

# Cyfrowy zegar... „słoneczny”

Niezwykły cyfrowy zegar, wyświetlający czas w sposób analogowy, za pomocą wskazówek – cieni. Dla bardziej dociekliwych Czytelników w Elportalu, wśród materiałów dodatkowych do tego numeru, umieszczone są bogate materiały dodatkowe i wskazówki do dalszej rozbudowy.

Prezentowane urządzenie to cyfrowy zegar z wyświetlaczem analogowym, mierzący czas z dokładnością do jednej sekundy. Spośród wszystkich innych zegarów wyróżnia go efektowny sposób działania. Łączy on w sobie starożytny pomysł odmierzania czasu z nowoczesną technologią. Zasada wyświetlania aktualnej godziny jest analogiczna jak w... zegarze słonecznym. Ramiona widoczne na tarczy zegara tworzone są przez cienie powstające w wyniku oświetlenia pod odpowiednim kątem nieruchomej, pionowej wskazówki, znajdującej się w centrum tarczy. Różnica polega na tym, że zamiast pojedynczego źródła światła – słońca, które znacznie ograniczało dokładność zegara, wskazówkę oświetlają jednocześnie 3 spośród 180 diod LED ste-

rowanych przez odpowiednio zaprogramowany mikrokontroler. Wbrew pozorom zegar wcale nie jest tak skomplikowany, jak mogłoby się wydawać, dzięki czemu nawet mniej zaawansowani elektronicy nie powinni mieć problemu ze zrozumieniem jego działania, a także z realizacją.

Pracę zegara można obejrzeć w serwisie YouTube (najlepiej ustawiając wersję HD 1080p):

<https://www.youtube.com/watch?v=50vo3-plfPA>

## Opis układu

Na każdą wskazówkę zegara przypada 60 stanów (jak w tradycyjnym analogowym zegarze), co wymagało użycia 180 diod LED. Sterowanie taką liczbą diod wiąże się przeważnie z budowaniem skomplikowanych matryc, ale ponieważ głównym założeniem projektu była prostota konstrukcji, wykorzystałem sprytny pomysł sterowania dużą liczbą diod przy możliwie

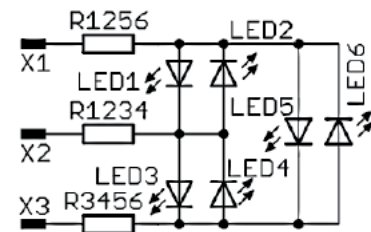
małej liczbie wyjść mikrokontrolera, tzw. *charlieplexing*.

Liczbę diod możliwych do sterowania tą metodą, za pomocą  $n$  wyjść, oblicza się z wzoru:

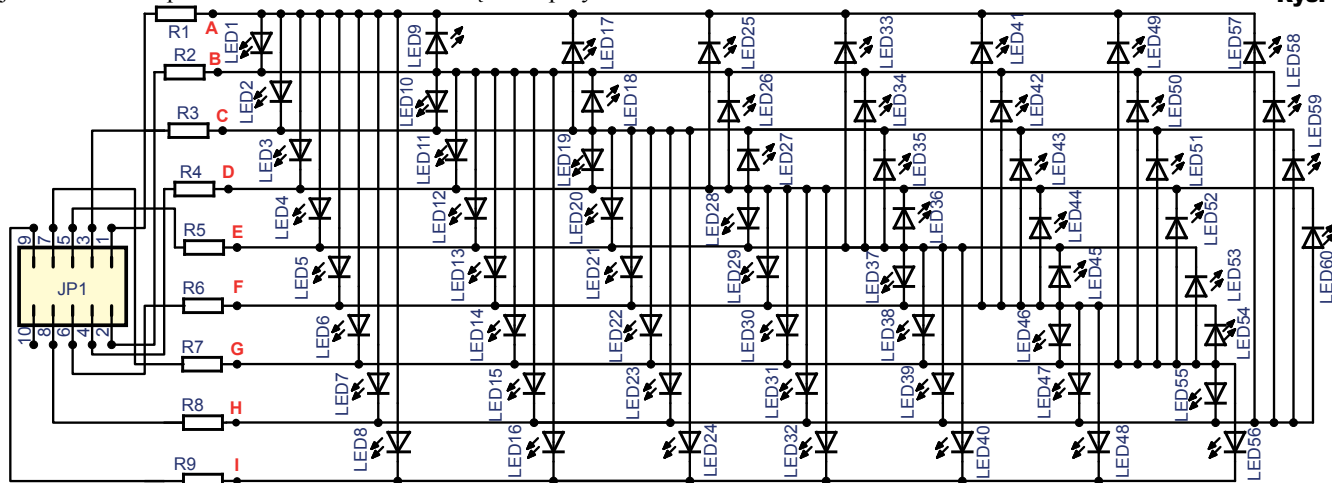
$$\text{Liczba diod} = n^2 - n$$

Przykładowo 3 wyjścia umożliwiają sterowanie sześcioma diodami, jak widać na rysunku 1.

Poszczególne diody zaświecane są za pomocą odpowiedniej polaryzacji wejść X1–X3. Wadą takiego rozwiązania jest to, że nie można jednocześnie zaświecić 2 lub więcej dowolnych diod. Pełną kontrolę mamy jedynie nad wyświetlaniem jednej diody w całej matrycy. Dlatego też wyświetlanie trzech wskazówek wymagało utworzenia 3 oddzielnych matryc po 60 diod. Matryce są identyczne, dlatego można dowolnie zamieniać miejscami, nawet po zmontowaniu układu. Schemat ideowy



Rys. 1



Rys. 2





Do sterowania matrycami użyłem platformy Arduino Mega z procesorem ATMEGA2560, głównie dlatego, aby ułatwić dalszą rozbudowę i uaktualnienia programu sterującego. Schemat układu pokazany jest na **rysunku 3**, a płytkę na **rysunku 4**. Ze względu na popularność Arduino jest to również rozwiązanie znacznie tańsze niż projektowanie nowej dedykowanej płytki PCB.

Układ uzupełnia moduł RTC z układem DS1307, pamięcią EEPROM i akumulatorkiem LIR2032 – schemat na **rysunku 5**. Komunikacja układu DS1307 z procesorem ATmega odbywa się przez port szeregowy I2C. Moduł RTC zapewnia dokładniejsze wskazania czasu i podtrzymuje odmierzanie czasu w przypadku awarii zasilania. Jego dokładność w zakresie temperatur od 20°C do 30°C wynosi 1–2ppm (Parts Per Milion). Oznacza to, że późni się maksymalnie o 0,08 sekundy na dobę. Układ jest również bardzo energooszczędny. Podczas normalnej pracy zegar pobiera około 60mA (wersja 2-wskazówkowa około 40mA), natomiast na podtrzymaniu akumulatorowym 0,5mA, dzięki czemu akumulator LIR2032 powinien wystarczyć na kilkadziesiąt lat.

Ustawianie czasu odbywa się za pomocą jednego przycisku. Po jednokrotnym naciśnięciu wskazówka minutowa zostaje przesunięta o 1 do przodu. Po przytrzymaniu przycisku wskazówka sekundowa zatrzymuje się w pozycji zerowej, a wskazówka minutowa zaczyna poruszać się coraz szybciej, przesuwając odpowiednio wskazówkę godzin.

Schemat ideowy Arduino Mega2560 dostępny jest w Elportalu wśród materiałów dodatkowych do tego numeru. Można tam też znaleźć schemat ideowy modułu Tiny RTC.

### Opis programu

Program jest dosyć przejrzysty i nie wymaga specjalnego omówienia. Warto jednak wspomnieć o działaniu głównej tablicy programu, dzięki której możemy łatwo dokonać zmian w sterowaniu matrycą (nawet jeśli ktoś nie jest programistą), w przypadku rozbudowy lub innych modyfikacji zegara.

Wyjścia dla poszczególnych wskazówek są tak skonfigurowane, aby ułatwić późniejszy montaż (patrz **tabela 1**). Przykładowo wyjście 24 na płytce Arduino ustawione jest jako linia A wskazówki sekund (patrz **rysunek 2**).

Główna tablica (**listing 1**) ustawia konfigurację wejść/wyjść, a następnie ich stan. Dla przykładu pierwszy wiersz tablicy najpierw ustawia piny dla linii D i H (patrz **tabela 1**) jako wyjścia (output), a następnie ustawia stan wysoki (high, czyli +5V) na linii D i niski (low, czyli masę) na linii H, zaświecając diodę LED31, która rzuca cień

na godzinę 12 (lub minutę/sekundę 0) na tarczy zegara.

Gdybyśmy chcieli wltować diody odwrotnie lub odwrócić płytki, np. żeby zbudować wersję zegara, w której diody podświetlają od spodu odpowiednią cyfrę na tarczy, wystarczy zmienić stan wyjść w kolumnie **PIN\_STATE**. Dla diody LED31 będą to pozycje D (z HIGH na LOW) i H (z LOW na HIGH).

Można również dowolnie zmieniać kolejność zaświecania diod. Przykładowo gdy zamienimy dwa pierwsze wiersze miejscami, najpierw zaświeci się dioda 32, później 31. Można w ten sposób zbudować wersję zegara chodzącą „do tyłu”.

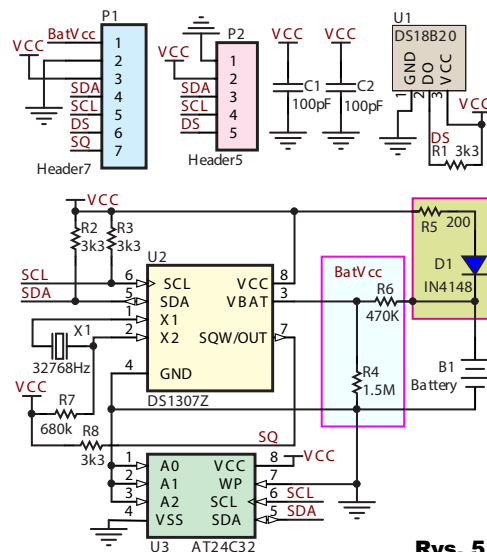
Pełny kod źródłowy programu, wraz z odpowiednimi bibliotekami, również dostępny jest w Elportalu.

### Montaż i uruchomienie

Zegar został zaprojektowany w taki sposób, aby był łatwy w montażu nawet dla początkujących elektroników. Schemat montażowy matrycy dla każdej wskazówki jest taki sam – **rysunek 6**. Diody ułożone są w okręgu, licząc od LED1 do LED60, w przeciwną stronę niż ruch wskazówek zegara. Wynika to z tego, że płytki zamontowane są „do góry nogami” względem tarczy zegara, aby łatwiej je było wyginać w kierunku tarczy (czyli w dół).



Fot. 2



Rys. 5

Tab. 1

Wskazówka Linia	Sek.	Min.	Godz.
A	24	34	44
B	25	35	45
C	26	36	46
D	27	37	47
E	28	38	48
F	29	39	49
G	30	40	50
H	31	41	51
I	32	42	52

```
int matrix[LED_COUNT][2][9] = {
//
//      A      B      C      D      E      F      G      H      I      A      B      C      D      E      F      G      H      I      Piny|Nr diody
//      (ustawia +5V na linii D i masę na linii H, zapalając diodę LED31)
//      { INPUT, INPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, OUTPUT }, { LOW, LOW, LOW, HIGH, LOW, LOW, LOW, LOW, LOW }, // DI 32
//      { OUTPUT, INPUT, INPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT }, { LOW, LOW, LOW, LOW, HIGH, LOW, LOW, LOW, LOW }, // EA 33
//      { INPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT }, { LOW, LOW, LOW, LOW, HIGH, LOW, LOW, LOW, LOW }, // EB 34
//      { INPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT }, { LOW, LOW, LOW, LOW, HIGH, LOW, LOW, LOW, LOW }, // EC 35
//      { INPUT, INPUT, INPUT, OUTPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT }, { LOW, LOW, LOW, LOW, HIGH, LOW, LOW, LOW, LOW }, // ED 36
//      { INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT }, { LOW, LOW, LOW, LOW, HIGH, LOW, LOW, LOW, LOW }, // EF 37
//      { INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT }, { LOW, LOW, LOW, LOW, HIGH, LOW, LOW, LOW, LOW }, // EG 38
//      { INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT, INPUT }, { LOW, LOW, LOW, LOW, HIGH, LOW, LOW, LOW, LOW }, // EH 39
//      { INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, OUTPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT }, { LOW, LOW, LOW, LOW, HIGH, LOW, LOW, LOW, LOW }, // EI 40
//      (... )
};
```

Listing 1



Po włutowaniu diod, rezystorów, goldpinów, odpowiednim podłączeniu okablowania według **rysunku 7**, układ nie wymaga specjalnego uruchamiania. Po włączeniu zasilania należy jedynie jednokrotnie nacisnąć przycisk ustawiania godziny. Wynika to z tego, że w pamięci modułu nie jest zapisana żadna godzina. Naciśnięcie powoduje pierwszy zapis, dzięki czemu zegar zaczyna działać.

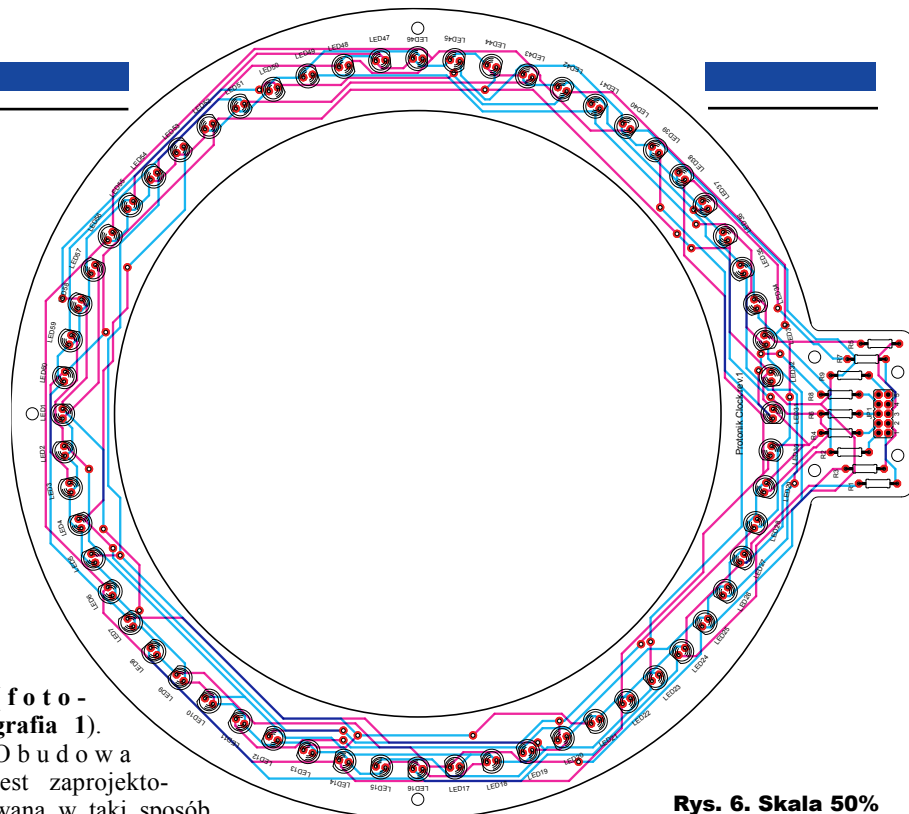
Po zmontowaniu i uruchomieniu układu należy zamontować tarczę i przeprowadzić kalibrację, czyli odpowiednio powyginać diody, aby każda świeciła centralnie na nieruchomą wskazówkę na środku tarczy. Najłatwiej to zrobić, podłączając ustawianą matrycę do wyjść minutowych i następnie przyciskiem ustawiania godziny przełączać kolejno diody i odpowiednio je wyginać. Czynność należy wykonać dla każdej diody z każdej matrycy. Właściwe przeprowadzenie kalibracji ma duży wpływ na późniejszą jakość wyświetlania wskazówek (szczególnie gdy dwa cienie się nakładają lub jeśli są ustawione naprzeciw siebie). Są one najlepiej widoczne, gdy strumień światła ustawiony jest zgodnie z zaleceniami na **rysunku 8**.

Po pierwszym uruchomieniu moduł RTC może nie pamiętać od razu godziny, ponieważ akumulatory nie jest naładowany. Po około 1 godzinie ciągłej pracy zegara powinien być naładowany w pełni i pamiętać godzinę nawet po długim braku zasilania.

## Obudowa

Układ prezentuje się najlepiej, gdy na tarczę pada jak najmniej światła z zewnątrz, które osłabia widoczność wskazówek-cieni. W związku z tym najlepiej umieścić go w odpowiedniej obudowie.

W tym celu zaprojektowałem obudowę w dwóch wersjach. Pierwsza wersja przeznaczona jest do wydruku na drukarce 3d



(fotografia 1).

Obudowa jest zaprojektowana w taki sposób, aby można ją było łatwo zmontować lub rozmontować. Jest też podzielona na części nie większe niż 20x20x20cm (**rysunek 9**), dzięki czemu można ją wydrukować na większości domowych drukarek 3D. Gotowy projekt do wydrukowania obudowy również znajduje się wśród materiałów dodatkowych w Elportalu.

Druga wersja obudowy (**fotografie 2 i 3**) zaprojektowana jest do wycinania laserowego lub rozmontowania z pleksi lub sklejki o grubości 3mm według **rysunku 10**. Gotowy projekt do wycinania dostępny jest w Elportalu jako plik *zegar\_cieni\_obudowa\_laser.dxf*.

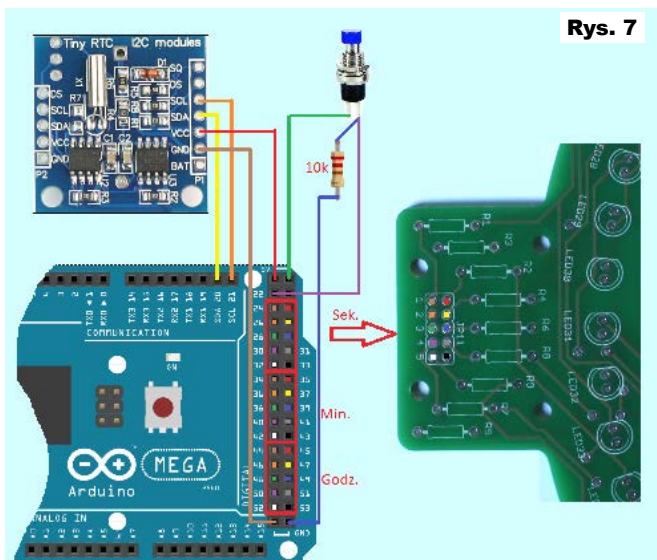
Rys. 6. Skala 50%

## Możliwości zmian

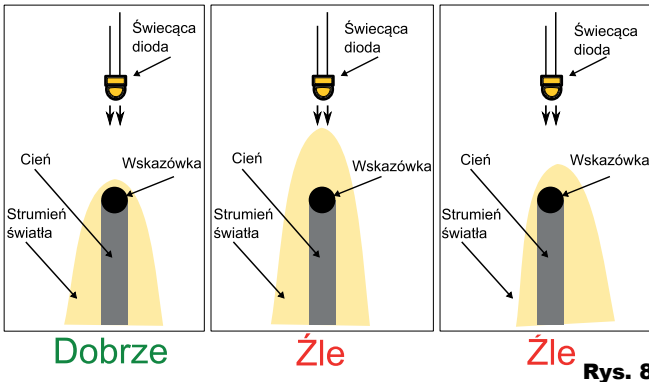
Ze względu na dosyć prostą konstrukcję i wykorzystanie popularnej platformy Arduino, układ można bardzo łatwo modyfikować.

Pierwszą zmianą, jaka przyszła mi na myśl, była wersja bez sekundnika. Zaświecająca się co sekundę dioda może rozpraszać uwagę, jeśli zegar stoi np. w pobliżu telewizora, komputera lub miejsca, w którym się czyta. Warto też rozwa-

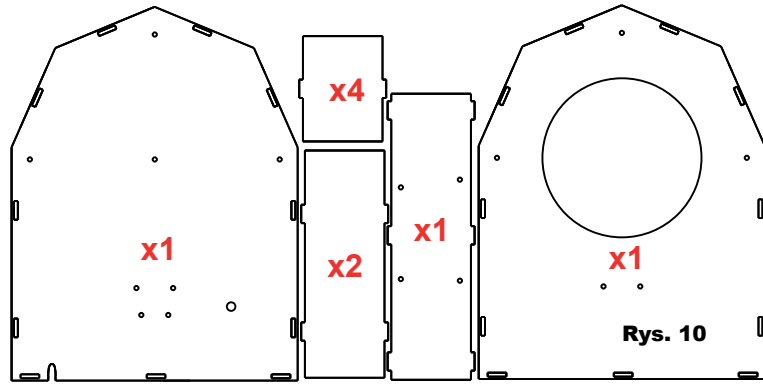
Fot. 3



Rys. 7



Rys. 8



Rys. 10

żyć użycie innych kolorów diod, pamiętając o doborze odpowiednich rezystorów i nieprzekraczaniu maksymalnego prądu wyjścia modułu Arduino, który wynosi 50mA. Wersję z dwoma wskazówkami i z białymi diodami przedstawia **fotografia 4**. Koszt zegara w tej wersji jest też znacznie niższy (o cenę 60 diod i jednej płytki PCB).

Odwracając płytki „do góry nogami”, łatwo stworzymy wersję zegara chodzącą do tyłu. Należy wtedy pamiętać o zmianie kierunku skali czasu na tarczy. Efekt taki można również uzyskać, modyfikując odpowiednio główną tablicę programu (patrz listing 1).

W module Arduino pozostało sporo niewykorzystanych wyjść. Można je wykorzystać do utworzenia matrycy dla wahadła – cienia, czy chociażby dodać moduł dźwiękowy wybijający odpowiednią liczbę gongów co godzinę lub pełniący funkcję budzika. Gotowy układ dostępny jest np. na:

<http://serwis.avt.pl/manuals/AVT1257.pdf>.

Moduł z układem DS1307 umożliwia również odczyt daty, dzięki czemu łatwo dodać do zegara funkcję wyświet-

lania aktualnego dnia tygodnia, dnia w miesiącu, miesiąca i roku.

Dla platformy Arduino dostępne są również moduły komunikacyjne (np. Wi-Fi, Bluetooth), dzięki czemu bardziej zaawansowani elektronicy mogą zrobić, relatywnie niskim kosztem, bezprzewodową synchronizację z jednym z serwerów czasu wzorcowego.

Jeśli ktoś posiada drukarkę 3D, może również poeksperymentować z kształtem wskazówki, tarczy i obudowy. W Internecie dostępnych jest wiele ciekawych konstrukcji zegarów, którymi można się zainspirować, np. zegar pierścieniowy, zegary słoneczne z wklęsłą tarczą lub przepuszczające światło przez otwory w kształcie cyfr.

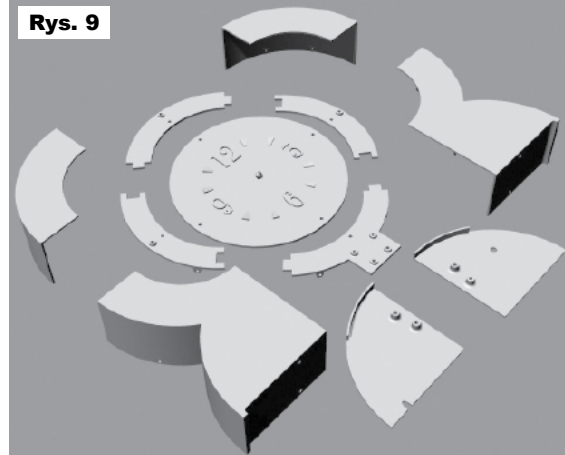
Wskazówka może być o wiele cieńsza, jednak wymaga to zastosowania diod o mniejszym kącie świecenia i/lub większej jasności. W prezentowanym układzie użyłem diod o kącie świecenia 15° i jasności około 6000mcd. Diody o lepszych parametrach są trudno dostępne, ale możliwe do zdobycia.

Używając zamiast tarczy lustra i dodając półprzezroczystą, lustrzaną folię do szyb (dostępna np. na Allegro) nad diodami, można uzyskać ciekawy efekt trójwymiarowości.

Zamiast przycisku można zastosować enkoder obrotowy (przełącznik – impulsator), podłączający równomiernie ze wskazówką minutową w obie strony, co znacznie ułatwiłoby ustawianie godziny.

Wszelkie komentarze, pytania i uwagi mile widziane :-)

Redakcja obiecuje też, że z przyjemnością przedstawi fotografie Waszych wersji przedstawionego projektu, zarówno zrealizowanych dokładnie według podanych właśnie wskazówek, jak też wszelkich wersji zmodyfikowanych.



Rys. 9

**Wykaz elementów**

- R1–R9 (dla diod czerwonych) ..... 150Ω
- R1–R9 (dla diod zielonych) ..... 120Ω
- R1–R9 (dla diod niebieskich) ..... 91Ω
- Rp ..... 10kΩ
- D1–D60 ..... dioda LED 5mm
- Moduł Arduino Mega2560
- Moduł TinyRTC DS1307 I2C
- Przełącznik 2-pozycyjny off-(on) typu przycisk
- JP1: złącze goldpin kątowe symetryczne 2x5
- Złącze goldpin kątowe asymetryczne 2x5
- Taśma 10-żyłowa „rainbow” ze złączem IDC10

**Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny: AVT3115/1 A**

Płytki drukowane do wersji RGB (trzy wskazówki: sek, min, godz). Zestaw zawiera: Zestaw 3xPCB + dokumentacja.

**AVT3115/1 B**

Wersja RGB (trzy wskazówki: sek, min, godz).

- Zestaw zawiera:
- 3x płytka pcb
- 60 diod RED, 60 diod GREEN, 60 diod BLUE
- moduł Arduino Mega + moduł RTC
- kabelki, goldpiny, rezystory, śrubki i dystanse
- wskazówka wydrukowana na drukarce 3d
- dokumentacja z linkami do materiałów dodatkowych

**AVT3115/2 A**

Płytki drukowane do wersji B&W (dwie wskazówki, białe diody). Zestaw zawiera: Zestaw 2xPCB + dokumentacja.

**AVT3115/2 B**

Wersja B&W (dwie wskazówki, białe diody). Zestaw zawiera:

- 2x płytka pcb
- 120 diod białych
- moduł Arduino Mega + moduł RTC
- kabelki, goldpiny, rezystory, śrubki i dystanse
- wskazówka wydrukowana na drukarce 3d
- dokumentacja z linkami do materiałów dodatkowych

**AVT3115/0 (OBUDOWA)**

Obudowa wycinana laserowo z plexi 3mm, kolor biały pełny.



Fot. 4

Sebastian Wac

[www.protonik.pl](http://www.protonik.pl)

[sebastian.wac@gmail.com](mailto:sebastian.wac@gmail.com)