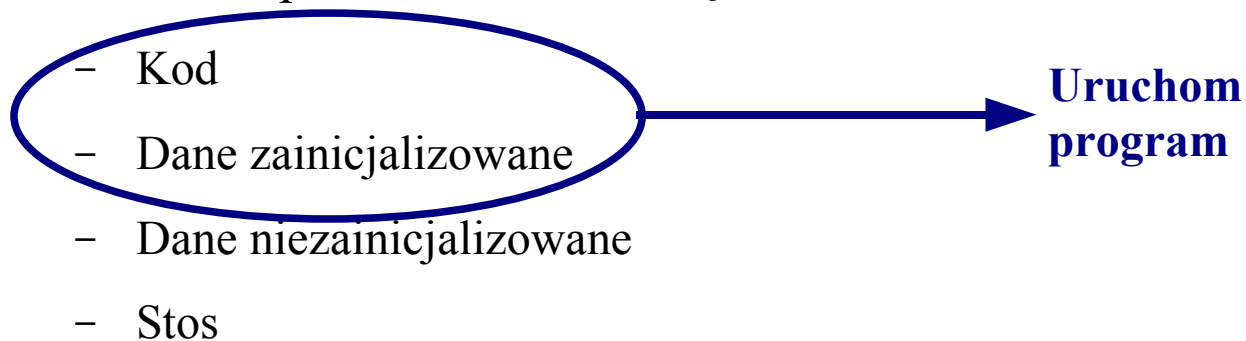


# Wykład 3

## Procesy i wątki

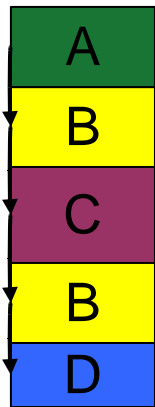
# Pojęcie procesu

- Program = plik wykonywalny na dysku
- Proces = uruchomiony i wykonywany program w pamięci
- Program jest pojęciem statycznym.
- Proces ma naturę dynamiczną (zmieniającą się). Zmianie ulegają m.in.
  - Licznik rozkazów (adres ostatnio wykonywanej instrukcji)
  - Rejestry procesora
  - Wskaźnik stosu
- Proces ma przestrzeń adresową

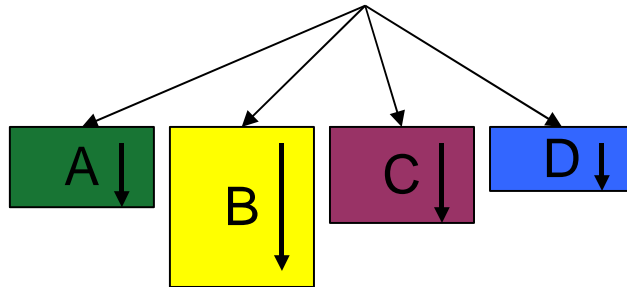


# Model procesów

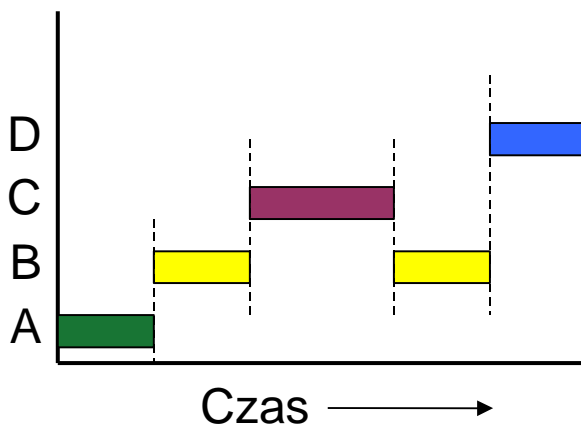
**Pojedynczy  
licznik rozkazów  
(punkt widzenia  
procesora)**



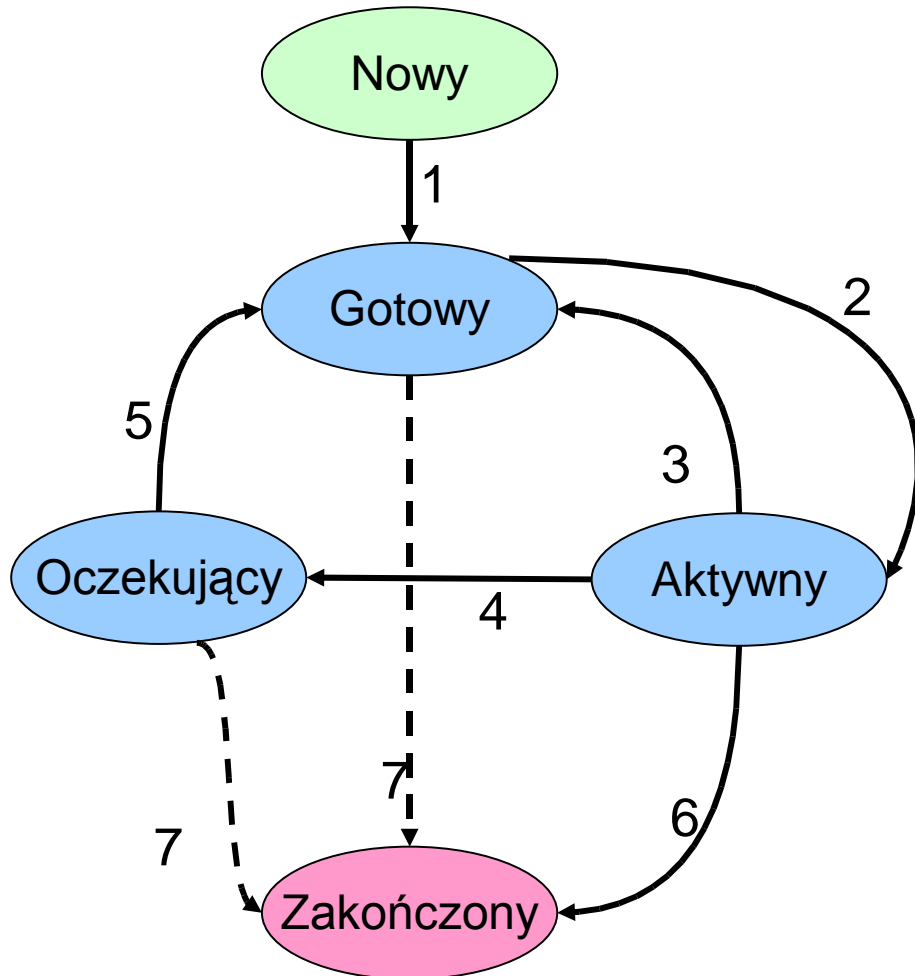
**Wiele liczników rozkazów  
(punkt widzenia systemu oper.)**



- Z punktu widzenia procesora na komputerze jest wykonywany jeden program
- Z punktu widzenia systemu jednocześnie jest wykonywanych wiele programów.



# Stany procesu



- Nowy – proces został utworzony.
- Gotowy – proces czeka na przydział procesora.
  - Proces mógłby się wykonywać, ale nie wykonuje się, ponieważ w tej chwili wykonuje się jakiś inny proces.
- Aktywny – wykonywane są instrukcje procesu.
  - W systemie z jednym procesorem w danej chwili jeden proces może być aktywny
- Oczekujący (uśpiony) – proces czeka na zdarzenie (np. Zakończenie operacji we-wy).
  - Na poprzednim wykładzie proces, który zainicjalizował transmisję DMA lub wysłała znak do drukarki, był usypiany w oczekiwaniu na przerwanie.
  - Proces w stanie uśpionym nie otrzyma procesora.
- Zakończony – proces zakończył działanie

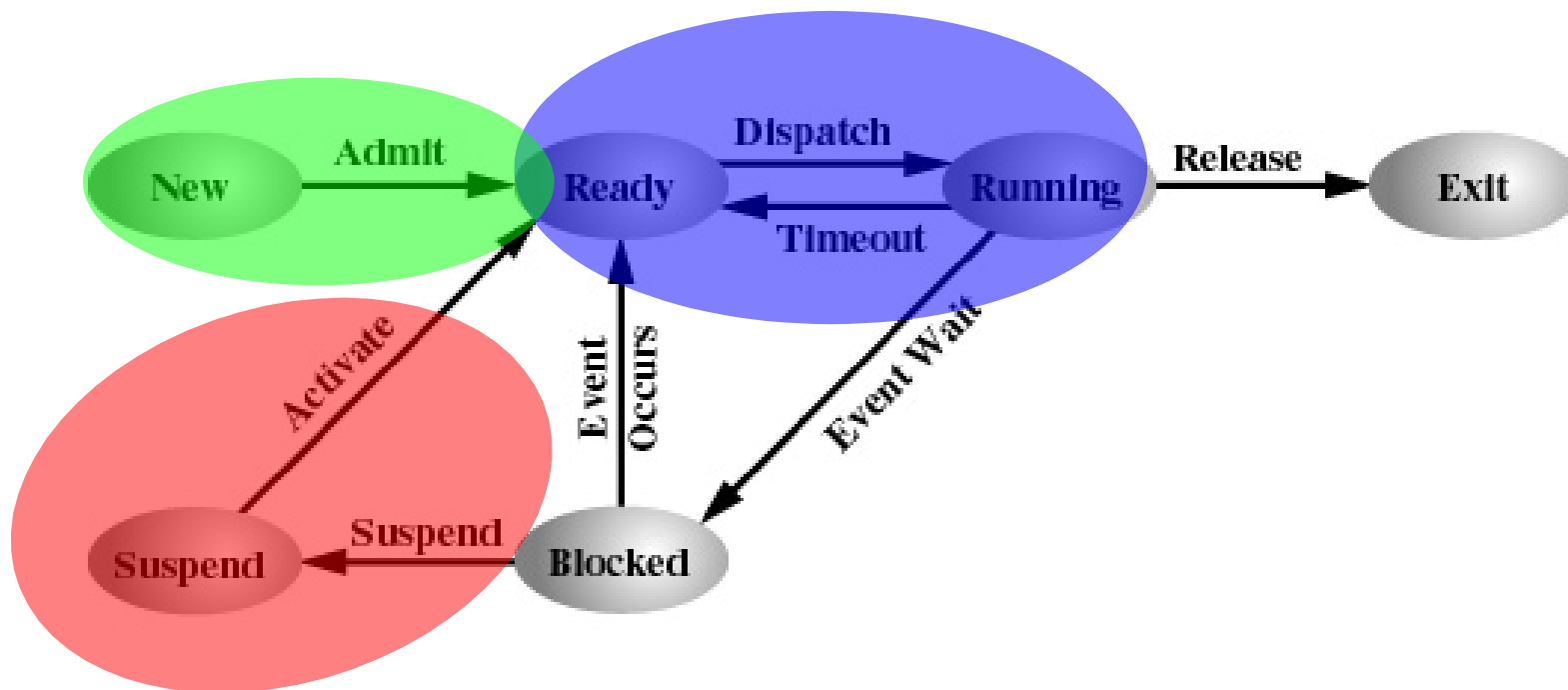
# Przejęcia pomiędzy stanami procesu

- 1 (Nowy => Gotowy). Nowo utworzony proces przechodzi do kolejki procesów gotowych.
  - **Planista długoterminowy** (ang. long-term scheduler) w systemach wsadowych.
- 2 (Gotowy => Aktywny) Proces otrzymuje przydział procesora.
- 3 (Aktywny => Gotowy) Procesowi został odebrany procesor (i przekazany innemu procesowi).
  - Przejściami 2 oraz 3 zarządza **planista krótkoterminowy** (ang. short-term).
- 4 (Aktywny => Oczekujący) Proces przechodzi w stan oczekiwania na zajście zdarzenia. (np. na zakończenie transmisji wejścia -wyjścia – patrz poprzedni wykład)
- 5 (Oczekujący => Gotowy) Zdarzenie na które czekał proces nastąpiło (przerwanie we/wy na poprzednim wykładzie).
  - Przejścia 4 oraz 5 są wykonywane przy przeprowadzeniu synchronicznej operacji wejścia wyjścia (ale nie tylko).
- 6 (Aktywny => Zakończony). Proces zakończył pracę (np. funkcja **exit** w Unikсах, błąd ochrony)
- 7 (Gotowy => Zakończony oraz Oczekujący => Zakończony). Proces został zakończony przez inny proces (np. funkcja **kill** w systemie Unix).

## Dodatkowy stan – zawieszony (ang. suspended)

- Proces oczekuje bardzo długo na operacje we-wy (np. polecenie login)
  - Przejście do stanu zawieszonego
  - Pamięć zajmowana przez proces podlega wymianie (ang. swapping) tzn. zapisaniu na dysk do obszaru wymiany (swap area).
  - Zwolniona pamięć może być wykorzystana przez inne procesy.
  - Po zajściu zdarzenia proces ponownie wczytywany z obszaru wymiany
- Inne przyczyny zawieszenie procesu.
  - Żądanie użytkownika
  - Brak pamięci w systemie
  - Proces co jakiś czas cyklicznie wykonuje jakąś czynność np. Sprawozdawczość
- Przejściami do i z stanu zawieszenie zarządza **planista średnioterminowy** (ang. medium-term scheduler)

## Diagram przejść z uwzględnieniem stanu zawieszenia.



- Planista długoterminowy
- Planista krótkoterminowy – najważniejszy i występujący w każdym systemie.
  - Rozstrzyga problem: “Któremu procesowi w stanie gotowym mam przydzielić procesor”
- Planista średnioterminowy

# Blok kontrolny procesu

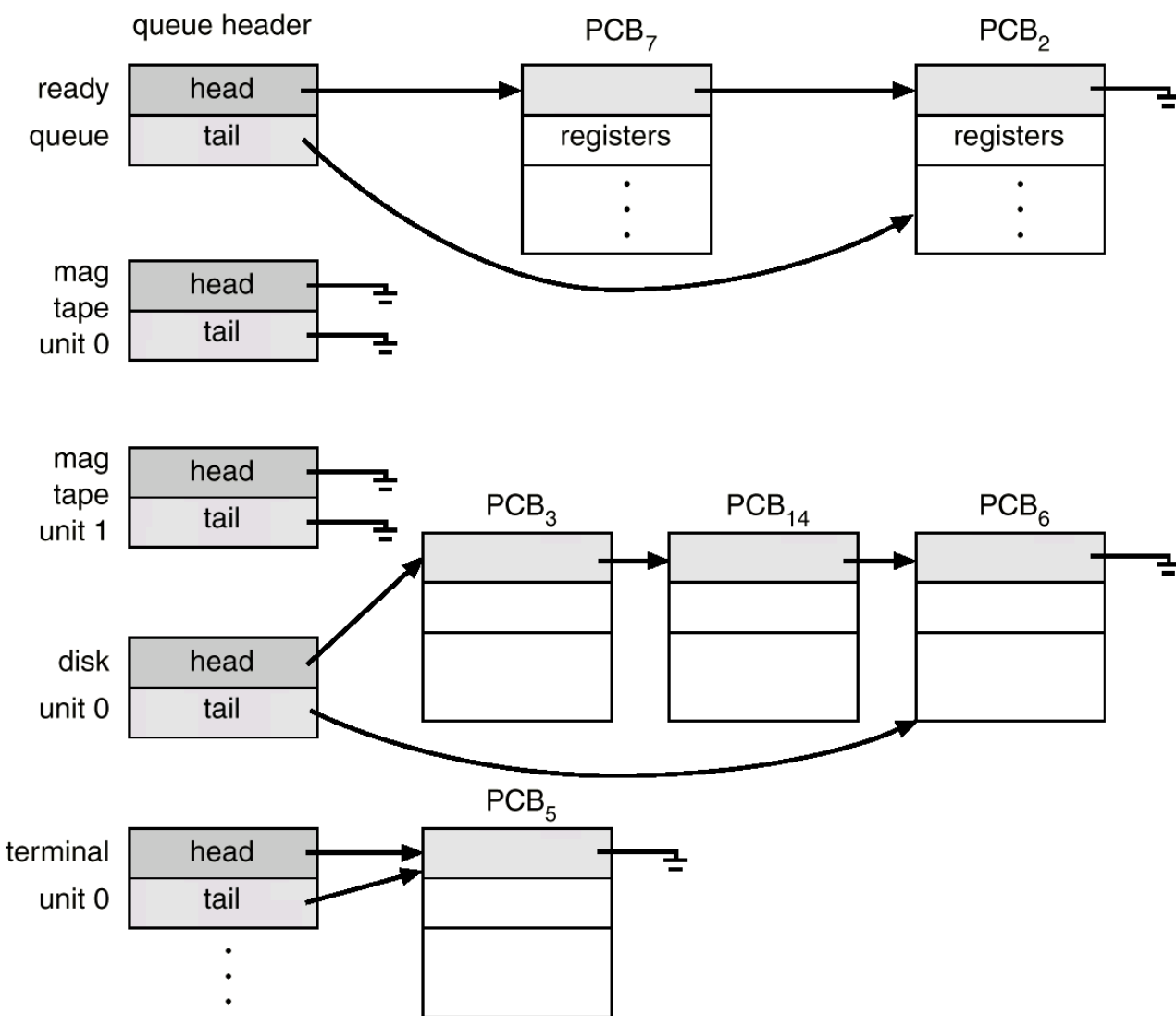
## ang. Process Control Block - PCB

process state
process number
program counter
registers
memory limits
list of open files
...

- PCB służy do przechowywania informacji o procesie istotnych z punktu widzenia systemu operacyjnego
  - Stan procesu
  - Identyfikator procesu
  - Licznik rozkazów
  - Rejestry procesora
  - Informacja o przydzielonej pamięci
  - Informacja o otwartych plikach
  - Informacja o połączeniach sieciowych
  - Informacja niezbędna do tworzenia systemowych struktur danych. System operacyjny posługuje się różnymi kolejkami procesów. Jeżeli kolejki są implementowane jako listy z dowiązaniem, PCB może zawierać dowiązanie (wskaźnik) do następnego elementu w kolejce

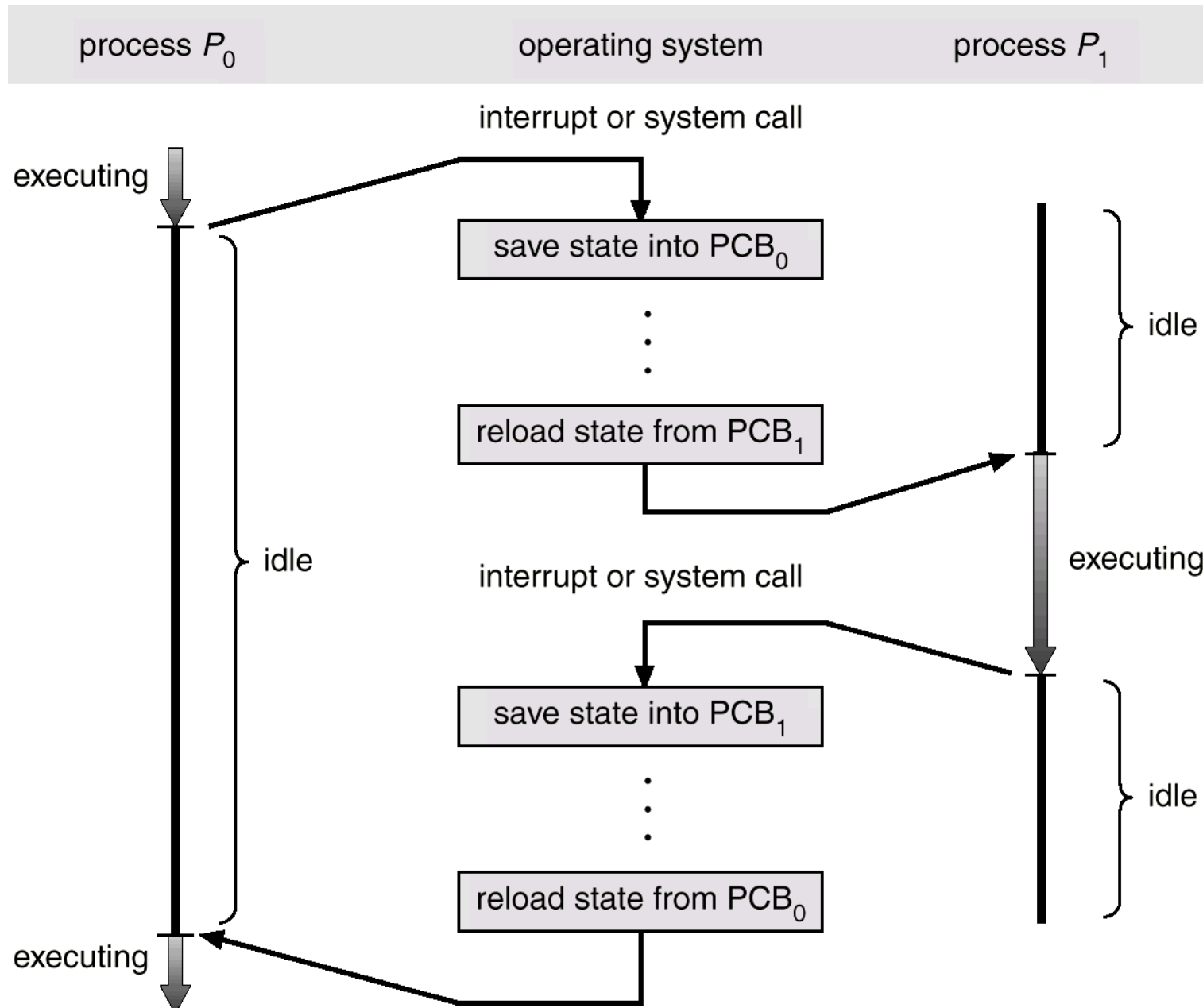


# Wykorzystanie kolejek w systemie operacyjnym

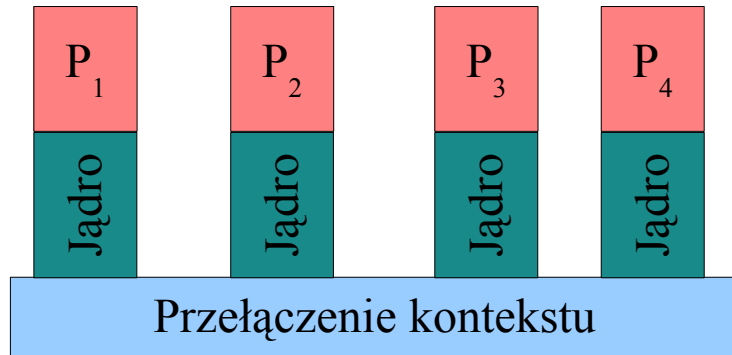


- Ready queue – kolejka procesów w stanie gotowym.
- Proces “wędruje” pomiędzy kolejkami
- Kolejki procesów w stanie zablokowanym (oczekujących na wystąpienie zdarzenia).
  - Z każdym typem zdarzenia związana jedna kolejka.
  - Dzięki temu system wydajnie implementuje przejścia 4 oraz 5
- W rzeczywistym systemie takich mogą być setki kolejek dla procesów w stanie oczekującym.

# Przełączenie kontekstu pomiędzy procesami



# Przełączenie kontekstu (ang. context switch), a przełączenie trybu (ang. mode switch)



- Przełączenie kontekstu to *zmiana procesu*.
  - Przełączenie trybu zmiana trybu pracy procesora (jądra  $\Leftrightarrow$  użytkownika)
- 
- W większości systemów (Uniksy, Windows) przyjęto model, w którym funkcje systemu wykonują się w kontekście procesu użytkownika. W uproszczeniu model ten zakłada że system operacyjny jest kolekcją procedur wywoływanych przez procesy w celu wykonania pewnych usług.
  - Stąd (tydzień temu) mówiłem o procesie wykonującym się w trybie jądra (jeżeli wykonywany jest kod jądra).
  - Przejście od programu użytkownika do programu jądra w wyniku wywołania funkcji systemowej (przerwanie programowe) lub przerwania sprzętowego wiąże się z przełączeniem trybu.
  - Zmiana trybu jest znacznie mniej kosztowna niż zmiana kontekstu.

# Utworzenie procesu

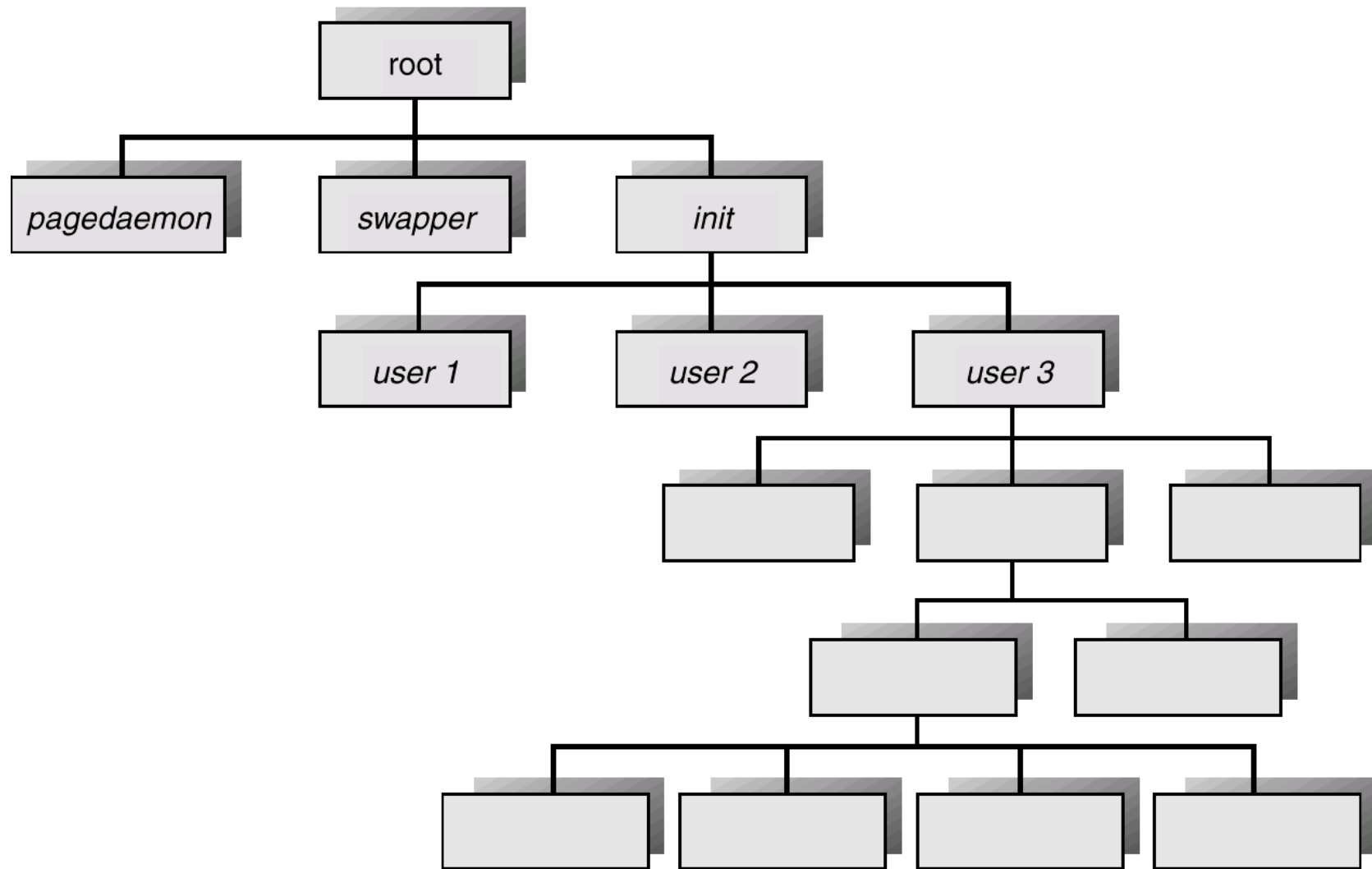
- Proces rodzicielski tworzy proces potomny, który z kolei może stworzyć kolejne procesy. Powstaje drzewo procesów.
- Współdzielenie zasobów. Procesy rodzicielski i potomny mogą
  - Współdzielić część zasobów
  - Współdzielić wszystkie zasoby
  - Nie współdzielić żadnych zasobów
- Wykonywanie
  - Procesy rodzicielski i potomny wykonują się współbieżnie
  - Proces rodzicielski oczekuje na zakończenie procesu potomnego.
- Przestrzeń adresowa
  - Odrębna przestrzeń adresowa dla procesu potomnego
    - (*fork* w systemie Unix – proces potomny wykonuje się w nowej przestrzeni adresowej będącej kopią przestrzeni procesu rodzicielskiego)
    - Proces ma nowy program załadowany do nowej przestrzeni adresowej (*CreateProcess* w Win32)
  - Proces potomny i rodzicielski wykonują się w tej samej przestrzeni adresowej (*clone* w Linuksie; wątki Java i POSIX)

# Wywołania systemowe *fork*, *exec*, *wait* w Unix-ie

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int pid;
    pid = fork();
    if (pid < 0) { /* Błąd !!! */
        fprintf(stderr, "Fork Failed");
        exit(-1);
    }
    else if (pid == 0) { /* proces potomny */
        execlp("/bin/ls", "ls", NULL);
    }
    else { /* proces rodzicielski */
        wait(NULL);
        printf("Child Complete");
        exit(0);
    }
}
```

- fork tworzy nowy proces
  - Wywoływana z procesu rodzicielskiego
  - Powracają z niej proces potomny i rodzicielski
- exec – zastępuje obraz bieżącego procesu nowym programem.
  - proces wołający nigdy nie wraca z exec (chyba że powstanie błąd)
- wait – blokuje proces do momentu zakończenia procesu potomnego

# Drzewo procesów w systemie Unix



- Polecenie pstree

# Zakończenie procesu

- Zakończenie na własne żądanie. Proces sam podejmuje decyzję o zakończeniu pracy – wywołując odpowiednie wywołanie systemowe. (system Unix: *exit* ).
  - W programie w języku C jest to robione automatycznie po zakończeniu funkcji `main`
- Proces został zakończony w wyniku akcji innego procesu
  - Unix: proces otrzymał sygnał SIGKILL.
  - Polecenie `kill` w shellu, funkcje systemowe *raise* oraz *kill*.
- Proces został zakończony przez system operacyjny
  - Naruszenie mechanizmów ochrony.
  - Przekroczenie ograniczeń na przyznany czas procesora.
  - Proces rodzicielski się zakończył (w niektórych systemach)
    - *Cascading termination*

# Wielowątkowość

- Jeden proces wykonuje się w wielu współbieżnych wątkach (ang. *thread*).
- Każdy wątek (inna nazwa: *proces lekki, ang. lightweight*)
  - Ma swój własny stan (Aktywny, Gotowy, Zablokowany, ... )
  - Ma swoje wartości rejestrów i licznika rozkazów.
  - Ma swój własny stos (zmienne lokalne funkcji !!!).
  - Ma dostęp do przestrzeni adresowej, plików i innych zasobów procesu
    - **WSZYSTKIE WĄTKI TO WSPÓLDZIELĄ !!!**
- Operacje zakończenia, zawieszenia procesu dotyczą wszystkich wątków.

*Procesy są od siebie izolowane, wątki nie !*



# Procesy i wątki

## Proces

Przestrzeń adresowa  
Otwarte pliki  
Procesy potomne  
Obsługa sygnałów  
Sprawozdawczość  
*Zmienne globalne*

## Wątek 1

Licznik rozkazów  
Rejestry  
Stos i wskaźnik stosu  
Stan

## Wątek 2

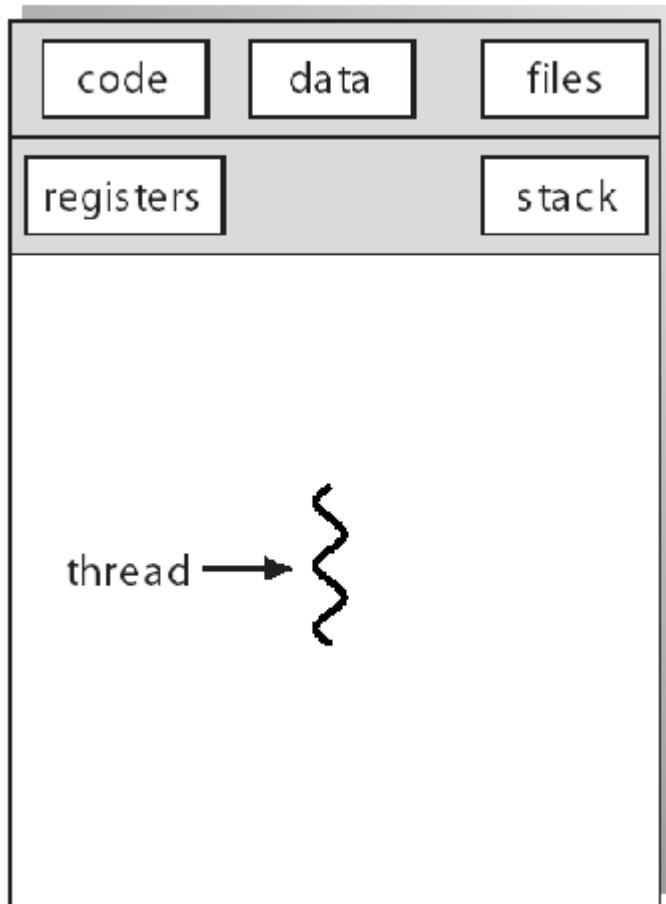
Licznik rozkazów  
Rejestry  
Stos i wskaźnik stosu  
Stan

## Wątek 3

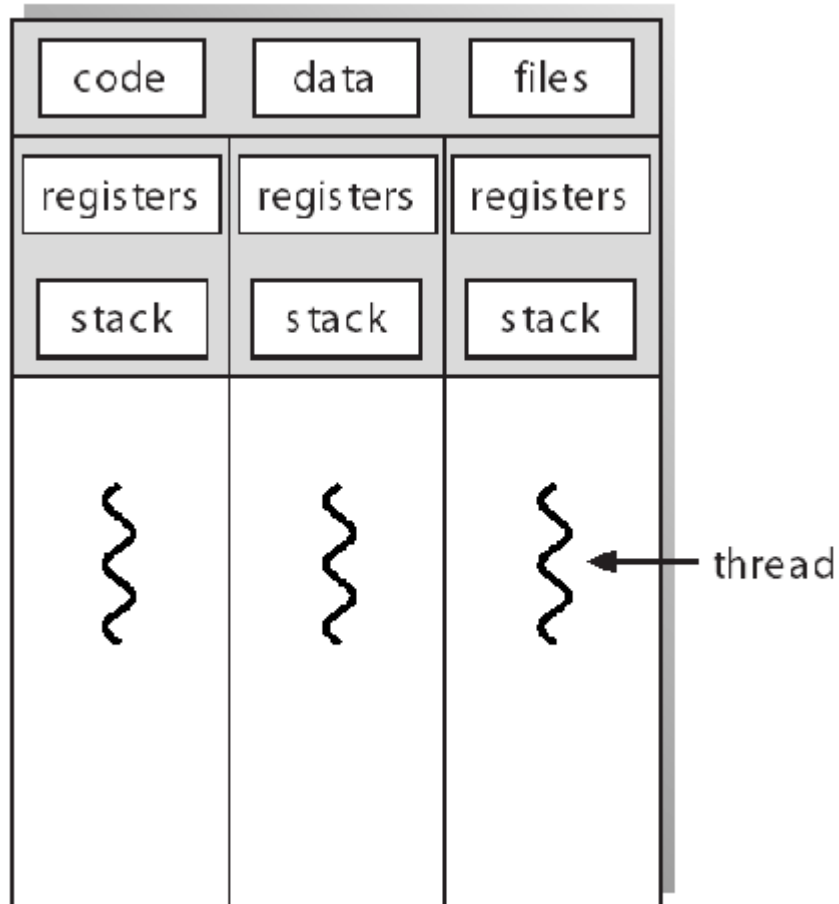
Licznik rozkazów  
Rejestry  
Stos i wskaźnik stosu  
Stan

# Proces z jednym wątkiem

- Standardowy Unix
- MS-DOS



# Proces z wieloma wątkami

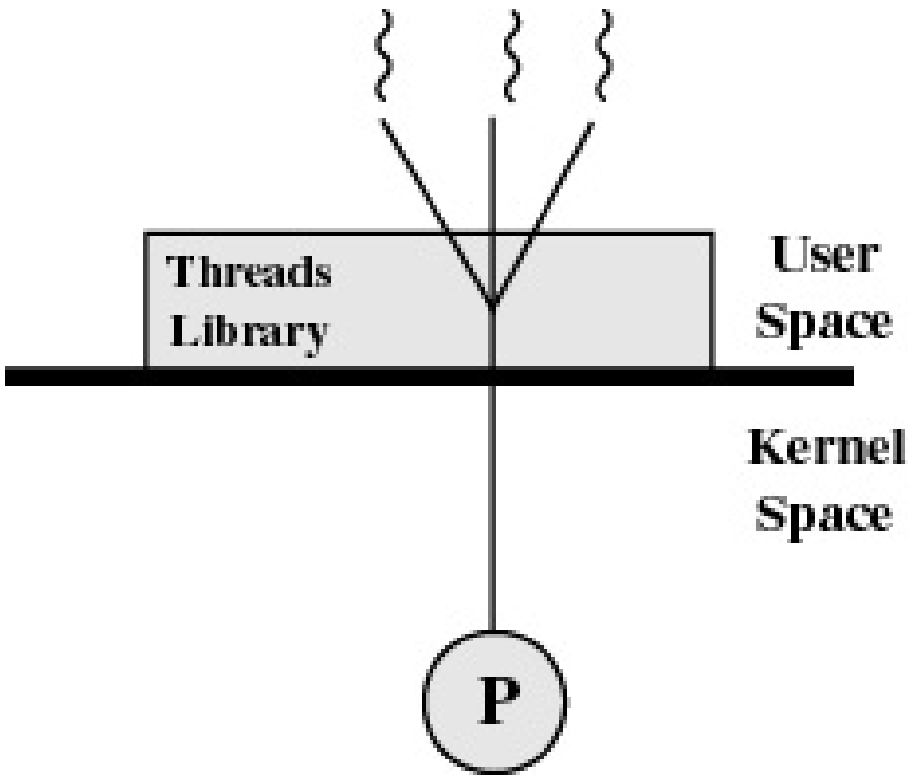


- Linux
- MS-Windows
- POSIX
- OS/2
- Solaris

# Cechy wątków

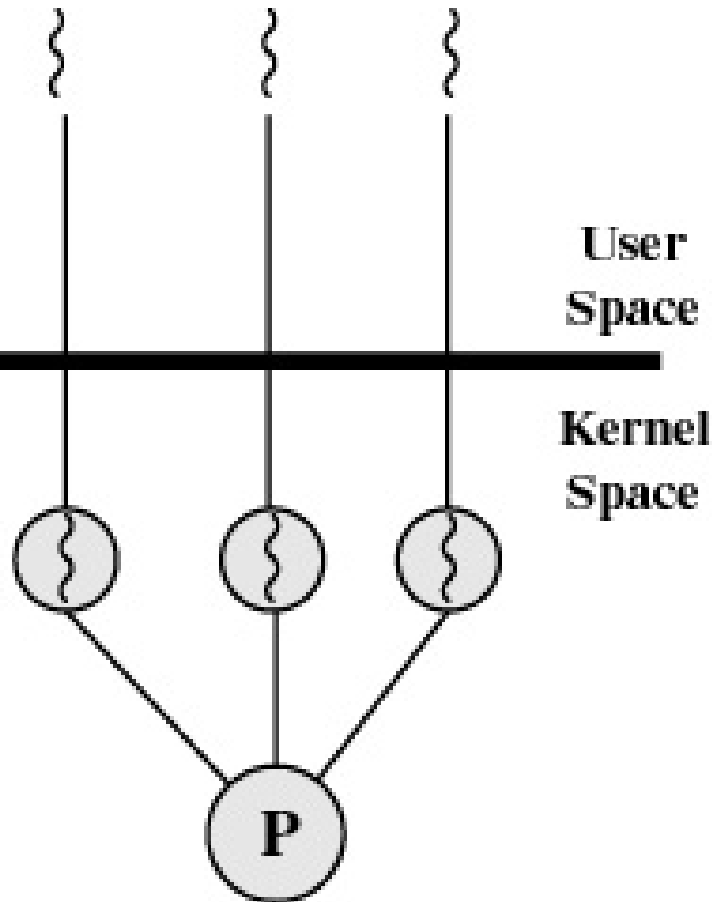
- Zalety
  - Utworzenie i zakończenie wątku zajmuje znacznie mniej czasu niż w przypadku procesu
  - Możliwość szybkiego przełączania kontekstu pomiędzy wątkami tego samego procesu
  - Możliwość komunikacji wątków bez pośrednictwa systemu operacyjnego
  - Możliwość wykorzystania maszyn wieloprocessorowych SMP
  
- Wady
  - “Źle zachowujący się wątek” może zakłócić pracę innych wątków tego samego procesu.
    - W przypadku dwóch procesów o odrębnych przestrzeniach adresowych nie jest to możliwe

# Wątki na poziomie użytkownika ang. user-level threads



- System operacyjny nie jest świadom istnienia wątków.
- Zarządzanie wątkami jest przeprowadzane przez bibliotekę w przestrzeni użytkownika.
  - Wątek A wywołuje funkcję *read*
  - Standardowo funkcja systemowa *read* jest synchroniczna (usypia do momentu zakończenia operacji)
  - Jednak “sprytna” implementacja w bibliotece wywołuje wersję asynchroniczną i przełącza się do wątku B.
- Rozwiązanie to jest szybkie, ma jednak wady:
  - Dwa wątki nie mogą się wykonywać współbieżnie na dwóch różnych procesorach.
  - Nie można odebrać procesora jednemu wątkowi i przekazać drugiemu

# Wątki na poziomie jądra ang. kernel-level threads

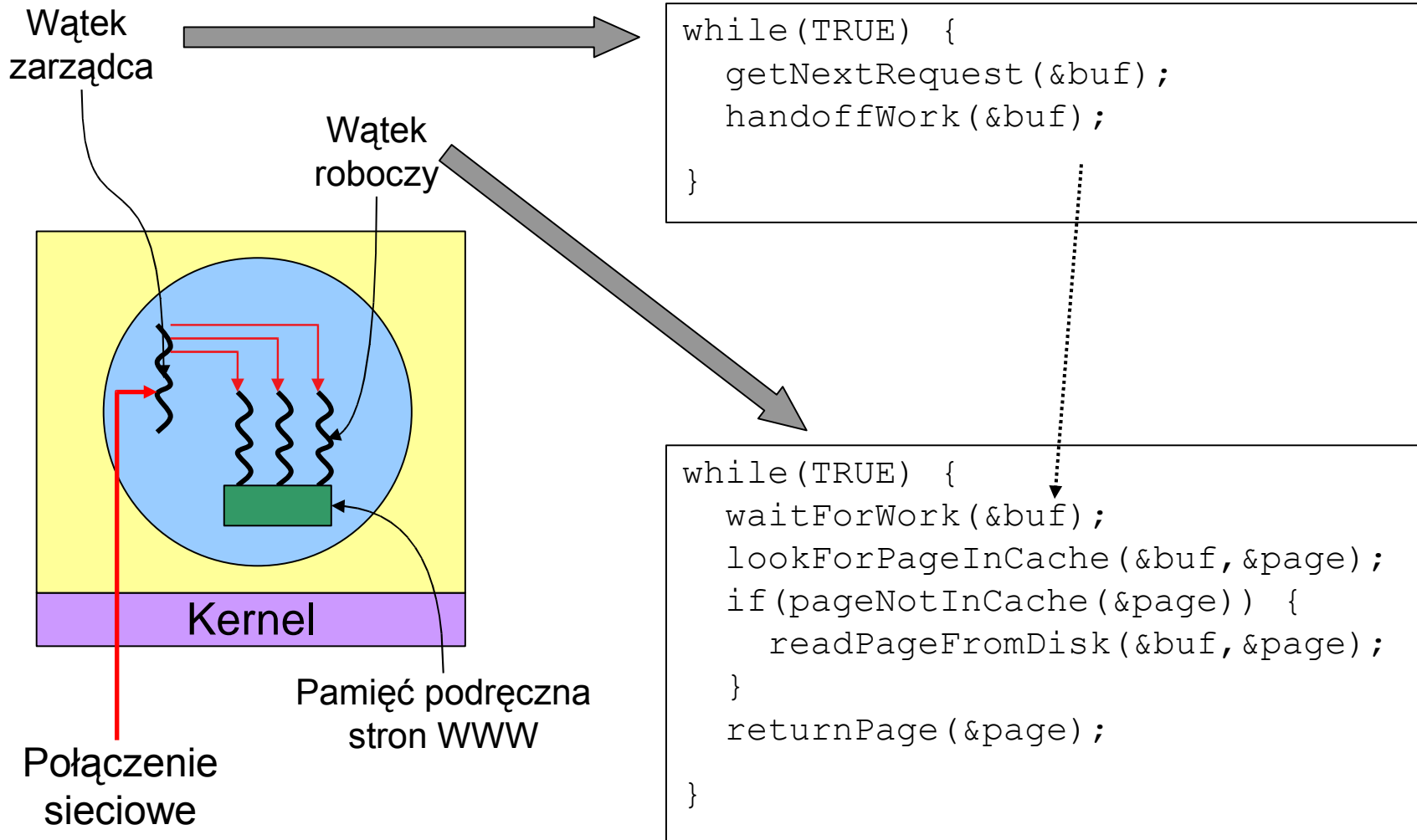


- Wątek jest jednostką systemu operacyjnego.
- Wątki podlegają szeregowaniu przez jądro.
- W systemie SMP wątki mogą się wykonywać na różnych procesorach.
  - Przetwarzanie równoległe.
- Windows i Linux wykorzystują tę metodę.

# Przykład użycia wątków: Program do przetwarzania obrazów

- Użytkownik wydał polecenie “Save”
  - Jego wykonanie może potrwać kilkadziesiąt sekund.
  - Kto w tym czasie będzie obsługiwał mysz i klawiaturę ?
- Wątek główny odpowiadający za interakcję z użytkownikiem.
  - Po wydaniu polecenia “Save” tworzy wątek roboczy zapisujący obraz do pliku.
  - Następnie powraca do konwersacji z użytkownikiem
  - Dzięki temu aplikacja nie jest zablokowana (klepsydra w Win) na czas zapisywania
- Wątek roboczy wykonuje zapis i kończy pracę.
- **Uwaga na synchronizację wątków !!!**
  - Co się stanie gdy po wydaniu polecenia “Save” natychmiast wydamy polecenie “Usuń obraz”?
  - Sytuacja *wyścigu* (ang. *race*).

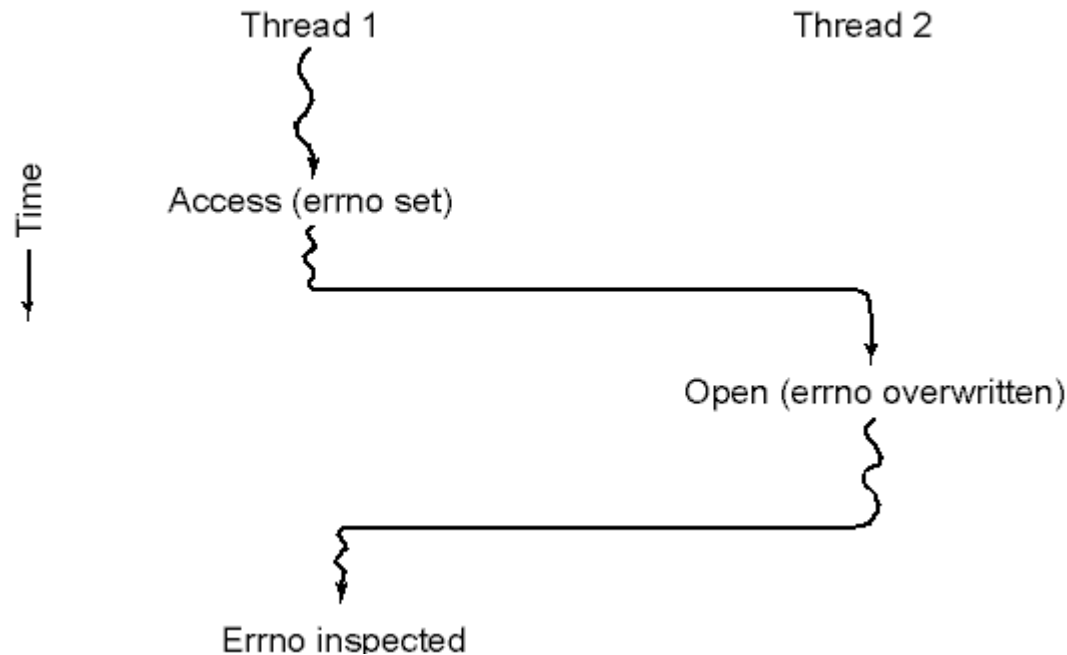
# Przykład użycia wątków: Serwer WWW



- Technika puli wątków: Zamiast tworzyć nowy wątek do obsługi kolejnego żądania, mamy zbiór wątków stale gotowych do działania. Nie ponosimy kosztu tworzenia i usuwania wątków.



# Problemy z wątkami



- W standardowej bibliotece C, w wersji wielowątkowej, **errno** jest implementowane jako prywatna zmienna globalna (nie współdzielona z innymi wątkami)
- Kilka wątków jednocześnie wywołuje funkcje **malloc/free** - może dojść do uszkodzenia globalnych struktur danych (listy wolnych bloków pamięci)
  - Potrzeba synchronizacji => może prowadzić do spadku wydajności

# Problemy z wątkami

- Proces otrzymuje sygnał:
  - Wszystkie wątki otrzymują sygnał
  - Wybrany wątek otrzymuje sygnał
  - Wątek aktualnie aktywny otrzymuje sygnał
- Proces wykonuje *fork*.
  - Czy duplikować jedynie działający wątek, czy też wszystkie wątki ?
- Proces wywołuje *exit*.
  - Zakończyć proces czy też jedynie aktywny wątek ?
- Anulowanie wątku (ang cancellation).
  - Wykonać natychmiast .
  - Wątek co jakiś czas sprawdza czy nie został anulowany.
- Standard POSIX zawiera odpowiedzi na powyższe problemy.

# Implementacje wątków

- Java threads – pomijamy na tym wykładzie, domena dr. Bołdaka
- POSIX threads – na pracowni, za chwilę
- Windows threads – podobne do POSIX

# POSIX threads – utworzenie i dołączenie wątku wątku

```
void *thread(void *param) {  
    // tu kod wątku  
  
    // możemy przekazać wynik  
    return NULL  
}  
  
int main() {  
    pthread_t id;  
    // Parametr przekazywany wątkowi  
    void *param=NULL;  
    pthread_create(&id, NULL, &thread, param);  
    // Funkcja thread w odrębnym wątku  
    // współbieżnie z main  
    // id przechowuje identyfikator wątku  
  
    void *result;  
    // Czekaj na zakończenie wątku  
    pthread_join(id, &result);  
    // Wynik w result, zamiast &result można  
    // przekazać NULL  
}
```

- Funkcja `pthread_create` tworzy nowy wątek. Rozpoczyna on pracę od funkcji, której adres przekazano jako trzeci argument.
- Funkcja `pthread_join` usypia wywołujący ją wątek do momentu, kiedy wątek o identyfikatorze przekazanym jako pierwszy argument zakończy pracę.
- Zakończenie pracy wątku – powrót z funkcji która go rozpoczyna.