnośnik teleskopowy TL340

Podstawowe dane techniczne:

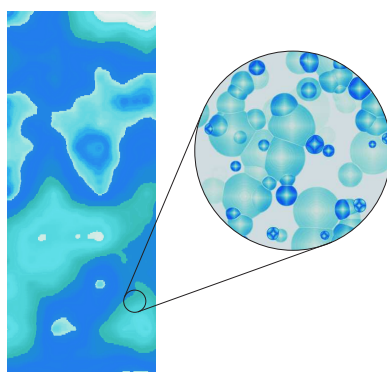
- max wysokość podnoszenia: 3.3 m,
- rozstaw podstawy : 110 x 110 cm,
- waga: 21 kg.

6 Osuszanie budynków

6.1 Wilgotność

Praktycznie wszystkie materiały budowlane i konstrukcje zawierają wodę. Wilgotność materiałów składowanych w magazynach waha się od 1 do 5%. Działania mające na celu zabezpieczenie muru (fundamentu) przed wodą gruntową lub podciąganiem wody kapilarami nazywa się hydroizolacją, nie powoduje ona jednak osuszenia ścian. Po wykonaniu hydroizolacji, ściany wysychają samoistnie (naturalnie) w czasie od kilku miesięcy do kilku lat.

Woda w materiałach budowlanych to małe, oddzielone od siebie kropelki znajdujące się pomiędzy pakietami materiału, niewielkie porcje wody zebranej w zagłębieniach lub pęknięciach oraz woda w mikroskopijnych kapilarach (cienkich rurkach).



Rysunek 12: Rozkład wilgoci w ścianie oraz kropelki wody uwięzione w materiale

W budownictwie przyjęło się używać tzw. wilgotności masowej. Jest to wyrażony w % stosunek masy wody zawartej w materiale do masy materiału suchego.

$$w_m = \frac{m_w}{m_s} * 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- w_m wilgotność materiału w %,
- m_w masa wody zawartej w materiale,
- m_s masa suchego materiału.

Nie wszystkie kraje mają precyzyjnie określone dopuszczalne poziomy wilgotności materiałów i konstrukcji budowlanych. Tabela przedstawia jak można klasyfikować poziomy wilgotności murów:

- od 0 do 3% mury o dopuszczalnej wilgotności (stan naturalny),
- od 3 do 5% mury o podwyższonej wilgotności (kontrolować czy zawilgocenie nie wzrasta),
- od 5 do 8% mury średnio wilgotne (sprawdzić jaka jest przyczyna zawilgocenia i ją usunąć),
- od 8 do 12% mury wilgotne (znaleźć i usunąć przyczynę zawilgocenia, rozpocząć osuszanie),
- powyżej 12% mury bardzo wilgotne (usunąć przyczynę, rozpocząć intensywne osuszanie).

Przykładowa ilość wody jaka może znajdować się w murze. $1m^3$ cegieł waży ok. 1600 kg. Gdy mur

ma wilgotność 15%, to znajduje się w nim 240 kg wody. Osuszając go do poziomu 5% należy z 1m³ muru usunąć co najmniej 160 kg wody.

6.2 Osuszanie dyfuzyjne

Naturalne wysychanie przegród budowlanych jest zależne od temperatury i wilgotności powietrza wewnątrz oraz na zewnątrz budynku, rodzaju materiału użytego do budowy konstrukcji oraz szybkości z jaką powietrze opływa powierzchnię przegrody.

Przyspieszyć wysychanie ścian można przez wymuszenie cyrkulacji powietrza oraz podniesienie temperatury, jednak ogrzewanie pomieszczeń bez zapewnienia dobrej wentylacji doprowadzi do rozwoju grzybów i pleśni.

Powszechnie stosowane są osuszacze powietrza. Powietrze opływa wilgotną przegrodę i trafia do osuszacza, gdzie skrapla się woda. Warunkiem skuteczności tej metody jest ograniczenie do minimum napływu świeżego, wilgotnego powietrza z zewnątrz. Ten rodzaj osuszania jest nieefektywny w dużych pomieszczeniach takich jak hale, magazyny, kościoły oraz obiektach otwartych (przejścia, tunele), gdzie wilgotne powietrze stale napływa z zewnątrz.

Przy takim osuszaniu powtarza się cykl:

- osuszanie cienkiej warstwy na powierzchniowa ściany,
- woda kapilarami przemieszcza się z miejsc o większej wilgotności do miejsc bardziej suchych,
- na powierzchnię, poprzez dyfuzję, transportowana jest porcja wilgoci z głębszych warstw.

Ilość wody zebranej przez osuszacz powietrza nie jest równa ilości wody odebranej z muru. Ocenia się, że od 30 do 50% wody zebranej przez tego typu osuszacz, to woda, która była zawarta w powietrzu napływającym do pomieszczenia z zewnątrz.

6.3 Osuszanie mikrofalami

Technologia mikrofalowa nie ma ograniczeń, które mają inne metody. Całkowicie suchy mur ma cechy izolatora, trudno go nagrzać mikrofalami. Mikrofałe nagrzewają jedynie pojedyncze oddzielone od siebie kropelki wody. Wytworzona para wodna przeciska się pomiędzy pakietami materiału oddając po drodze część energii.

Podczas osuszania mikrofalami nie nagrzewa się muru, żeby doprowadzić do parowania wody. Wzrost temperatury muru jest skutkiem ubocznym osuszania. Mur można efektywnie osuszać nawet gdy jego temperatura nie przekracza 60°C.

Generalnie dla mikrofal nie ma zbyt grubych murów. Z reguły, mur osusza się z jednej strony. Czym grubszy mur, tym dłuższą drogę musi przebyć para. Jeżeli jest możliwość osuszania grubego muru z dwóch stron, to para wodna będzie pokonywała w każdą stronę jedynie połowę drogi.

Podczas osuszania z muru nie będą wydostawać się obłoki pary. Jedynie przy określonych warunkach temperatury i wilgotności powietrza można takie zjawisko zaobserwować.

Mury chronione przez tynki, okładziny, płyty karton-gips lub grubą warstwę farby trudniej osuszać.

Struktury te dobrze absorbują wodę, która w trakcie osuszania mikrofalami szybko się schładza i skrapla. Potrzebna jest więc dodatkowa porcja energii mikrofalowej. Tam gdzie jest to możliwe, należy zbić tynki i zdjąć z muru wszystkie okładziny i płyty. Proces osuszania otynkowanego muru jest możliwy ale bardziej czasochłonny.

Przy dobrej wentylacji pomieszczenia para wodna z muru jest odprowadzana na zewnątrz. Jeżeli osuszany jest fundament lub piwnica, to przy słabej wentylacji zaleca się użycie osuszacza powietrza. Odbierze on nadmiar wilgoci powstałej w trakcie osuszania mikrofalami.

Para wodna powstająca podczas osuszania mikrofalami nie transportuje na zewnątrz minerałów i soli zawartych w murze. Ma to znaczenie przy osuszaniu zabytkowych obiektów lub fresków. W każdej innej metodzie osuszania, wewnątrz muru przemieszcza się nie para wodna a woda, z którą transportowane są różne związki, tworzące na powierzchni białe plamy i wykwity solne.

6.3.1 Temperatura osuszania

Mikrofałe przechodzą przez suchy materiał i nie nagrzewają go. Gdy dotrą do uwiecznionej w materiale kropli wody, zaczyna ona parować. Czym dłuższe działanie mikrofal, tym więcej kropli paruje, temperatura materiału automatycznie rośnie. Najlepszą efektywność osuszania osiąga się gdy temperatura materiału utrzymywana jest na poziomie 80–100°C. Wtedy kolejna porcja pary wodnej praktycznie nie będzie oddawała ciepła do otaczającego ją materiału. Dalszy wzrost temperatury materiału nie poprawia znacząco szybkości osuszania.

6.3.2 Osuszanie obiektów historycznych i sakralnych

W obiektach tego typu są grube mury, ściany z kamieni i cegieł, zaprawy wapienne, malowidła na ścianach, gliniane tynki itp. Wykorzystanie technologii mikrofalowej może być jedynym sposobem na szybkie osuszenie i podjęcie dalszych prac konserwatorskich. Nie ma ograniczeń związanych z kubaturą obiektu, można osuszać przy stosunkowo niskiej temperaturze muru, podczas osuszania na powierzchnię ściany nie są transportowane sole i minerały. Żadna inna metoda nie pozwoli tak szybko osuszyć kamiennych łuków nad ołtarzem, kopuły w kaplicy czy fragmentu średniowiecznych murów klasztoru.



Rysunek 13: Osuszanie kaplicy pod nadzorem konserwatora zabytków przy temperaturze $\leq 60^{\circ}\text{C}$

6.3.3 Wydajność mikrofal podczas osuszania

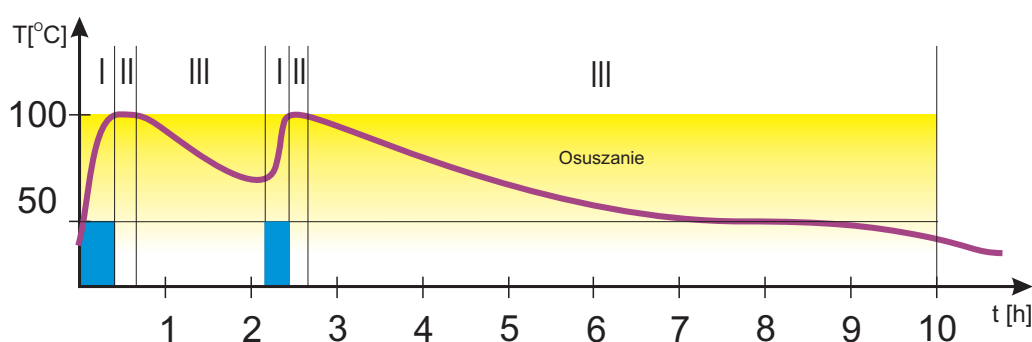
Osuszanie mikrofalami składa się z trzech etapów, które mogą być powtarzane cyklicznie:

I nagrzewanie (urządzenie włączone),

II stabilizowanie się temperatury wewnątrz materiału (urządzenie wyłączone),

III stygnięcie (urządzenie wyłączone),

W trakcie pierwszej części procesu temperatura materiału bardzo szybko rośnie. Proces osuszania rozpoczyna się już od temperatury około 50°C. W drugim etapie temperatura na powierzchni zaczyna nieznacznie spadać, wewnątrz materiału stabilizuje się na wymaganym poziomie. Proces osuszania trwa pomimo wyłączonego urządzenia. Trzeci etap charakteryzuje się stopniowym spadkiem temperatury wewnątrz materiału. Gdy urządzenie mikrofalowe zostanie włączone ponownie, temperatura na powierzchni oraz wewnątrz bardzo szybko wróci do poziomu maksymalnego. Po zakończeniu pracy generatora mikrofal, temperatura materiału będzie sukcesywnie spadać do poziomu wyjściowego. Proces osuszania trwać będzie jednak jeszcze przez wiele godzin. Jest to wynik zakumulowanej w materiale energii, która pozwala w dalszym ciągu na przemieszczanie się pary wodnej na zewnątrz.



Rysunek 14: Etapy procesu osuszania mikrofalami

Przeciętnie na osuszenie 1m³ muru potrzebne jest dostarczenia 50–70 kWh energii (zależne to jest od stopnia zawilgocenia). Dysponując urządzeniem o mocy 1,25 kW potrzeba na to 40–56 h. Korzystając z dwóch takich urządzeń czas zostanie osuszania zostanie skrócony dwukrotnie.

6.3.4 Błędy i mity osuszania mikrofalami

Jeżeli temperatura materiału przekroczy 150°C zaczną powstawać mikropęknięcia w cegle lub elemencie betonowym. Kruszyć się zaczyna zaprawa wapienna.

Jeżeli podczas osuszania temperatura materiału nie przekroczy 130 °C, to ciśnienie pary wodnej nie jest w stanie spowodować pęknięcia muru.

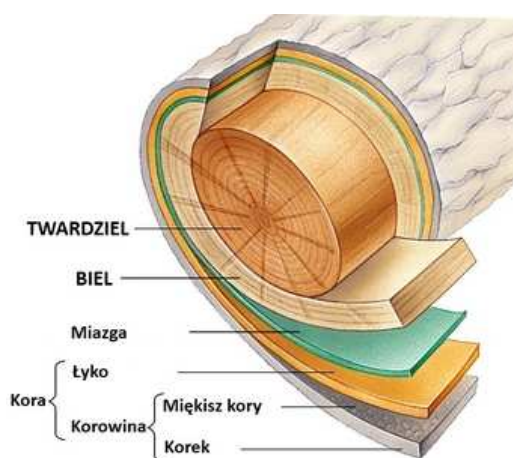
Mikrofałe nie niszczą instalacji elektrycznych znajdujących się w ścianie. Izolacja przewodów topi się powyżej 140 °C. Przegrzanie muru powoduje uszkodzenia kabli.

Temperatura muru powyżej 100 °C nie podnosi znacznie wydajności osuszania. Podobną wydajność można osiągnąć przy 80–100°C.

7 Dezynsekcja

7.1 Degradacja biologiczna

Drewno jest powszechnie stosowanym materiałem budowlanym, użytkowym i dekoracyjnym. Dawniej ścinano jedynie najstarsze (największe) drzewa. Po ścięciu drewno było sezonowane. Belki wycinano ze środkowej części pnia zwanej twardziną. Jest to twarda i niejadalna przez szkodniki część drewna. W bielu są białka, cukry i minerały tak potrzebne do życia oraz rozwoju szkodników drewna. Miękki biel stanowi również schronienie, można w nim łatwo wydrążyć chodniki i komory do złożenia jaj. Na powierzchni tak wyciętych belek nie było wcale lub było niewiele bielu. Obecnie belki wycina się nawet ze stosunkowo cienkich pni. Na powierzchni takich belek jest gruba warstwa bielu. Każde drewno z czasem ulega degradacji biologicznej. Ocenia się, że wykonane dawniej dREW-



Rysunek 15: Pień drzewa w przekroju.

niane elementy konstrukcyjne budynku mogły przetrwać bez konserwacji około 100 lat. Obecnie, ze względu na zmiany w pozyskiwaniu materiału, przyspieszenie cyklu produkcyjnego i brak sezonowania, czas użytkowania drewna skrócił się do 25–30 lat.

Do najpopularniejszych szkodników należy kołatek oraz spuszczel. Kołatek domowy oraz kołatek uparty (*Anobium punctatum*) to chrząszcz o długości do 6 mm. Draży głębokie chodniki o średnicy 2–3 mm. Larwy żerują w obrobionym drewnie, zarówno iglastym jak i liściastym. Spuszczel (*Hylotrupes bajulus*) ma długość 20–25 mm. Larwy drażą chodniki o średnicy do 7 mm. Żyje wyłącznie na obrobionym drewnie drzew iglastych: świerk, jodła, sosna i modrzew.

7.2 Zwalczanie metodami chemicznymi

Często pierwszym działaniem jest stosowanie popularnych środków chemicznych, dostępnych w większości sklepów. Środki te wnikają do drewna na głębokość do 1 cm, podczas gdy szkodniki mogą żyć i składać jaja na głębokości nawet 5 cm. Stosowanie tych środków nie zawsze przynosi oczekiwane efekty. Niektóre nie powinny nawet być stosowane w zamkniętych pomieszczeniach mieszkalnych.

Skuteczną metodą walki ze szkodnikami drewna jest fumigacja (gazowanie). Niestety wymaga ona

ewakuacji wszystkich mieszkańców budynku na kilkanaście dni ze względu na dużą toksyczność stosowanych środków. Koszt fumigacji zależy od kubatury obiektu, dla średniej wielkości domu przekracza 2000 €.



Rysunek 16: Przygotowanie budynku do fumigacji.

7.3 Dezynsekcja mikrofalami

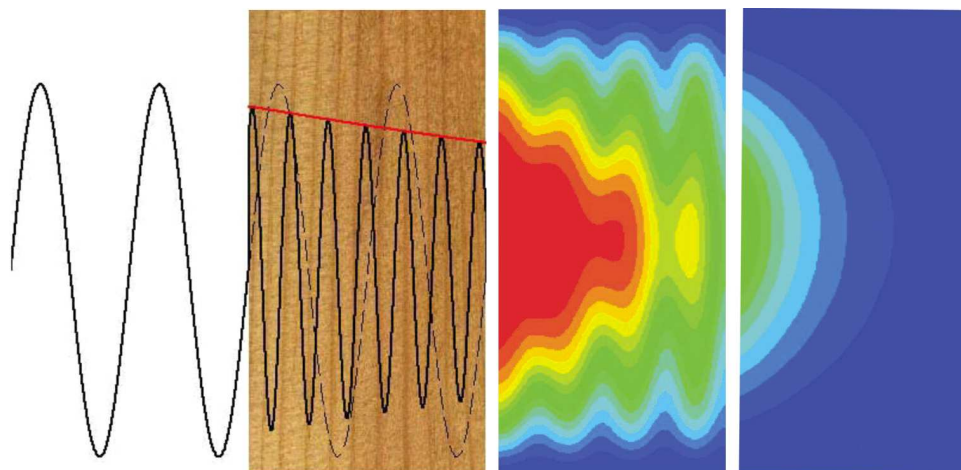
Mikrofałe działają na dwa sposoby. Podnoszą temperaturę materiału (drewna) oraz oddziałują bezpośrednio na organizm szkodnika. Szkodniki drewna niezależnie od gatunku giną w temperaturze powyżej 55°C. Jest to temperatura zabójcza dla osobników dorosłych, larw oraz złożonych jaj. W gorącym otoczeniu następuje przegrzanie (hipertermia). Temperaturę drewnianego elementu łatwo jest kontrolować a tym samym ocenić skuteczność działania.

Mikrofałe wnikają do elementu drewnianego i likwidują szkodniki. Nie widać w jakim czasie ich działanie przyniosło pożądany efekt. Potwierdzają to badania laboratoryjne. W rzeczywistych warunkach nie można ocenić skuteczności działania samych mikrofal.

Drewno jest złym przewodnikiem ciepła. Dmuchawy gorącego powietrza, nagrzewnice elektryczne czy promienniki podczerwieni powodują ogrzanie jedynie jego powierzchni drewna. W głębszych warstwach drewno pozostanie chłodne.

W większości przypadków szkodniki zaatakowały jedynie część elementów więźby dachowej, kilka belek stropowych, niektóre stopnie w schodach, parę desek podłogowych. Tam gdzie zastosowanie popularnych środków chemicznych nie przyniosło efektów a fumigacja całego budynku jest zbyt droga, jedynym skutecznym działaniem jest zastosowanie technologii mikrofalowej.

Przez kilka ostatnich lat MARKOM prowadził komercyjne usługi likwidacji szkodników drewna. Konstrukcje urządzeń produkowanych przez MARKOM pozwalają likwidować szkodniki w miejscu



Rysunek 17: Wnikania mikrofal do drewna, nagrzewanie mikrofalami i nagrzewanie powierzchniowe

ich występowania. Drewniany element jest lokalnie podgrzewany do temperatury 60 – 100°C. Temperatura nawet 130°C nie spowoduje zniszczenia elementu konstrukcyjnego, jego odkształcenia czy pęknięcia. Nie ma zagrożenia pożarem. Temperatura zapłonu drewna wynosi ponad 210°C.

Na elementach malowanych bejcą, wyższe temperatury mogą spowodować zmiany w zabarwieniu powierzchni. Na powłokach malowanych farbami lub lakierowanych mogą tworzyć się bąble, farba może się topić i pękać.

Podgrzanie drewna powoduje topienie się żywicy. Żywica może wypływać ze szczelin, otworów, spod sęków. Niekiedy słychać jak się gotuje wewnątrz belki.

Żadna metoda likwidacji szkodników nie gwarantuje, że ten sam obszar po pewnym czasie nie zostanie ponownie zaatakowany. Dlatego po zakończeniu działań z mikrofalami, zaleca się zabezpieczenie (impregnację) drewna. Dostępnych jest wiele środków, każdy znajdzie odpowiedni dla niego.

7.4 Wydajność technologii mikrofalowej

Szybkość nagrzewania elementu drewnianego jest zależna od mocy urządzenia, rodzaju materiału, jego stanu technicznego i objętości. Kontrola temperatury drewna jest istotna ze względów technicznych, organizacyjnych i bezpieczeństwa. Nie ma tabel, według których można określić czas nagrzewania belki do wymaganej temperatury. Można założyć, że przy użyciu jednego generatora MG5, w ciągu 1 h można zlikwidować szkodniki z belek na długości od 1 do 1.5 m.

8 Urządzenia pomiarowe



Rysunek 18: Miernik TM-195, LB-796, VT02

8.1 Miernik pola mikrofalowego TM-195

TM-195 jest ręcznym, łatwym w użyciu miernikiem pola elektromagnetycznego o szerokim spektrum zastosowań. Przy jego pomocy można dokonywać pomiaru między innymi: natężenia pola elektromagnetycznego o wysokiej częstotliwości (RF) np. kuchenek mikrofalowych oraz przemysłowych urządzeń takich jak generator mikrofal MG5. Miernik wykonuje pomiary: pola elektrycznego, magnetycznego oraz gęstości mocy pola w zakresie częstotliwości od 50 MHz do 3.5 GHz.

8.2 Wilgotnościomierz LB-796

Wilgotnościomierz LB-796 jest przyrządem wielofunkcyjnym. Służy do pomiaru wilgotności bezwzględnej materiałów budowlanych takich jak drewno, beton, wapień, cegła i szeregu innych, dla których został fabrycznie skalibrowany. Przymocowane na stałe elektrody pojemnościowe, przeznaczone są do pomiaru wilgotności materiałów twardych. Po wybraniu rodzaju materiału i przyłożeniu elektrod można odczytać wynik z wyświetlacza. Wilgotnościomierz wskazuje wilgotność masową (wilgotność bezwzględna).

8.3 Pirometr graficzny VT02

Pomiar temperatury jest realizowany na podstawie emitowanej przez obiekt energii podczerwonej. Taki pomiar temperatury większości obiektów (pomalowany metal, drewno, woda, skóra lub tkanina), jest łatwy. Termometr wizualny IR VT02 to połączenie wygody termometru punktowego i możliwości wizualnych kamery termowizyjnej. Urządzenie rejestruje obraz widzialny z nałożonym obrazem termowizyjnym.