



kit

2974

AVT

# Luksomierz

## Do czego służy?

Od jakiegoś czasu planowałem zrobić przyrząd do pomiaru mocy optycznej laserów. Ostatecznie powstał miernik kilku wielkości optycznych. Poza mocą można sprawdzić natężenie światła (luksy) oraz oszacować strumień świetlny (lumeny). Jest to możliwe dzięki specjalnej fotodiodzie, o czym piszę w dalszej części artykułu. Ze względu na prostotę, urządzenie przeznaczone jest raczej do zabawy i eksperymentów ze światłem niż do prawdziwych pomiarów. Mimo to miernik ma szerokie zakresy pomiarowe, a ponadto można dołączyć tłumik, który pozwala na pomiar mocniejszych laserów. Jak wiadomo, są specjalne normy określające warunki oświetlenia w miejscu pracy, w salach wykładowych, lekcyjnych, czy nawet sklepach. Prezentowany luksomierz pozwala z grubszą oszacować, czy oświetlenie w tych miejscach jest odpowiednie, jednak nie należy całkowicie ufać uzyskanym wynikom. Natomiast świetnie sprawdzi się w domowych eksperymentach, sprawdzeniu mocy laserów, na przykład tanich chińskich wskaźników, gdzie to, co widnieje na etykiecie, nie zawsze jest prawdą. Możemy również oszacować, czy strumień świetlny nowych LED-ów jest rzeczywiście taki, jak napisał producent.

## Jak to działa?

Schemat układu pokazuje **rysunek 1**. Głównym elementem luksomiera jest element liniowo zmieniający wartość natężenia światła na wielkość elektryczną. Początkowo postanowiłem wykorzystać zwykłą fotodiode, jednak jak się okazało, wiąza się z tym spore wady. Takie fotodiody przeważnie są przystosowane do pracy w podczerwieni i są praktycznie nieczułe na światło zielone, nie wspominając już o niebieskim. Taki miernik nadawałby się tylko do pomiaru diod laserowych o długości fali powyżej 635nm. Na szczęście są też fotodiody ze specjalnym filtrem korekcyj-

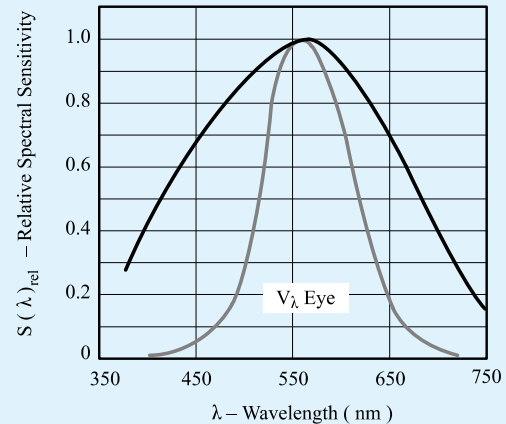
nym zapewniającym dobrą czułość w całym zakresie widma światła widzialnego. Dlatego wybór padł na BPW21, z filtrem o charakterystyce ludzkiego oka, czyli mającą największą czułość dla światła zielonego. Przedstawia to **rysunek 2**. Dzięki niej bez większych problemów można także mierzyć natężenie światła (luksy), a nawet w pewnych warunkach okre-

### Podstawowe parametry:

Zakres pomiaru natężenia światła: 1–1420Lx  
 Rozdzielczość pomiaru dla zakresu 1–68Lx: 0,07Lx  
 Rozdzielczość pomiaru dla zakresu 69–1420Lx: 1,4Lx  
 Zakres pomiaru strumienia świetlnego: 6uLm–10mLm  
 Zakres pomiaru mocy optycznej z tłumikiem 1500x: 0,1–400mW  
 Napięcie zasilania: 3,6–5,5V

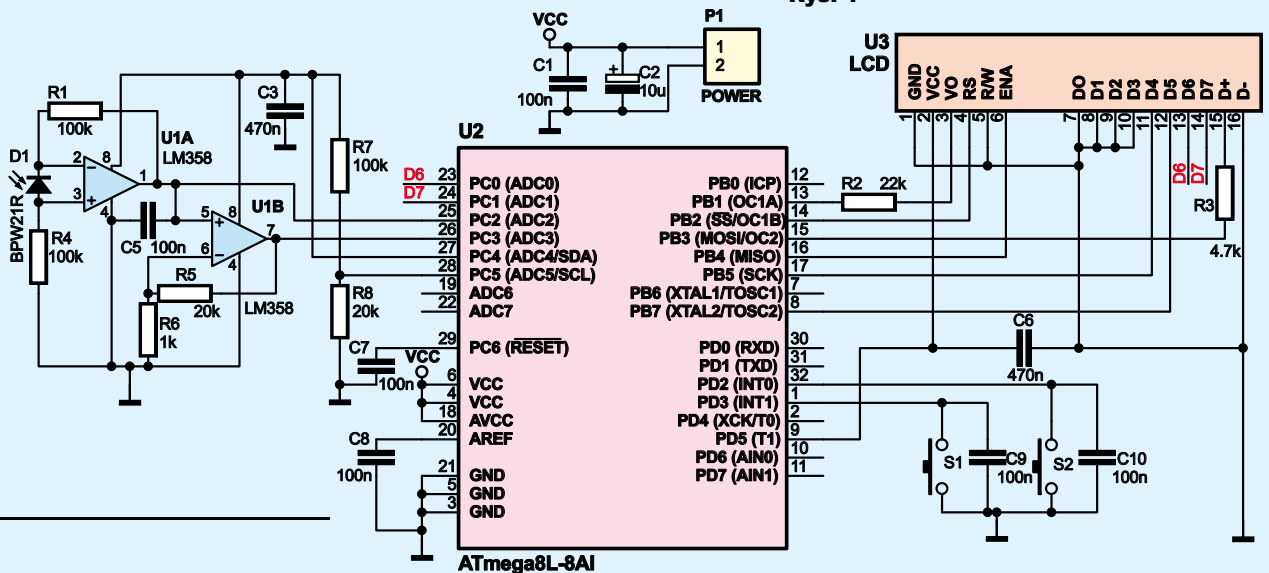
ślić strumień świetlny (lumen).. Dużą zaletą takiej fotodiody jest możliwość pomiaru mocy laserów DPSS (zielone i niebieskie). Takie lasery wykorzystują diodę podczerwoną, a światło o innym kolorze jest wytwarzane w kryształach. W zależności od budowy, na wyjściu oprócz wymaganej długości fali światła pojawia się również jedna lub dwie wiązki podczerwieni. Szczególnie w tanich wskaźnikach laserowych, gdzie ta podczerwień nie jest w ogóle filtrowana. Jej obecność mogłaby znacznie zawyżyć wynik pomiaru. Ale jak widać na rysunku 2, charakterystyka BPW21R mocno opada dla podczerwieni, dzięki czemu pomiar nie jest zbytnio fałszowany. Kolorem czarnym oznaczono tam czułość fotodiody, a szarym - ludzkiego oka. Kolejnym elementem prezentowanego urządzenia jest wzmacniacz operacyjny. U1A zamienia prąd fotodiody na napięcie, a U1B dodatkowo wzmacnia sygnał 21 razy. Dzięki temu uzyskałem większy zakres dynamiczny, nie ograniczając się do 10-bitowego przetwornika A/C zawartego w mikrokontrolerze. W zależności od

poziomu napięcia pomiar odbywa się na kanale ADC2 – dla większych wartości bądź ADC3 – dla słabszych sygnałów. Całością zarządza chyba wszystkim znany ATmega8L. Do prezentacji danych wykorzystałem mały wyświetlacz alfanumeryczny 2\*8 znaków. Jest on w zupełności wystarczający. Niektórych może zdziwić podłączenie wyprowadzenia regulacji kontrastu (VO) do mikrokontrolera zamiast do potencjometru. Po prostu tak było prościej i wygodniej! Po pierwsze, potencjometr zajmuje miejsce na płytce. Po drugie, jeżeli urządzenie znajduje się w obudowie, to dostęp do niego jest utrudniony. I w końcu po trzecie, jeśli wykorzystujemy



Rys. 2

Rys. 1



zasilanie baterijne, to jak wiadomo w trakcie jego zużywania maleje napięcie, a co za tym idzie, także kontrast LCD. Komu by się chciało co pewien czas korygować ustawienie potencjometru? O wiele lepiej automatycznie sprawdzać napięcie zasilania i odpowiednio regulować kontrast. Dlatego też wykorzystałem kanał PWM mikrokontrolera do jego regulacji. Procesor automatycznie dopasowuje kontrast, należy tylko z początku ustawić jego wartość, gdyż może się różnić dla innego egzemplarza wyświetlacza. Podświetlenie wyświetlacza również jest sterowane przez PWM. No tak, kontrast i podświetlenie sterowane programowo jeszcze można przełączyć, ale dlaczego mikrokontroler steruje także zasilaniem tego nieszczęsnego wyświetlacza? Powód jest prosty. Otóż, jak już wspominałem, luksomierz może być zasilany baterijnie. Musimy więc zadbać o oszczędność energii, gdy urządzenie jest wyłączone. Również wzmacniacz operacyjny jest w pełni kontrolowany przez procesor. Zamiast takich zabiegów można było zastosować mechaniczny przełącznik. Ale czy warto komplikować sprawę? Kolejne urządzenie, kolejna dziura w obudowie... Łatwiej wykonać dwie dodatkowe ścieżki na płytce i dopisać kilka linijek kodu w programie. Po wyłączeniu tych podzespołów i uśpieniu mikrokontrolera prąd pobierany przez urządzenie nie przekracza  $1\mu\text{A}$ ! Zwykła bateria teoretycznie wystarczy na kilkadziesiąt lat, ale w praktyce sama rozładuje się o wiele szybciej. Nie ma więc co zastanawiać się nad zaletami takiego rozwiązania. Na schemacie znajdują się jeszcze dwa przyciski, których działania chyba nie muszę opisywać.

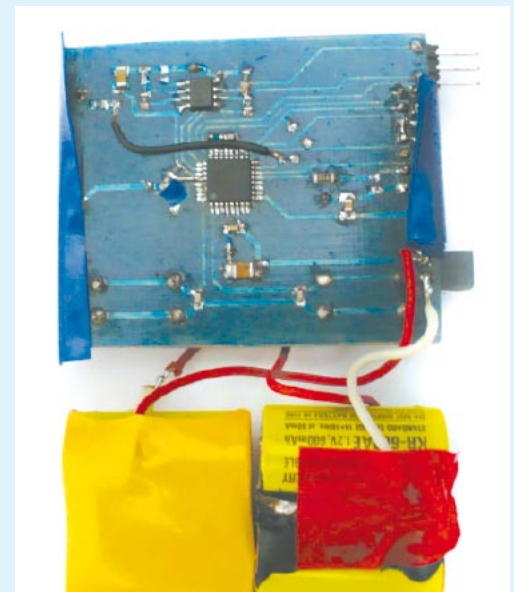
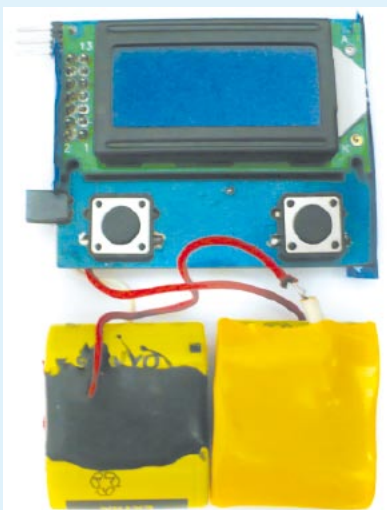
## Program

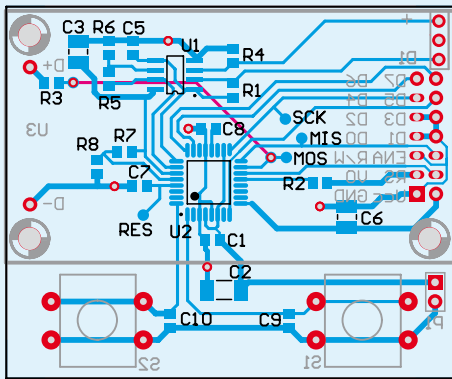
Większość kodu programu (można go ściągnąć z Elportalu) znajduje się w pliku *main.c*. Mamy tutaj obsługę przerwania ADC i kilka innych funkcji. Poniżej znajduje się funkcja *main()*, a w niej pętla główna programu obejmująca tryby pomiarowe oraz procedury ustawień. Zaczynamy od przerwania ADC. Po wykonaniu dwustu pomiarów wynik jest uśredniany. W zależności od kanału ADC będzie to wartość natężenia światła bądź napięcie zasilania. Zmienna *adc\_licz* wyznacza kolejność pomiarów. Najpierw ustawiany jest kanał ADC5, po kolejnych dwustu przerwaniach uśredniona i wyskalowana wartość jest zapisywana jako napięcie do zmiennej *v\_power*. Zostaje zmieniony kanał przetwornika na ADC2 lub ADC3, w zależności od aktual-

nego zakresu. Przez kolejnych 19 pomiarów badane jest natężenie światła. Potem zmienna *adc\_licz* zostaje wyzerowana i cały proces się powtarza. Zrealizowałem to w taki sposób, żeby nie spowalniać zbyt długo właściwego pomiaru. Napięcie zasilania zmienia się bardzo powoli i nie trzeba sprawdzać go zbyt często. W przerwaniu wstawiłem również instrukcje wyłączające luksomierz, jeśli stan baterii jest krytyczny. Kolejna funkcja nosi nazwę *spectrum()*. Przydaje się ona przy pomiarze światła monochromatycznego, gdyż charakterystyka fotodiody nie jest płaska. Funkcja sprawdza, jakie tłumienie zachodzi dla danej długości fali światła i wprowadza do wyniku stosowną korektę. Współczynniki w tablicy mają tak dobrane wartości, aby wszystkie obliczenia dało się wykonać na liczbach całkowitych i nie było niepotrzebnych dzieleń. Kolejna funkcja oblicza kontrast wyświetlacza na podstawie napięcia zasilania. Dwie następne służą wprowadzeniu mikrokontrolera w stan uśpienia. Przy Power down dodatkowo wyłączane są wszystkie układy peryferyjne zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne, o czym wspominałem wyżej. W pliku znajdują się jeszcze funkcje inicjujące, gdzie z kolei włączane są te bloki przy każdym uruchomieniu urządzenia. W funkcji *main()* jednorazowo ustawiane są niezbędne rejestry portów, przerwań, ADC i timerów. W dalszej kolejności procesor odczytuje wartości z pamięci EEPROM. Przy pierwszym uruchomieniu liczby mogą mieć charakter losowy, w takim przypadku do pamięci zostają wpisane ustawienia domyślne. Wreszcie dochodzimy do pętli głównej programu, która tak naprawdę jest tam „zapobiegawczo”, gdyż poszczególne jej części zostały podzielone na mniejsze pętle nieskończone. Przejścia pomiędzy nimi są realizowane poleceniem *goto*. Na początku sprawdzany jest stan baterii i gdy będzie zbyt niski, wyświetli się stosowny komunikat. W końcu dotarliśmy do instrukcji wyświetlających wyniki pomiarów. W zależności od mierzonej wielkości dokonywane są dodatkowe obliczenia oraz ustawianie podzakresów. Kolejna pętla *while()* służy do poruszania się po menu ustawień. Z jej poziomu można przejść do następnych, gdzie dokonujemy zmiany poszczególnych parametrów takich jak: wartość tłumienia, wybór koloru, albo długości fali, regulacja kontrastu i podświetlenia. Ostatnia pozycja służy do sprawdzenia stanu zasilania. Oczywiście tutaj nie ma nic do ustawiania:) Przy zmianie tłumienia dodałem kilka instrukcji warunkowych ułatwiają-

cych zmianę w szerszych zakresach. Jeśli zmienna *damp* przekroczy wartość 100, to krok zmiany zwiększa się z 1 na 5, przy przekroczeniu wartości 200 na 10 itd. Bez tego ustawianie tłumienia na kilka tysięcy trwałoby okropnie długo.

Warto jeszcze omówić sam interfejs. Wszystkim steruje się za pomocą dwóch przycisków. Program do ich obsługi znajduje się w pliku *Keyboard.c*. Jak widać, jest tam tylko jedna funkcja i dwa przerwania, po jednym dla każdego przycisku. Przerwania rejestrują zarówno fakt naciśnięcia, jak i puszczenia klawisza, co pozwala odciążyć od tego zadania funkcję *przyciski()*. Kod przycisku zwracany jest jednokrotnie zaraz po jego puszczeniu bądź też w sposób ciągły, jeżeli zostanie przytrzymany dłużej. Dla każdego stanu zwracany jest inny kod, także dla krótkiego i długiego naciśnięcia. Pozwala to na bardzo wygodną obsługę interfejsu, gdyż nie trzeba pisać dodatkowych funkcji interpretujących stan klawiatury. Obsługa wyświetlacza znajduje się w pliku *LCDfunction.c*. Mieszczą się tu procedury inicjacji, obsługa interfejsu oraz funkcje operujące na tekście i konwertujące zmienne. Na początku, pomijając niskopoziomowe wysyłanie bitów, znajdują się standardowe komendy zawarte w sterowniku HD44780. Trochę inaczej wygląda funkcja *lcd\_init()*. Wyświetlacz inicjowany jest dwukrotnie, aby zapewnić poprawną pracę, bez tego zabiegu nie można było wyświetlić drugiej linii tekstu. Poniżej mamy funkcję wyświetlającą łańcuch znaków i kilka procedur konwertujących zmienne na tekst, różnią się między sobą tylko sposobem prezentacji zmiennej. Zastosowany tu algorytm jest najprawdopodobniej rozwiązaniem optymalnym dla procesorów AVR (nie licząc kodu w assemblerze). To taka ciekawostka, bo wydajność w tym programie nie jest sprawą krytyczną. Ostatnia funkcja służy wpisywaniu do pamięci sterownika LCD własnych znaków. W przypadku luksomierza wykorzystywane są dwa takie znaki: ‘λ’ oraz ‘...’. Przedstawiony tutaj



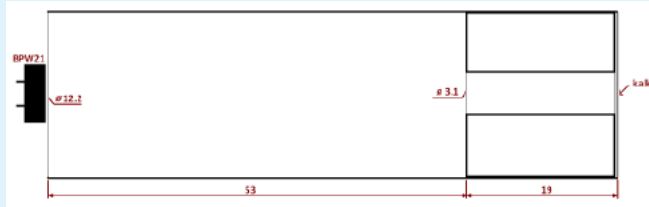


Rys. 3

opis jest bardzo pobieżny, ale myślę, że w zrozumieniu programu pomogą liczne komentarze.

## Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany został na dwustronnej płytce drukowanej, z tym że jedna warstwa przeznaczona jest na masę i jedną ścieżkę. Tę ścieżkę można sobie darować, łącząc punkty lutownicze krótkim drucikiem i problem z wykonaniem dwustronnego druku znika. Płytkę przedstawia rysunek 3. Montaż elementów jest prosty. Jeżeli dysponujemy stacją na gorące powietrze, to kolejność lutowania jest nieco inna. Często można usłyszeć: „... i na końcu montujemy układy scalone”. W tym przypadku będzie na odwrót, najpierw mikrokontroler, a dopiero później zgodnie z zasadą „od najmniejszego, do największego”. Na koniec można sobie zostawić montaż wyświetlacza. Pozostaje jeszcze kwestia zaprogramowania procesora. Zamiast standardowego złącza ISP wyprowadziłem pola lutownicze, do których należy dołączyć przewody z odpowiednimi sygnałami. Na rysunku 3 widnieje opis pod każdym polem, więc nie trzeba zaglądać do karty katalogowej mikrokontrolera, aby poprawnie umieścić przewody. Teraz przyszedł czas na fotodiode. Ma ona małe okienko 7,5mm<sup>2</sup>, a typowe luksomierze mają powierzchnię kilkadziesiąt razy większą. Ale sprawa z powiększeniem strefy pomiarowej nie należy do prostych. Potrzebny byłby odpowiedni materiał o znanych właściwościach i charakterystyce. Ogólnie jest z tym trochę zabawy. Ja wykonałem coś takiego z... połówki plastikowego jajka. Na górze kalka techniczna, która ma w miarę płaską charakterystykę, nieco opadającą dla światła niebieskiego. Nie wiem, jaką to ma dokładność, ale wyniki pomiarów wyglądają przyzwoicie. Najprościej zostawić gołą fotodiode. Ja włożyłem ją do szarej rurki, tak aby łatwo zamocować na niej dodatkowy tłumik do pomiaru laserów. Ten również wykonany został z takiej rurki. W środku jest kawałek drewna z wydrążonym otworem, przepuszczającym światło na powierzchni 7,5mm<sup>2</sup>, czyli tyle, ile zastosowana fotodiode. Nie jest to konieczne, ale przynajmniej nie było problemów z kalibracją tłumika i pomiar



Rys. 4

jest bardziej wiarygodny. Na końcu tej rurki znajdują się trzy warstwy kalki technicznej. Łącznie uzyskałem tłumienie na poziomie 1500x. Rysunek 4 pokazuje przekrój tłumika. Pewnie jest to najdziwniejszy luksomierz, jaki kiedykolwiek widziałeś, ale cóż, „gdy się nie ma, co się lubi, to się lubi, co się ma”.)

## Obsługa i pomiary

Jak już wspominałem, wszystko obsługujemy za pomocą dwóch przycisków. Aby włączyć luksomierz, wystarczy nacisnąć dowolny przycisk. Wyłączenie również nie powinno sprawić problemu, należy nacisnąć i przytrzymać oba przyciski. Ale optymistycznie zakładam, że nikt nie będzie chciał od razu korzystać z tej opcji, dlatego opiszę, jak obsługiwać resztę funkcji urządzenia. Lewym klawiszem poruszamy się po trybach pomiarowych, czyli wybieramy, co chcemy mierzyć. Prawy służy do zapamiętania pomiaru (funkcja hold). Aby wejść do ustawień, wciskamy oba przyciski. Tutaj również lewy służy do przemieszczania się pomiędzy parametrami. Prawy powoduje przejście do wybranego parametru. Teraz możemy dostosować wartość do swoich potrzeb. Aby zakończyć ustawianie, naciskamy oba przyciski. Jeżeli przytrzymamy dłużej, to parametr dodatkowo zostanie zapisany w pamięci EEPROM. żeby wrócić z powrotem do pomiarów, również naciskamy oba klawisze. Przy pierwszym uruchomieniu konieczna może okazać się regulacja kontrastu, gdy nie będzie nic widać. Przytrzymujemy lewy przycisk i czekamy, aż na wyświetlaczu pojawi się cokolwiek. Następnie w ustawieniach precyzyjnie dostrajamy kontrast. Obsługa urządzenia opanowana! Nadszedł czas na pomiary. Pierwszym obiektem pomiarów będzie zapewne Twój pokój. Luksomierz w tym miejscu powinien wskazywać od kilku do kilkudziesięciu luksów. Z pomiarem diod będzie

trudniej. Promień koła światła z tej odległości powinien mieścić się w granicach 50–60cm, wtedy pole, na które pada światło, wynosi około 1m<sup>2</sup>. Granica tego koła będzie dość subiektywna, ale co poradzić. W każdym razie wiążę się z światłem emitowanego przez diodę powinna się tam znaleźć. Fotodiode ustawiamy w samym środku, tam gdzie natężenie jest największe. Można z grubsza przyjąć, że ile luksów, tyle lumenów zgodnie z wzorem 1lm=1lx\*1m<sup>2</sup>. Mało dokładne, ale za to bardzo proste. Zadowolające wyniki osiągnąłem również ze wspomnianym wcześniej „jajkiem”. Do pomiaru laserów prawie zawsze będzie potrzebny. Luksomierz w tym miejscu powinien wskazywać od kilku do kilkudziesięciu luksów. Niestety moja jedyna dioda z Blu-ray (405nm) nie przetrwała do testów i nie wiem, jak tłumik reaguje na światło fioletowe. Ale nie powinno być źle, skoro przy naświetlaniu płytek promieniami UV kalka techniczna sprawdza się dobrze. Pozostaje mi tylko życzyć udanej zabawy ze światłem! Chciałbym podziękować Rafałowi Orodzińskiemu za bezinteresowną pomoc w kwestii technik pomiarowych.

## Wykaz elementów

### Rezystory

R1,R4,R7	100kΩ
R2	22kΩ
R3	4,7kΩ
R5,R8	20kΩ
R6	1kΩ

### Kondensatory

C1,C5,C7-C10	100nF
C2	10μF
C3,C6	470nF

### Półprzewodniki

D1	BPW21R*
U1	LM358 SMD
U2	ATmega8L SMD
U3	LCD HD44780 2*8

### Pozostałe

P1	gniazdo goldpin 2-pinowe
S1,S2	microswitch
D1	listwa goldpin 3-pinowa*

\* fotodiode warto dołączyć za pomocą przewodu np. z gniazdem goldpin

**Komplet podzespołów z płytka jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2974.**

**Arkadiusz Hudzikowski**  
hudzikowski@gmail.com

