

Piotr Gałka  
Paweł Gałka

# PODSTAWY PROGRAMOWANIA MIKROKONTROLERA 8051

KSIĄŻKA  
Z PŁYTKĄ  
CD

NOWE WYDANIE

W Y D A W N I C T W O   N A U K O W E   P W N

**PODSTAWY  
PROGRAMOWANIA  
MIKROKONTROLERA  
8051**



Piotr Gałka  
Paweł Gałka

**PODSTAWY  
PROGRAMOWANIA  
MIKROKONTROLERA  
8051**



WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN  
WARSZAWA 2013

Projekt okładki **Agnieszka Łydźba**

Ilustracja na okładce **MicroMade**

Redaktor **Iwona Stachowicz**

Produkcja **Anna Bączkowska**

Skład i łamanie **MicroMade**

Do książki został dołączony CD-ROM, na którym znajdują się opisane w książce przykłady oraz wykorzystywany w nich mikroassembler 8051.

Zastrzeżonych nazw firm i produktów użyto w książce wyłącznie w celu identyfikacji.

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA  
Warszawa 2012

ISBN 978-83-01-17262-6

Wydanie V

Wydawnictwo Naukowe PWN SA  
tel. 22 69 54 321; faks 22 69 54 288  
infolinia 801 33 33 88  
e-mail: [pwn@pwn.com.pl](mailto:pwn@pwn.com.pl)  
[www.pwn.pl](http://www.pwn.pl)

*Rodzicom*

## ***Podziękowania***

*Włożyliśmy w niniejszą książkę więcej pracy niż sami się spodziewaliśmy. Nie zabralibyśmy się jednak w ogóle do niej, gdyby nie namowy i entuzjazm naszego kolegi Jurka Drożdż. Należą mu się za to podziękowania.*

*Do ostatecznej postaci książki przyczynił się również dr Waldemar Tlaga, któremu dziękujemy za cenne uwagi merytoryczne.*

*Słowa uznania kierujemy do Mirki Galki za pomoc w doprowadzeniu tekstu do ostatecznego kształtu.*

*Pragniemy także podziękować panu Witoldowi Sikorskiemu i jego współpracownikom z wydawnictwa MIKOM za sprawne przygotowanie książki do druku.*

*Autorzy*

*Specjalne podziękowania wyrażam mojej żonie Mirce za to, że potrafi mnie zrozumieć.*

*Piotr*

*Kochanej żonie Eli dziękuję za Maciusia i Kasię! ... i Oleńkę!!!*

*Paweł*

# SPIS TREŚCI

---

<b>PRZEDMOWA DO WYDANIA IV</b>	<b>5</b>
<b>WSTĘP</b>	<b>7</b>
<b>SŁOWNICZEK</b>	<b>9</b>
<b>1. MIKROPROCESOR - ALEŻ TO PROSTE !</b>	<b>11</b>
<b>2. MIKROPROCESORY</b>	<b>23</b>
2.1. WIADOMOŚCI PODSTAWOWE	23
2.2. MIKROKONTROLER 8051	29
<b>3. DYDAKTYCZNY SYSTEM MIKROPROCESOROWY</b>	<b>32</b>
3.1. PRZEZNACZENIE SYSTEMU DSM-51	32
3.2. WYPOSAŻENIE SYSTEMU DSM-51	33
3.3. ARCHITEKTURA SYSTEMU DSM-51	35
3.4. OPROGRAMOWANIE	38
3.5. URUCHOMIENIE SYSTEMU	39
3.6. URUCHAMIANIE PROGRAMÓW BEZ POMOCY KOMPUTERA	40
3.7. PRACA Z SYSTEMEM DSM-51 Z WYKORZYSTANIEM KOMPUTERA	43
<b>4. PROGRAMOWANIE MIKROKONTROLERA 8051</b>	<b>48</b>
LEKCJA 1: LINIE WEJŚĆ/WYJŚĆ MIKROKONTROLERA	50
LEKCJA 2: PORTY MIKROKONTROLERA	60
LEKCJA 3: PAMIĘĆ WEWNĘTRZNA RAM	68
LEKCJA 4: PROSTE OPERACJE ARYTMETYCZNE	80
LEKCJA 5: STOS	93
LEKCJA 6: WYŚWIETLACZ 7-SEGMENTOWY	102
LEKCJA 7: KLAWIATURA PRZEGLĄDANA SEKWENCYJNIE	111



<b>LEKCJA 8: KLAWIATURA MATRYCOWA</b>	<b>121</b>
<b>LEKCJA 9: WYŚWIETLACZ ALFANUMERYCZNY LCD</b>	<b>130</b>
<b>LEKCJA 10: DEKODER ADRESÓW</b>	<b>141</b>
<b>LEKCJA 11: TIMERY MIKROKONTROLERA</b>	<b>154</b>
<b>LEKCJA 12: SYSTEM PRZERWAŃ 8051</b>	<b>167</b>
<b>LEKCJA 13: STEROWNIK TRANSMISJI SZEREGOWEJ</b>	<b>183</b>
<b>LEKCJA 14: PROGRAMOWA REALIZACJA TRANSMISJI</b>	<b>198</b>
<b>LEKCJA 15: STEROWNIK PRZERWAŃ DSM-51</b>	<b>207</b>
<b>LEKCJA 16: UKŁAD TRANSMISJI RÓWNOLEGLEJ 8255</b>	<b>219</b>
<b>LEKCJA 17: PRZETWARZANIE A/C I C/A</b>	<b>238</b>
<b>LEKCJA 18: UKŁAD WATCHDOG</b>	<b>253</b>
<b>LEKCJA 19: PAMIĘĆ EEPROM</b>	<b>261</b>
<b>LEKCJA 20: ZEGAR CZASU RZECZYWISTEGO</b>	<b>275</b>
<b>DODATKI</b>	<b>286</b>
<b>A. ROZKAZY MIKROKONTROLERA 8051</b>	<b>287</b>
<b>B. REJESTRY SPECJALNE 8051</b>	<b>288</b>
<b>C. PODPROGRAMY W PAMIĘCI EPROM SYSTEMU DSM-51</b>	<b>289</b>
<b>D. URZĄDZENIA WEJŚĆ/WYJŚĆ DSM-51</b>	<b>290</b>
<b>E. UKŁAD TRANSMISJI RÓWNOLEGLEJ 8255</b>	<b>291</b>
<b>F. UKŁAD HD44780 - STEROWNIK WYŚWIETLACZA LCD</b>	<b>292</b>
<b>G. OGRANICZENIA PRACY KROKOWEJ DSM-51</b>	<b>296</b>
<b>H. SCHEMAT BŁOKOWY DSM-51</b>	<b>297</b>
<b>I. SYSTEM DSM-51 v3</b>	<b>299</b>

# Przedmowa do wydania IV

---

Pierwsze wydanie tej książki ukazało się w 1995. Te 10 lat, które minęły od tamtej pory, naznaczone były olbrzymim postępem w elektronice. Obecnie nie wyobrażamy sobie życia bez telefonu komórkowego, aparatu cyfrowego, odtwarzacza mp3 itp. 10 lat wcześniej te "niezbędne" drobiazgi były dopiero w powijkach. Rozwój ten nie byłby możliwy m.in. bez intensywnego rozwoju mikrokontrolerów.

Powstało wiele nowych, szybszych i doskonalszych mikrokontrolerów, a mimo to, 8051 oparł się upływowi czasu. Choć w swojej klasycznej formie wykorzystywany jest coraz rzadziej, to jednak powstałe na jego bazie, zgodne programowo rodziny mikrokontrolerów, są ciągle bardzo popularne i stale rozwijane. Dydaktyczny System Mikroprocesorowy DSM-51 również nie zestarzał się i na stałe zadomowił w uczelniach i szkołach o profilu elektronicznym.

Pierwsza wersja DSM-51 powstała w 1992 roku na zamówienie Politechniki Gdańskiej. Dwa lata później system doczekał się poważnej modernizacji - powstała wersja 2 przeznaczona dla szkół średnich. Na tej bazie powstał niniejszy podręcznik. Ta wersja systemu byłaby zapewne sprzedawana aż do dzisiaj, gdyby nie znamienna data: 1.05.2004r - Polska wstępuje do Unii Europejskiej. Zmusiło to nas do kolejnej modernizacji DSM-51 tak, aby spełniał dyrektywy UE.

Podstawowe założenia, które musieliśmy spełnić, to zmniejszenie zakłóceń emitowanych przez DSM-51 oraz zwiększenie odporności systemu. Aby to osiągnąć podjęliśmy następujące kroki:

- wstawiliśmy elementy zabezpieczające przy wszystkich złączach systemu,
- wstawiliśmy elementy tłumiące na szynie mikroprocesora,
- wstawiliśmy filtr przeciwzakłóceńowy na zasilaniu,
- zastosowaliśmy elementy SMD,
- usunęliśmy złącze szyny systemowej.

I tak powstała trzecia wersja systemu DSM-51. Pod względem programowym praktycznie nie różni się ona od poprzedniej. Jediną różnicą jest brak złącza szyny systemowej, a więc brak możliwości dodania kolejnych elementów systemu mikroproce-

sorowego. Zdecydowaliśmy się na ten kompromis pamiętając, że obecnie mikrokontrolery bardzo często w ogóle nie posiadają zewnętrznej szyny systemowej. Projektując urządzenie wybiera się mikrokontroler z wbudowanymi wszystkimi potrzebnymi elementami.

Po modernizacji systemu DSM-51 musieliśmy również dopasować treść niniejszego podręcznika. Powinien on służyć zarówno posiadaczom 3 jak i 2 wersji systemu. Z tego względu nie usunęliśmy fragmentów odnoszących się np. do szyny systemowej. Posiadacz 3 wersji systemu powinien uważnie zaznajomić się z nowym dodatkiem, System DSM-51 v3, zawierającym schematy blokowe i opis wprowadzonych zmian.

W podręczniku zdecydowaliśmy się jedynie na korektę rozdziału 3.7 - Praca z systemem DSM-51 z wykorzystaniem komputera. Poprzednia wersja opisywała instalację oprogramowania w systemie DOS i już dawno nie pasowała do dostarczanego z podręcznikiem oprogramowania.

Po latach obecności w szkołach elektronicznych możemy stwierdzić, że podstawy programowania mikrokontrolerów są tak samo stałe jak podstawy matematyki. Dlatego jesteśmy przekonani, że Dydaktyczny System Mikroprocesorowy DSM-51 przetrwa jeszcze wiele lat, i wielu przyszłych inżynierów elektroników rozpocznie swoją przygodę z mikrokontrolerami od przeczytania tych słów. Wszystkim Wam, których zafascynuje świat mikrokontrolerów, życzymy, aby nie pochłonał Was w całości. Jest tyle pięknych rzeczy na świecie...

*Autorzy*

# Wstęp

---

Jeśli Twoje doświadczenie w programowaniu mikroprocesorów jest niewielkie lub nie masz go wcale, a chcesz nauczyć się programowania mikrokontrolera 8051 na poziomie assemblera, to ta książka jest właśnie dla Ciebie.

Wyjaśni Ci ona w przystępny sposób podstawowe zagadnienia związane z funkcjonowaniem mikroprocesora, po czym przedstawi Ci jeden z najpopularniejszych obecnie mikrokontrolerów - układ 8051 i zbudowany na jego bazie Dydaktyczny System Mikroprocesorowy DSM-51. Następnie w kolejnych lekcjach wprowadzi Cię, krok po kroku, w tajniki programowania mikrokontrolera 8051.

Zakres materiału obejmuje wykorzystanie praktycznie wszystkich elementów zawartych w mikrokontrolerze oraz sterowanie takimi elementami zewnętrznymi, jak proste sygnalizatory, klawiatury, wyświetlacze, przetworniki i układy transmisji szeregowej. Materiał zawarty w lekcjach ułożony jest według narastającego stopnia trudności omawianych zagadnień. Każdy temat poparty jest przykładami programów, które mogą być bezpośrednio uruchomione w systemie DSM-51.

Książka zakłada posiadanie przez czytelnika podstawowej wiedzy z zakresu elektroniki oraz jego opanowanie obsługi komputerów. Dlatego występujące w niej zagadnienia z tych dziedzin nie są omawiane. Książka nie zawiera danych katalogowych mikrokontrolera 8051. Jedynie w dodatkach zawarto skrócone opisy wszystkich jego instrukcji i rejestrów specjalnych.

## Jak korzystać z podręcznika ?

**Słowniczek** zawiera krótkie wyjaśnienia pojęć i skrótów stosowanych wielokrotnie w treści książki. W elektronice i technice mikroprocesorowej występuje wiele terminów zaczerpniętych z języka angielskiego, które trzeba sobie przyswoić. Stosowanie słów polskich o zbliżonym znaczeniu nie zawsze jest jednoznaczne.

**Rozdział 1**, w oparciu o przemawiający do wyobraźni model, omawia podstawy działania mikroprocesorów i mikrokontrolerów. Jest on przeznaczony dla osób, dla których ten podręcznik stanowi pierwszy kontakt z mikroprocesorami. Możesz go śmiało pominąć, jeśli masz na swoim koncie kilka najprostszych nawet programów napisanych w assemblerze.

**Rozdział 2** zawiera podstawowe informacje o systemach mikroprocesorowych oraz zwięzły opis mikrokontrolera 8051. Czytając ten rozdział nie musisz zapamiętać wszystkich zawartych tu informacji. Ważniejsze jest ogólne zorientowanie się w dziedzinie, której dotyczy ten podręcznik. Szczegóły poznasz w kolejnych lekcjach rozdziału 4.

**Rozdział 3** jest opisem Dydaktycznego Systemu Mikroprocesorowego DSM-51. Jest to system zbudowany specjalnie do celów nauczania programowania mikrokontrolera 8051. Rozdział ten pozwoli Ci zapoznać się z budową, możliwościami i sposobami wykorzystania tego systemu. DSM-51 pozwala na uruchamianie programów w trybie pracy ciągłej i krokowej pod kontrolą monitora. Korzystanie z systemu DSM-51 nie jest niezbędne do zrozumienia materiału zawartego w kolejnych lekcjach, jednak możliwości faktycznego uruchamiania napisanych przez siebie programów w trakcie nauki nie da się przecenić.

**Rozdział 4** stanowi zasadniczą część podręcznika. Zawiera on zestaw lekcji, które omawiają kolejne zagadnienia związane z programowaniem mikrokontrolera 8051. Lekcje te są ułożone według narastającego stopnia trudności i powinny być przerabiane kolejno. Każda lekcja zawiera kilka przykładowych programów, które mogą być uruchamiane w systemie DSM-51. Jest ona poza tym uzupełniona zestawem odpowiednich zadań oraz wskazówkami w jaki sposób te zadania rozwiązać. Wszystkie przykłady możesz modyfikować według własnych pomysłów i następnie uruchamiać w systemie. Pozwoli Ci to nabrać wprawy w pisaniu programów dla mikrokontrolera 8051.

**Dodatki** umieszczone na końcu podręcznika zawierają wszystkie informacje, które powinny być „pod ręką” przy pisaniu programów. Są tam informacje o mikrokontrolerze 8051 (lista instrukcji i opis rejestrów specjalnych) i o Dydaktycznym Systemie Mikroprocesorowym DSM-51 (dostępne podprogramy, adresy urządzeń, opis układu 8255, opis wyświetlacza LCD, ograniczenia pracy krokowej i schematy blokowe).

# Słowniczek

---

<b>ASCII</b>	American Standard Code for Information Interchange - sposób kodowania znaków
<b>assembler</b>	1. język symboliczny niskiego poziomu; 2. program tłumaczący język symboliczny
<b>asemblacja</b>	tłumaczenie języka symbolicznego
<b>bajt</b>	zestaw 8 uporządkowanych bitów
<b>bank</b>	segment pamięci, grupa rejestrów
<b>bit</b>	jednostka ilości informacji
<b>bod</b>	jednostka szybkości transmisji danych cyfrowych
<b>CPU</b>	Central Processing Unit - centralna jednostka sterująca
<b>dekrement</b>	zmniejszanie o 1
<b>EPROM</b>	Erasable and Programmable Read-Only Memory - pamięć stała wymazywalna i programowalna
<b>EEPROM</b>	Electrically Erasable and Programmable Read-Only Memory - pamięć stała wymazywalna i programowalna elektrycznie
<b>flaga</b>	znacznik stanu, wskaźnik stanu
<b>GAL</b>	Generic Array Logic - programowalna matryca logiczna
<b>inkrement</b>	zwiększanie o 1
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display - wyświetlacz ciekłokrystaliczny
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode - dioda świecąca
<b>listing</b>	treść programu uzupełniona o informacje wytworzone w procesie asemblacji
<b>makrorozkaz</b>	zestaw rozkazów procesora

<b>mikrokontroler</b>	układ scalony zawierający mikroprocesor oraz kilka elementów zewnętrznych
<b>mnemonik</b>	symbol rozkazu
<b>port</b>	rejestr pośredniczący między urządzeniem zewnętrznym, a szyną mikroprocesora
<b>RAM</b>	Random Access Memory - pamięć o dostępie swobodnym
<b>ROM</b>	Read-Only Memory - pamięć stała
<b>reset</b>	ustawienie w stan początkowy
<b>SFR</b>	Special Function Registers - rejestry funkcji specjalnych
<b>timer</b>	układ czasowo/licznikowy
<b>watchdog</b>	układ kontrolujący pracę mikroprocesora

# **1. Mikroprocesor - ależ to proste !**

---

W rozdziale tym, w oparciu o przemawiający do wyobraźni model pracy mikroprocesora, omówione zostały podstawy działania mikroprocesorów i mikrokontrolerów. Po lekturze tego rozdziału nawet ta osoba, która nigdy wcześniej nie spotkała się z tymi zagadnieniami, powinna nabrać przekonania, że nie są one takie trudne. Wystarczy odrobina wyobraźni i logicznego myślenia.

Omawiane zagadnienia nie są związane z konkretnym typem mikroprocesora. O ile posługiwanie się nazwami wewnętrznych elementów mikroprocesora okazywało się tu niezbędne, stosowano nazwy występujące w mikrokontrolerze 8051.

Mikroprocesor kojarzy się wielu osobom z bardzo mądrym urządzeniem, które potrafi rozwiązywać wiele skomplikowanych problemów. Pojęcia sztuczna inteligencja, systemy ekspertowe czy komputery piątej generacji są również często łączone bezpośrednio z mikroprocesorami. Powoduje to nieuzasadnione przypisywanie tym urządzeniom cech, których wcale nie posiadają.

Tymczasem mikroprocesor to w swej koncepcji stosunkowo proste urządzenie, które nie ma nic wspólnego z inteligencją. Jego podstawową umiejętnością jest pobieranie i wykonywanie kolejnych rozkazów programu. Czynności tej oddaje on się z niezwykłym zapamiętaniem, wykonując zazwyczaj ponad milion rozkazów w ciągu każdej sekundy. Uświadomienie sobie faktu, że praca mikroprocesora to faktycznie bezmyślne wykonywanie kolejnych rozkazów, jest właściwie podstawą zrozumienia jego działania.

## **Centralna jednostka sterująca**

Sercem mikroprocesora jest centralna jednostka sterująca (CPU - Central Processing Unit). Jej zadaniem jest sterowanie procesem pobierania rozkazów, ich rozpoznawania i wykonywania.

CPU można porównać do siedzącego przy biurku urzędnika. Trzyma on przed sobą grubą książkę, w której na pierwszej stronie każdej kartki zapisany jest jeden rozkaz. W książce tej ponumerowane są tylko pierwsze strony każdej kartki, bo one zawierają rozkazy. Numeracja rozpoczyna się od 0.



Urzędnik wykonuje nieustannie następujące czynności:

- odczytanie rozkazu z aktualnej strony książki,
- przewrócenie kartki (na następną),
- wykonanie rozkazu.

Książka z rozkazami może być bardzo gruba - od kilku tysięcy stron do wielu milionów (zależnie od typu mikroprocesora). Po odczytaniu rozkazu z ostatniej strony książki, przewrócenie kartki oznacza rozpoczęcie czytania książki od początku.

### **Najprostsze programy**

Na biurku oprócz książki z rozkazami znajduje się jeszcze wiele innych rzeczy, którymi nasz urzędnik może się posługiwać. Między innymi stoi tam lampka, którą można zapalać i gasić. Następujący zestaw rozkazów spowoduje, że urzędnik będzie zapalał i gasił lampkę:

<b>Strona</b>	<b>Rozkaz</b>
0	Zapal lampkę.
1	Zgaś lampkę.
2	Otwórz książkę na stronie 0.

Mając takie rozkazy w książce urzędnik postąpi następująco:

- przeczyta rozkaz ze strony 0,
- przewróci kartkę,
- wykona rozkaz ze strony 0 - zapali lampkę,
- przeczyta rozkaz ze strony 1,
- przewróci kartkę,
- wykona rozkaz ze strony 1 - zgasi lampkę,
- przeczyta rozkaz ze strony 2,
- przewróci kartkę,
- wykona rozkaz ze strony 2 - otworzy książkę na stronie 0,
- przeczyta rozkaz ze strony 0,
- przewróci kartkę,
- itd....

Aby urzędnik tylko zapalił lampkę, a następnie już nic nie robił, trzeba przygotować mu książkę zawierającą następujący program:

Strona	Rozkaz
0	Zapal lampkę.
1	Otwórz książkę na stronie 1.

Program ten spowoduje, że po zapaleniu lampki urzędnik będzie w nieskończoność wykonywał rozkaz ze strony 1. Wynika to z tego, że efektem wykonania tego rozkazu jest otwarcie książki na stronie 1.

Takie „zapętlenie” jest niezbędne, gdyż, jak wspomniano wcześniej, na każdej ponumerowanej stronie książki musi być rozkaz. Gdyby na stronie 1 nie było rozkazu zapętającego pracę urzędnika, to znalazłby się tam inny, zupełnie przypadkowy rozkaz i urzędnik by go wykonał. Potem wykonałby rozkaz z następnej strony i tak dalej. Wyniki pracy urzędnika wykonującego przypadkowe rozkazy nie dają się przewidzieć.

## Odmierzanie czasu

W poprzednio omówionych przykładach urzędnik zapalał i gasił lampkę najszybciej jak potrafił. Istnieją generalnie dwa rozwiązania, które powodują wykonywanie tej czynności co pewien czas (na przykład co 10 minut).

- Znając szybkość wykonywania rozkazów przez urzędnika można dać mu tyle pracy do wykonania między zapaleniem i gaszeniem lampki, aby zajęło mu to akurat tyle czasu co potrzeba.
- Postawić na biurku urzędnika budzik, wydać polecenie nakręcenia go i ustawienia na dzwonienie za 10 minut. Następnie polecić urzędnikowi zabranie się za inną pracę. Jednocześnie można mu zapowiedzieć, że gdy budzik zadzwoni, będzie musiał oderwać się na chwilę od aktualnie wykonywanego zadania, przełączyć lampkę, przestawić budzik o 10 minut do przodu, nakręcić go i powrócić do przerwanej pracy.

## Bezpośrednie odliczanie czasu

Rozwiązanie pierwsze wymaga znalezienia pracy zajmującej urzędnikowi precyzyjnie określony czas. Można mu kazać liczyć do 100 (czy do innej liczby wynikającej z zadanego czasu). Za każdym razem zajmie mu to tyle samo czasu.

Do wykonania tego zadania urzędnikowi potrzebna jest kartka, na której można zapisywać liczby w czasie liczenia (urzędnik nie potrafi nic zapamiętać, jeśli sobie nie zapisze). Na biurku pojawia się więc kartka (nazwa się ona A, dla odróżnienia od innych, które pojawią się później) oraz ołówek i gumka. Na kartce może być zapisana tylko jedna liczba, zapisanie nowej liczby wiąże się z wymazaniem starej. Lampka na biurku urzędnika posiada taki wyłącznik, że każde jego naciśnięcie gasi ją, gdy się świeci i zapala, gdy jest zgaszona.

Poniższy program spowoduje, zapalenie i gaszenie lampki co pewien czas, który jest potrzebny na policzenie do 100 (faktycznie od 100 do 0):

<b>Strona</b>	<b>Rozkaz</b>
0	Zapisz na kartce A liczbę 100.
1	Zmniejsz liczbę na kartce A o 1.
2	Jeśli liczba na kartce A jest różna od 0 to otwórz książkę na stronie 1.
3	Naciśnij przycisk lampki.
4	Otwórz książkę na stronie 0.

Nasz urzędnik:

- wpisuje na kartce A liczbę 100,
- zmniejsza liczbę na kartce A o 1 (wpisuje 99),
- sprawdza, czy jest ona różna od 0 - jest różna, w związku z czym otwiera książkę na stronie 1,
- znów zmniejsza liczbę na kartce A o 1 (wpisuje 98),
- sprawdza... itd.

Po pewnym czasie liczba zostanie zmniejszona do 0. Wtedy wykonując rozkaz ze strony 2 nasz urzędnik:

- sprawdza, czy liczba jest różna od 0 - nie jest, w związku z czym przechodzi do wykonania rozkazu z następnej strony (ma otworzyć książkę na stronie 1, tylko gdy liczba jest różna od 0),
- naciska przycisk lampki - lampka się zapala,
- otwiera książkę na stronie 0,
- wpisuje na kartce A liczbę 100,
- itd....

Po kolejnym doliczeniu od 100 do 0 nastąpi kolejne naciśnięcie przycisku lampki, co spowoduje jej zgaszenie. Lampka będzie zapalana i gaszona w odstępach czasu potrzebnych do policzenia do 100.

Urzędnik ma jednak zazwyczaj jeszcze inne rzeczy do zrobienia - na przykład kilka kartotek klientów do posortowania. Zamiast w koło liczyć do 100, powinien on posortować właśnie te kartoteki. Okazuje się, że bardzo trudno jest podzielić tę pracę na części, zajmujące tyle samo czasu. Trudno jest przewidzieć, ile czasu zajmie posortowanie jednej kartoteki. Nie zależy to tylko od jej wielkości (co łatwo stwierdzić), ale także od tego, w jakim stopniu jest ona uporządkowana.

Rozwiązanie pierwsze jest więc dobre, gdy urzędnik nie ma nic innego do zrobienia, i bardzo trudne do zastosowania, jeżeli ma inne prace.

## Przerwania od timera

Rozwiązanie drugie wymaga wyposażenia urzędnika w budzik i zakładkę do jego książki z rozkazami. Poza tym trzeba nauczyć go automatycznego wykonania pewnych czynności w momencie dzwonienia budzika.

W przypadku usłyszenia tego dzwonka urzędnik ma:

- dokończyć wykonywany akurat rozkaz,
- włożyć zakładkę na aktualną stronę,
- otworzyć książkę na stronie 1.

Wyposażenie urzędnika w te dodatkowe przedmioty i tę jedną umiejętność pozwala na zlecenie mu wykonywania zupełnie innych zadań. Mimo ich wykonywania urzędnik w odpowiednich momentach będzie w stanie oderwać się na chwilę, aby zająć się lampką i budzikiem, a potem kontynuować przerwane zadanie.

Poniższy program spowoduje zapalenie i gaszenie lampki co 10 minut, przy jednoczesnym wykonywaniu przez urzędnika jego głównej pracy.

Strona	Rozkaz
0	Otwórz książkę na stronie 10.
1	Naciśnij przycisk lampki.
2	Przestaw budzik o 10 minut do przodu.
3	Nakręć budzik.
4	Otwórz książkę na stronie, na której jest zakładka.
...	
10	Ustaw dzwonienie budzika za 10 minut.
11	Nakręć budzik.
12	...

Od strony 12 zaczyna się opis głównej pracy urzędnika (np. sortowanie wspomnianych wcześniej kartotek).

Mając taką książkę z rozkazami nasz urzędnik:

- wykonując rozkaz ze strony 0 otworzy książkę na stronie 10,
- ustawi dzwonienie budzika za 10 minut,
- nakręci budzik,
- zajmie się zasadniczą pracą (sortowanie kartotek).

Gdy po dziesięciu minutach budzik zadzwoni urzędnik:

- dokończy wykonywany akurat rozkaz,
- włoży zakładkę na aktualną stronę książki,