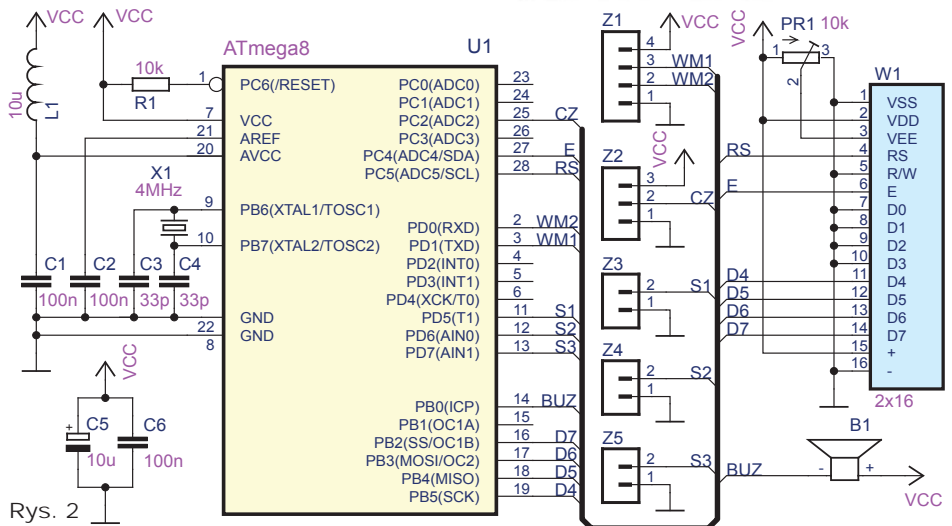


# Wytrawiarzka płytek PCB



Pierwsze obwody drukowane pojawiły się w latach 40. XX wieku, i od tego czasu są stale udoskonalane i rozwijane. Istnieje kilka metod wykonywania płytek drukowanych i prawie wszystkie wymagają chemicznego usuwania niepotrzebnej warstwy miedzi. Najbardziej amatorskie sposoby trawienia w kuetach wymagają dużego nakładu pracy, a płytki trawią się długo i nierównomiernie. Często zdarza się, że w niektórych miejscach płytka jest już wytrawiona, a w niektórych nie, co skutkuje podtrawieniami ścieżek.

Prezentowany układ ma na celu usprawnić oraz w pewnym stopniu zautomatyzować proces wytrawiania obwodów drukowanych. Dzięki podgrzewaniu wytrawiacza do określonej temperatury oraz ciągłemu mieszaniu za pomocą bąbelków powietrza, proces trawienia może zostać znacznie skrócony i dać dużo lepsze rezultaty. Układ pozwala ustawić temperaturę w zakresie od 20 do 55°C z dokładnością do pół stopnia, histerezę w zakresie od 1 do 5°C z dokładnością do jednego stopnia oraz stan napowietrzacza. Istnieje również możliwość ustawienia czasu trawienia do 90 minut. O upływie wybranego czasu użytkownik zostanie poinformowany sygnałem dźwiękowym. Projekt został wyposażony w alfanumeryczny wyświetlacz LCD, pozwalający na bieżąco kontrolować ak-



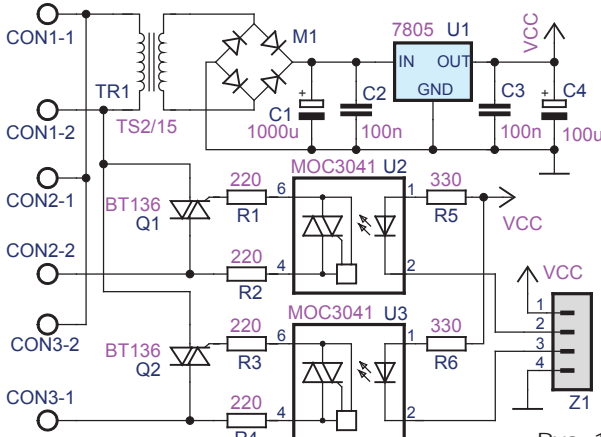
Rys. 2

tualną temperaturę oraz czas pozostały do końca trawienia. W dowolnym momencie pracy urządzenia można przejść do ustawień, aby zmienić parametry, nie obawiając się o wyłączenie lub niekontrolowane włączenie grzałek przez termostat, gdyż program realizuje te zadania niezależnie. Dzięki wprowadzeniu odczytu i zapisu nieulotnej pamięci EEPROM urządzenie pamięta ostatnie nastawy, co bardzo ułatwia pracę z urządzeniem, a jeśli zajdzie potrzeba skorygowania parametrów, ich edycja rozpoczyna się od ostatnich, co ułatwia korektę i oszczędza czas.

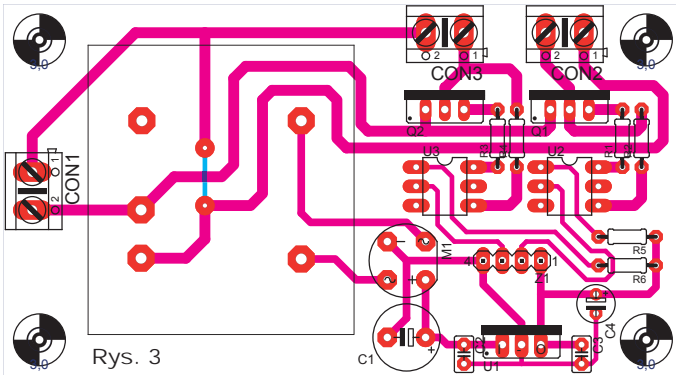
Dla bezpieczeństwa program mikrokontrolera jest ciągle monitorowany przez sprzętowy watchdog. Urządzenie potrafi też wykryć brak lub uszkodzenie czujnika, o czym poinformuje użytkownika na wyświetlaczu.

## Opis układu

Sterownik wytrawiaczki składa się z dwóch modułów. Na rysunku 1 przedstawiono schemat ideowy modułu wykonawczo-zasilającego. Transformator TR1 obniża napięcie do wartości 10,1V. Elementami wykonawczymi modułu są triaki BT136, które są włączane przez optotriaki MOC3041 z wbudowanymi układami detekcji przejścia sinusoidy przez zero, dzięki czemu nie występują zakłócenia podczas ich włączania. Rysunek 2 to schemat ideowy modułu sterującego. Układ scalony U1 to mikrokontroler ATmega8 pracujący na zewnętrznym rezonatorze kwarcowym 4MHz z kondensatorami 33pF. Rezystor R1 o wartości 10kΩ podciąga wyprowanie Reset do Vcc, aby mikrokontroler nie został zresetowany przez zakłócenia podczas pracy. Kondensator C2 filtruje napięcie odniesienia 2,56V na nóżce AREF. Cewka L1 oraz kondensator C1 tworzą filtr dolnoprzepustowy LC filtrujący napięcia dla modułu ADC. Gniazdo czujnika



Rys. 1



Rys. 3

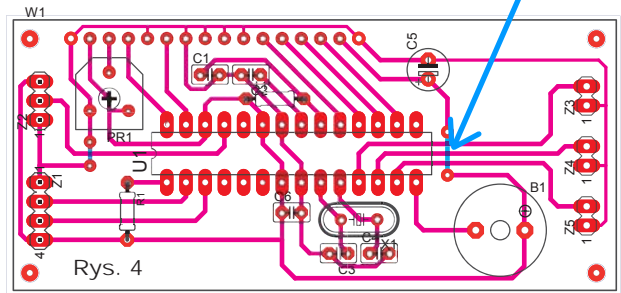
LM35 podłączono do drugiego kanału przetwornika analogowo-cyfrowego mikrokontrolera. Wyświetlacz LCD podłączono do mikrokontrolera w trybie 4-bitowym. Potencjometr PR1 reguluje kontrast wyświetlacza. Sygnał R/W jest na stałe podłączony do masy, ponieważ jest nieużywany. Podświetlenie zostało bezpośrednio podłączone do zasilania. B1 to akustyczny generator piezoelektryczny zastosowany do informowania użytkownika o zakończeniu trawienia.

## Oprogramowanie

Program został napisany w BASCOM AVR. Kod źródłowy został zamieszczony w Elportalu. Program główny jest realizowany w nieskończonej pętli, której działanie jest przerywane przez dwa przerwania. Pierwsze od licznika Timer1 występuje co sekundę i jest wykorzystywane do odmierzenia czasu. Na **listingu 1** (dostępny w Elportalu) przedstawiono fragment drugiego przerwania od Timera2, które występuje z częstotliwością około 10Hz (4MHz/1024/200/2) i steruje generatorem akustycznym, pobiera wartość z przetwornika ADC, uśrednia, przelicza temperaturę oraz steruje grzałkami. Dzięki umieszczeniu programu termostatu w przerwaniu może on być realizowany niezależnie od programu głównego, co pozwala na bieżąco zmieniać parametry w ustawieniach. Pomiar z czujnika temperatury są uśredniane (32 odczyty). Wzór określający wartość pobieraną z 10-bitowego przetwornika ADC to:

$$ADC = \frac{1024 \cdot U}{U_{ref}}$$

Dla czujnika LM35 1°C odpowiada napięciu 10mV. Napięcie referencyjne jest pobierane z wewnętrznego źródła napięcia odniesienia 2,56V. Aby obliczyć temperaturę, wystarczy podzielić przez 4 wartość pobraną z przetwornika. Obliczenia dla zwiększenia szybkości są dokonywane na liczbach całkowitych, co jest istotne, gdy dany fragment ma być zrealizowany podczas przerwania. Aby wyznaczyć temperaturę, po zsumowaniu kilku pomiarów trzeba podzielić dodatkowo



Rys. 4

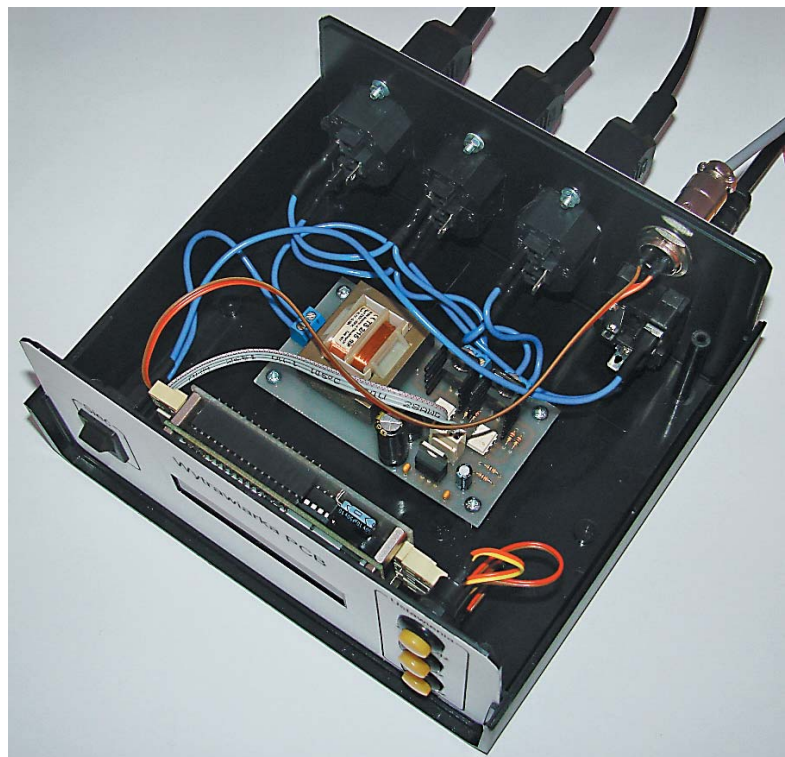
przez liczbę pomiarów, czyli łącznie przez 128 (przesunięcie o siedem miejsc w prawo). Obliczanie reszty temperatury polega na wyznaczeniu reszty z dzielenia przez 128. W programie potrzebna jest dokładność połowy stopnia, dlatego reszta jest następnie dzielona przez 64 (przesunięcie bitowe o sześć miejsc w prawo). Wynik takiej operacji może wynosić 0 lub 1 dlatego następnie reszta jest mnożona przez 5, co daje dziesiątną resztę temperatury.

Program główny ma za zadanie obsługę wyświetlacza LCD, odczytywanie stanu przycisków oraz sterowanie napowietrzaczem. Po wciśnięciu pierwszego przycisku następuje wywołanie podprogramu ustawień, realizowanego w pętli do czasu wyjścia z niej przez użytkownika. Fragment kodu wykonywany w przypadku pierwszego uruchomienia (po zaprogramowaniu mikrokontrolera) został ukazany na **listingu 2** (dostępny w Elportalu). Na początku zostaje odczytany pierwszy bajt pamięci i zapisany do zmiennej *Pierwsze uruchomienie*. Jeśli jej wartość jest różna od 64, program ustawia domyślne wartości parametrów urządzenia i przechodzi do podprogramu ustawień. Po powrocie z podprogramu zapisywany zostaje pierwszy bajt pamięci EEPROM wartością 64. Przy kolejnym uruchomieniu odczytana wartość będzie równa zapisanej wcześniej i program opuści ten fragment kodu. Wartość 64 została dobrana przypadkowo. O ile sprawdzenie braku czy

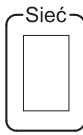
uszkodzenia czujnika cyfrowego jest łatwe (brak odpowiedzi czujnika), o tyle nie jest oczywiste dla czujnika analogowego – przetwornik ADC odczytywałby różne niepoprawne wartości. Dlatego program sprawdza, czy wartość należy do przedziału od 10 do 70°C i w przeciwnym wypadku uznaje ją za błąd czujnika. Obsługa sprzętowego watchdoga rozpoczyna się od jego konfiguracji oraz instrukcji uruchamiającej. W omawianym programie został skonfigurowany na wartość 2048, czyli w przypadku awarii reset mikrokontrolera następuje po około 2s. Instrukcje zerujące licznik umiejscowione zostały w strategicznych punktach programu: w pętli głównej oraz w pętli podprogramu ustawień.

## Montaż i uruchomienie

Na **rysunku 3** przedstawiono schemat montażowy modułu wykonawczo-zasilającego, natomiast na **rysunku 4** – sterującego. Elementy należy wlutowywać w kolejności od najmniejszych po największe. Podczas montażu należy pamiętać, aby wlutować wszystkie trzy zworki (po dwóch stronach mikrokontrolera na płytce sterującej oraz pod transformatorem). Kondensator C1 trzeba wlutować „na leżąco”, gdyż jest on dosyć wysoki i musi się zmieścić pomiędzy wyświet-



Wytrawiarka PCB



Rys. 6. Skala 50%

Po wlutowaniu wszystkich elementów należy zaprogramować mikrokontroler. W tym celu trzeba do pamięci FLASH wgrać plik *wsad.hex* dostępny w Elportalu w materiałach dodatkowych z tego numeru. Bity konfiguracyjne mikrokontrolera należy ustawić zgodnie z tabelą

Fusebit	Stan
BODLEVEL	niezaprogramowany
BODEN	niezaprogramowany
SUT1	niezaprogramowany
SUT0	niezaprogramowany
CKSEL3	niezaprogramowany
CKSEL2	niezaprogramowany
CKSEL1	zaprogramowany
CKSEL0	niezaprogramowany
RSTDISBL	niezaprogramowany
WTDON	niezaprogramowany
SPIEN	zaprogramowany
CKOPT	niezaprogramowany
EESAVE	niezaprogramowany
BOOTSZ1	zaprogramowany
BOOTSZ0	zaprogramowany
BOOTRST	niezaprogramowany

1, w systemie heksadecymalnym powinny wyglądać następująco:

*Fuse High Byte: 0xD9*

*Fuse Low Byte: 0xFD*

Podczas tej czynności trzeba być ostrożnym, gdyż przypadkowe błędne ustawienie bitów konfiguracyjnych może nawet zablokować mikrokontroler. Układ powinien być zmontowany w plastikowej obudowie. W prezentowanym projekcie wykorzystano obudowę KM-85. **Rysunek 6** przedstawia opis panelu przedniego do obudowy. Najlepiej wydrukować go na drukarce laserowej, aby opis nie rozmazał się pod wpływem wilgoci i przykleić do panelu obudowy taśmą dwustronną.

Po przykręceniu płytki sterującej do panelu przedniego oraz modułu wykonawczego należy je podłączyć za pomocą trójżyłowego kabla. Najlepszym rozwiązaniem jest użycie trzypinowego kątownego wtyku. Analogicznie należy postąpić z podłączeniem przycisków do płytki sterującej. W kolejnym kroku trzeba podłączyć gniazdo czujnika temperatury do wyprowadzenia z tyłu obudowy. Pomiedzy gniazdo zasilania a złączenie śrubowe

CON1 na płycie należy szeregowo podłączyć wyłącznik oraz bezpiecznik, dobrany adekwatnie do mocy użytego osprzętu (dla grzałek o łącznej mocy 200W oraz napowietrzacza o mocy 5W należy użyć bezpiecznika 1,25A). Gniazdo napowietrzacza należy dołączyć do złącza śrubowego CON2, na-

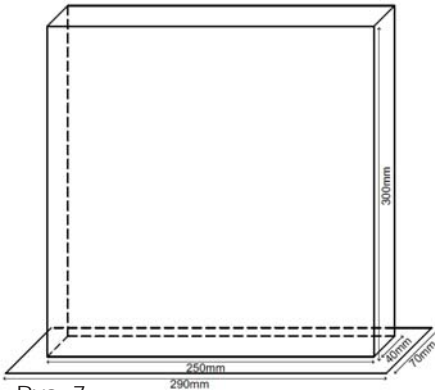
Tabela 1

tomiast gniazda grzałek do złącza CON3. Ze względów bezpieczeństwa należy użyć gniazd żeńskich, aby podczas użytkowania nie doszło do porażenia. Zbiornik na środek trawiący powinien posiadać jak najmniejszą objętość ale taką, żeby był w stanie zmieścić większe płytki przeznaczone do wytrawienia. Na **rysunku 7** przedstawiono projekt zbiornika o objętości 1,8l, użytego w projekcie. Ścianki zbiornika najlepiej wykonać ze szkła i posklejać silikonem akwarystycznym. Na zbiornik najlepiej przygotować nakrycie z wierzchu.

Do trawienia można użyć nadsiarczanu sodu B327 lub chlorku żelaza. Do ogrzewania roztworu służy szklana grzałka akwarystyczna (bez termostatu), która powinna być całkowicie zanurzona. Moc grzałek dobiera się zależnie od ilości środka trawiącego, dla objętości zbiornika opisanego powyżej najlepiej użyć dwóch grzałek o mocy 100W lub jeden o podwójnej mocy. W prezentowanym projekcie użyto dwóch grzałek firmy WIDPOL typ GA 1s.

Ważnym elementem wytrawiarki jest napowietrzacz, który wytwarza bąbelki powietrza i zapewnia mieszanie roztworu. Należy użyć kamienia akwarystycznego. Na węży doprowadzającym powietrze konieczne trzeba założyć zawór zwrotny, zapobiegający zalaniu i wyciekom. Czujnik temperatury powinien być dobrze zaizolowany – najlepiej użyć specjalnej

koszulki termokurczliwej z klejem. Do zanurzenia i wynurzenia trawionej płytki warto przygotować specjalne uchwyty. Wszystkie

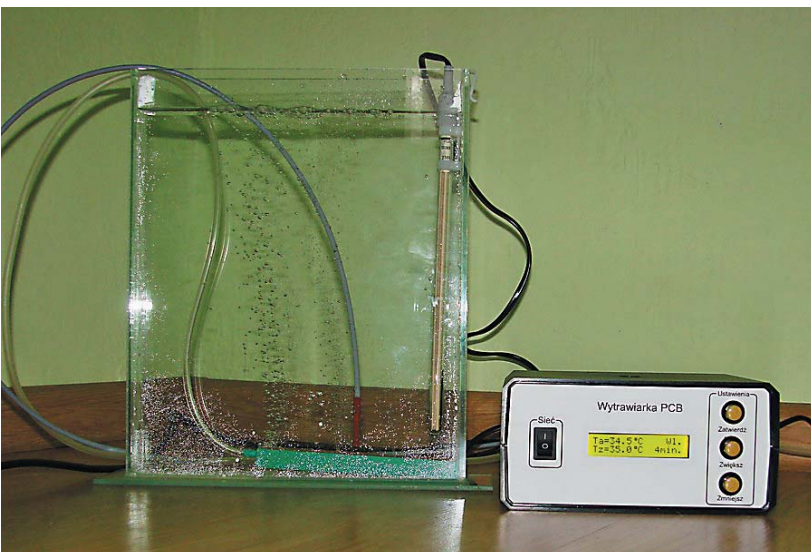


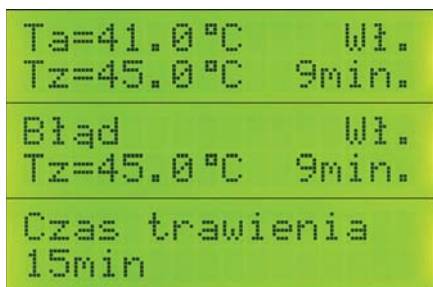
Rys. 7

łączem a płytką. Z tego samego powodu należy wybrać kwarc niski. Wyświetlacz powinien być połączony listwą goldpinów oraz kilkoma dystansami. Na triaki trzeba założyć małe radiatory przystosowane do obudów TO220, można również założyć taki radiator na stabilizator. Pod mikrokontroler należy zastosować podstawkę DIP28 i **przed jej wlutowaniem usunąć z niej metalowe złącze 26 pinu**. Ścieżka przechodząca w tych miejscach, wyróżniona na **rysunku 5** kolorem zielonym, nie powinna być połączona z pinem mikrokontrolera, ponieważ została tam poprowadzona dla uproszczenia płytki.

Tabela 2

Przycisk	Funkcja	
	Praca	Ustawienia
S1 Zatwierdź	Wejście do ustawień	Zmiana parametru, wyjście z ustawień
S2 Zwiększ	Wyłączenie sygnału, zablokowanie zegara	Zwiększenie wartości, włączenie
S2 Zmniejsz	-	Zmniejszenie wartości, wyłączenie





Rys. 8 a, b, c  
elementy, wkładane do roztworu, powinny być wykonane z tworzywa sztucznego.

## Obsługa

Obsługa układu jest prosta i intuicyjna. Do ustawień można wejść w trakcie działania programu, wciskając pierwszy przycisk i zmienić ustawiany parametr. Z ustawień można wyjść, klikając powtórnie pierwszy klawisz. Drugi przycisk zwiększa ustawianą wartość, natomiast trzeci ją zmniejsza. W przypadku ustawiania napowietrzania, drugi przycisk włącza pompkę, a trzeci wyłącza. Aby całkowicie wyłączyć grzałki, wystarczy zmniejszyć ustawianą temperaturę poniżej minimum. Użytkownik powinien ustawić czas trawienia doświadczalnie. Urządzenie informuje o upływie

zadanego czasu krótkotrwałymi impulsami dźwiękowymi, które można wyłączyć, wciskając drugi klawisz. Postępując tak samo w trakcie pracy urządzenia można wyłączyć odliczanie przed czasem. **Tabela 2** dokładnie opisuje funkcje poszczególnych przycisków. **Rysunek 8a** (górny ekran) przedstawia stan prawidłowej pracy, po lewej stronie wyświetlana jest temperatura aktualna oraz zadana, natomiast po prawej stan napowietrzania oraz czas pozostały do końca trawienia. **Rysunek 8b** przedstawia komunikat o błędzie (uszkodzenie lub brak czujnika), **rysunek 8c** (dolny ekran) – tryb ustawień.

Skompilowany program zajmuje jedynie 49% pamięci mikrokontrolera, więc można dopisać dodatkowe możliwości np. płynną regulację napowietrzania (dodając układ wykrywania przejścia sinusoidy przez zero, zmieniając optotriak na MOC3021 oraz realizując programowo regulację fazową). W tym wypadku

## Wykaz elementów

### Moduł wykonawczo-zasilający:

R1-R4	220Ω
R5, R6	330Ω
C1	1000μF/16V
C2, C3	100nF
C4	100μF/16V
U1	LM7805
U2, U3	MOC3041
M1	mostek 1A
TR1	TS2/15
Z1	męski 403-04 4 pin
CON1-CON3	śrubowe ARK500/2

### Moduł sterujący:

R1	10kΩ
PR1	montażowy 10kΩ
C1, C2, C6	100nF
C3, C4	33pF
C5	10μF/16V
L1	10μH
U1	ATmega8A
X1	kwarc niski 4MHz
B1	buzzer 5V
W1	wyświetlacz LCD 2*16
Z1	męski 403-04 kątowy 4pin
Z2	męski 403-03 kątowy 3pin
Z3-Z5	męski 403-02 kątowy 2pin
Czujnik	LM35

**Komplet podzespołów z płytą jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3075.**

nie wystarczy zwykły generator PWM – potrzebna jest synchronizacja z przebiegiem sieci. Dobrym pomysłem jest dodanie czujnika zakończenia procesu trawienia. Można tego dokonać na kilka sposobów, np. montując barierę świetlną na wysokości trawionej płytki. Takie rozwiązanie ma wiele wad i ograniczeń, ale warto poeksperymentować.

**Krzysztof Gońka**

krzysztof.gonka@interia.pl