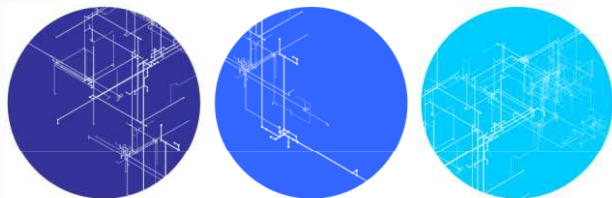


# PB153 OPERAČNÍ SYSTÉMY A JEJICH ROZHRAŇÍ



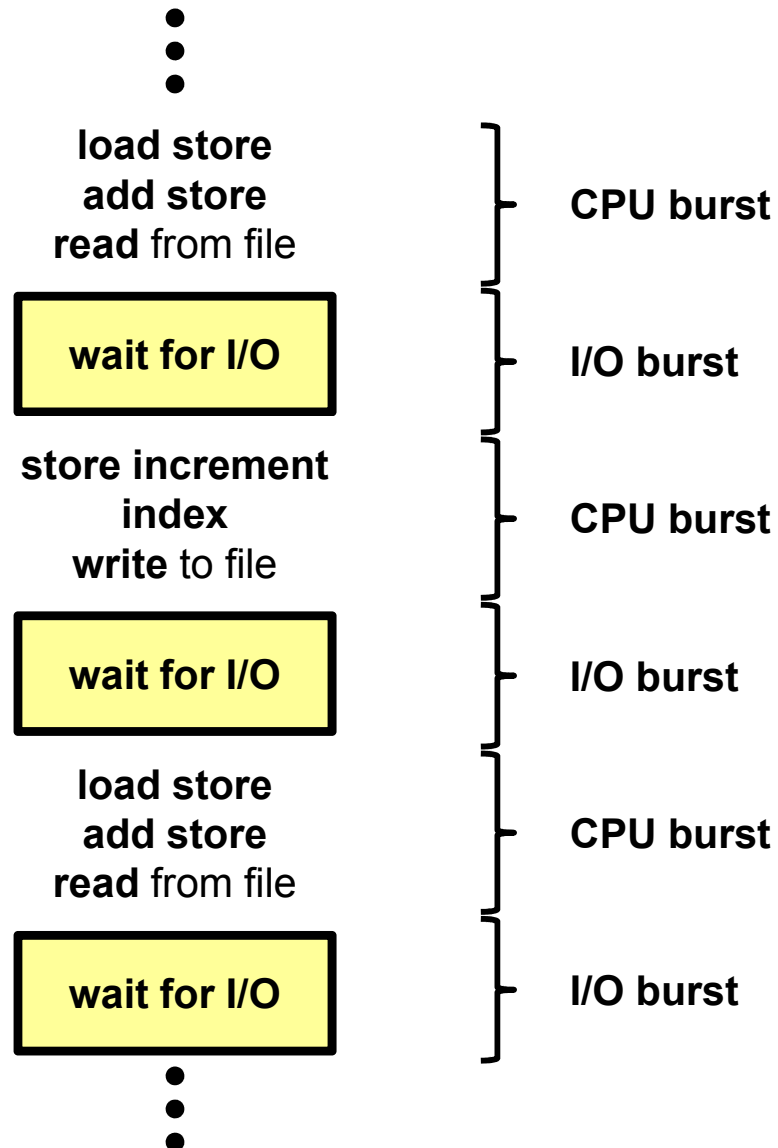
**Plánování CPU**

**07**

# MULTIPROGRAMOVÁNÍ

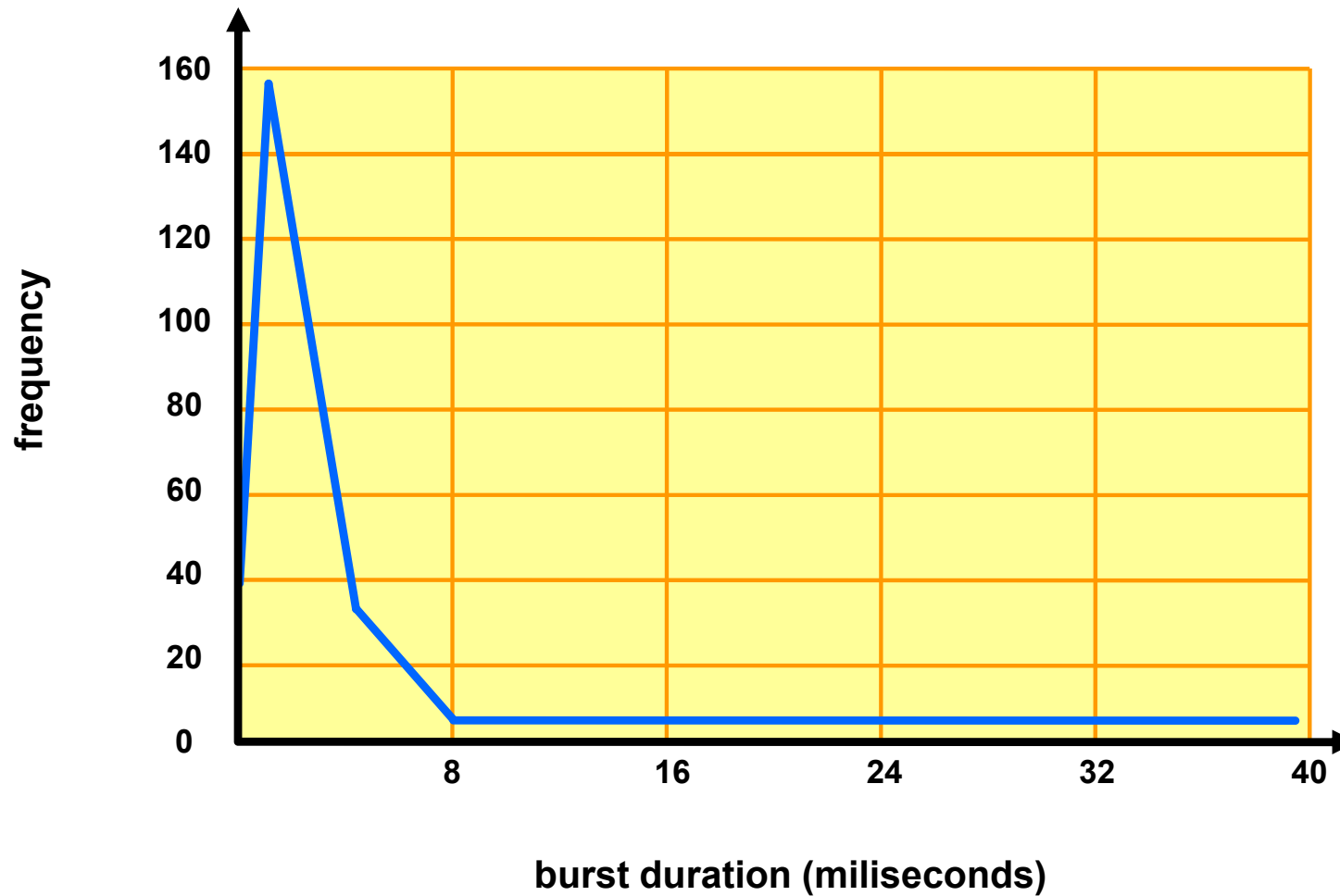
- Multiprogramování zvyšuje využití CPU
- Pokud jeden proces čeká na dokončení I/O operace může jiný proces CPU využít
- Nejlepšího výsledku dosáhneme při vhodné kombinaci procesů orientovaných na I/O a na využití CPU

# STŘÍDÁNÍ VYUŽITÍ CPU A I/O

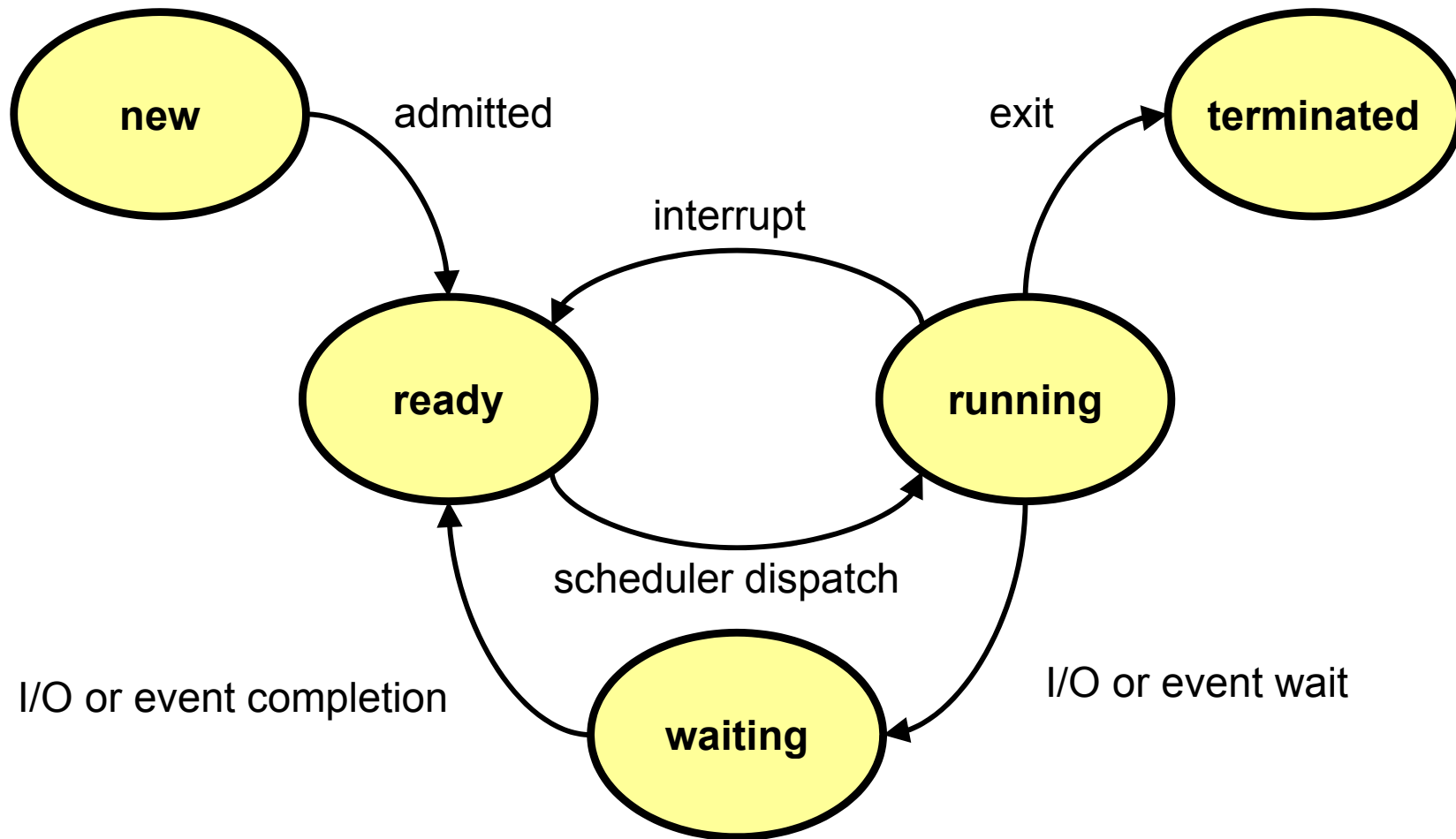


- Proces obvykle střídá části využívající CPU a části vyžadující I/O.
- Při zahájení I/O je proces zařazen mezi procesy čekající na událost.
- Teprve při ukončení I/O operace se proces opět dostává mezi procesy „připravené“.

# HISTROGRAM DOBY VYUŽITÍ CPU



# STAVY PROCESU



# PLÁNOVÁNÍ CPU

- Krátkodobý plánovač – dispečer
  - Vybírá proces, kterému bude přidělen CPU
  - Vybírá jeden z procesů, které jsou zavedeny operační paměti a které jsou „připravené“
  - Plánovací rozhodnutí může vydat v okamžiku, kdy proces:
    - 1. přechází ze stavu běžící do stavu čekající
    - 2. přechází ze stavu běžící do stavu připravený
    - 3. přechází ze stavu čekající do stavu připravený
    - 4. končí
  - Případy 1 a 4 se označují jako nepreemptivní plánování (plánování bez předbíhání)
  - Případy 2 a 3 se označují jako preemptivní plánování (plánování s předbíháním)

# DISPEČER

- Výstupní modul krátkodobého plánovače nebo plánovač sám, který předává procesor procesu vybranému krátkodobým plánovačem
- Předání zahrnuje:
  - přepnutí kontextu
  - přepnutí režimu procesoru na uživatelský režim
  - skok na odpovídající místo v uživatelském programu pro opětovné pokračování v běhu procesu
- Dispečerské zpoždění (Dispatch latency)
  - Doba, kterou potřebuje dispečer pro pozastavení běhu jednoho procesu a start běhu jiného procesu

# KRITÉRIA PLÁNOVÁNÍ [A OPTIMALIZACE]

- Využití CPU [maximalizace]
  - cílem je udržení CPU v kontinuální užitečné činnosti
- Propustnost [maximalizace]
  - počet procesů, které dokončí svůj běh za jednotku času
- Doba obrátky [minimalizace]
  - doba potřebná pro provedení konkrétního procesu
- Doba čekání [minimalizace]
  - doba, po kterou proces čekal ve frontě „připravených“ procesů
- Doba odpovědi [minimalizace]
  - doba, která uplyne od okamžiku zadání požadavku do doby první reakce (první odpovědi, nikoli poskytnutí plného výstupu)



# ALGORITMUS FCFS

- Algoritmus „Kdo dřív přijde, ten dřív mele“ (First Come, First Served), FCFS
- Máme 3 procesy P1 (vyžaduje 24 dávek CPU), P2 (vyžaduje 3 dávky CPU), P3 (vyžaduje 3 dávky CPU)
- Procesy vznikly v pořadí: P1, P2, P3
- Ganttovo schématické vyjádření plánu:



- Doby čekání: P1 = 0, P2 = 24, P3 = 27
- Průměrná doba čekání:  $(0+24+27)/3 = 17$

# ANIMACE ALGORITMU FCFS

# ALGORITMUS FCFS (2)

- Varianta jiná: procesy vznikly v pořadí P2, P3, P1
- Ganttovo schématické vyjádření plánu:



- Doby čekání: P<sub>2</sub> = 0, P<sub>3</sub> = 3, P<sub>1</sub> = 6
- Průměrná doba čekání:  $(6+0+3)/3 = 3$
- To je mnohem lepší výsledek než v předchozím případě, i když se jedná o stejné procesy a stejný plánovací algoritmus
- Krátké procesy následující po dlouhém procesu ovlivňuje „konvojový efekt“

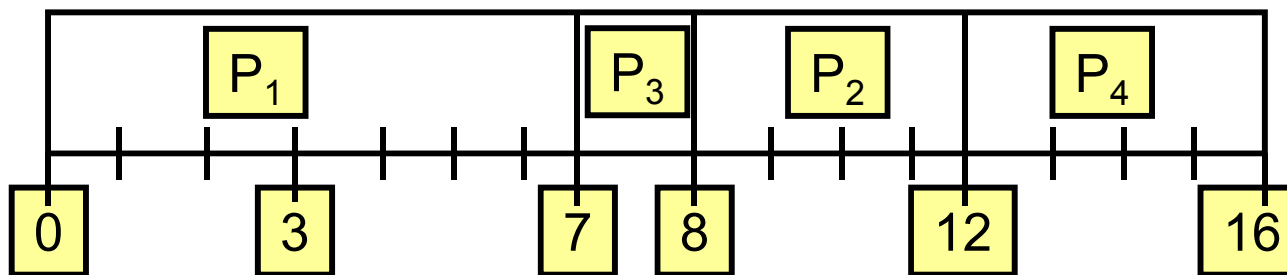
# ANIMACE ALGORITMU FCFS (2)

# ALGORITMUS SJF

- Algoritmus Shortest-Job-First
- Musíme znát délku příštího požadavku na dávku CPU pro každý proces
- Vybírá se proces s nejkratším požadavkem na CPU
- Dvě varianty:
  - nepreemptivní, bez předbíhání
    - jakmile se CPU předá vybranému procesu, tento nemůže být předběhnout žádným jiným procesem, dokud přidělenou dávku CPU nedokončí
  - preemptivní, s předbíháním
    - jakmile se ve frontě připravených procesů objeví proces s délkou dávky CPU kratší než je doba zbývající k dokončení dávky právě běžícího procesu, je právě běžící proces ve využívání CPU předběhnout novým procesem
    - tato varianta se rovněž nazývá Shortest-Remaining-Time-First (SRTF)
- SJF je optimální algoritmus (pro danou množinu procesů dává minimální **průměrnou** dobu čekání)

# PŘÍKLAD NEPREEMPTIVNÍHO ALGORITMU SJF

- Proces      Doba příchodu      Délka dávky CPU
  - P1            0.0                            7
  - P2            2.0                            4
  - P3            4.0                            1
  - P4            5.0                            4
- Ganttovo schématické vyjádření plánu:

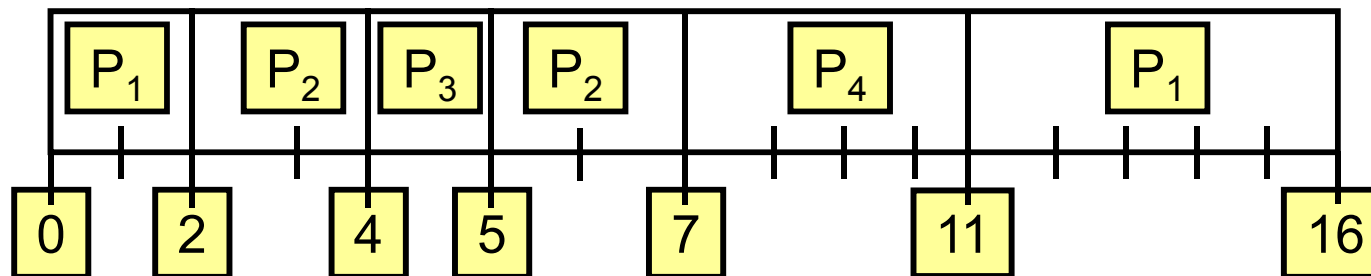


- Průměrná doba čekání:  $(0+6+3+7)/4 = 4$

# ANIMACE: PŘÍKLAD *NEPREEMPTIVNÍHO* ALGORITMU SJF

# PŘÍKLAD *PREEMPTIVNÍHO* ALGORITMU SJF

- Proces      Doba příchodu      Délka dávky CPU
  - P1            0.0                            7
  - P2            2.0                            4
  - P3            4.0                            1
  - P4            5.0                            4
- Ganttovo schématické vyjádření plánu:



- Průměrná délka čekání:  $(9+1+0+2)/4 = 3$



# ANIMACE: PŘÍKLAD *PREEMPTIVNÍHO* ALGORITMU SJF

# URČENÍ DÉLKY PŘÍŠTÍ DÁVKY CPU PROCESU

- Délku příští dávky CPU procesu neznáme, můžeme ji pouze odhadovat
- To můžeme udělat na základě historie
  - Musíme znát délky předchozích dávek CPU
  - Použijeme exponenciální průměrování:

1.  $t_n$  = skutečná délka  $n$ -té dávky
2.  $\tau_{n+1}$  = předpokládaná hodnota pro další CPU dávku
3.  $\alpha, 0 \leq \alpha \leq 1$ , koeficient historie
4. pak definujeme odhad jako :

$$\tau_{n+1} = \alpha t_n + (1 - \alpha)\tau_n.$$

# PŘÍKLAD

- $\alpha = 0$  (historii nebereme v úvahu)
  - $T_{n+1} = T_n$
- $\alpha = 1$  (budoucí odhad = skutečná minulá hodnota)
  - $T_{n+1} = t_n$
- Když formuli rozvineme, dostaneme
$$T_{n+1} = \alpha t_n + (1 - \alpha) \alpha t_{n-1} + \dots + (1 - \alpha)^i \alpha t_{n-i} + \dots + (1 - \alpha)^n t_0$$
- $\alpha$  a  $(1 - \alpha)$  jsou  $\leq 1$ ,
- Každý další člen výrazu má na výslednou hodnotu menší vliv než jeho předchůdce

# PRIORITNÍ PLÁNOVÁNÍ

- S každým procesem je spojeno prioritní číslo
  - prioritní číslo – preference procesu pro výběr příště běžícího procesu
  - CPU se přiděluje procesu s největší prioritou
  - nejvyšší prioritě obvykle odpovídá nejnižší prioritní číslo 😊
- Opět dvě varianty
  - nepreemptivní, bez předbíhání
    - jakmile proces získá přístup k CPU nemůže být předběhnut jiným procesem dokud dávku neukončí
  - preemptivní, s předbíháním
    - jakmile se ve frontě připravených procesů objeví proces s vyšší prioritou než je prioritou běžícího procesu, je běžící proces předběhnut
- SJF je prioritní plánování, prioritou je předpokládaná délka příští CPU dávky
- stárnutí
  - procesy s nižší prioritou se nemusí nikdy provést
  - řešení: zrání – prioritou se s postupem času zvyšuje

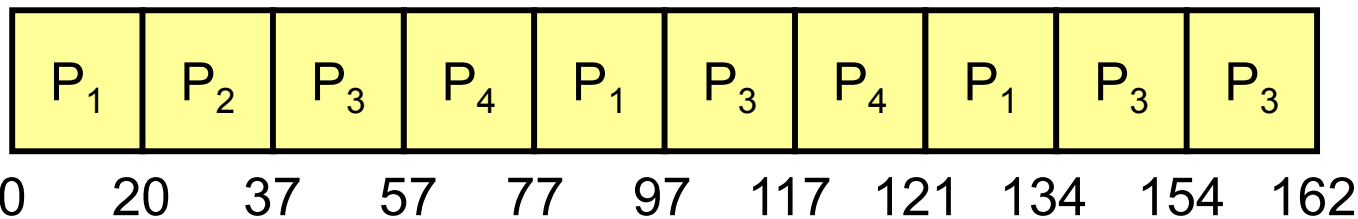
# ROUND ROBIN (RR)

- Každý proces dostává CPU na malou jednotku času – časové kvantum
  - Desítky až stovky ms
- Po uplynutí této doby je běžící proces předběhnut nejstarším procesem ve frontě připravených procesů a zařazuje se na konec této fronty
- Je-li ve frontě připravených procesů  $n$  procesů a časové kvantum je  $q$ , pak každý proces získává  $1/n$  doby CPU, najednou nejvýše  $q$  časových jednotek
- Žádný proces nečeká na přidělení CPU déle než  $(n-1)q$  časových jednotek
- Výkonnostní hodnocení
  - $q$  velké → ekvivalent FIFO
  - $q$  malé → velká režie; v praxi musí být  $q$  musí být dostatečně velké s ohledem na režii přepínání kontextu

# PŘÍKLAD RR S ČASOVÝM KVANTEM = 20

- Proces      Délka dávky CPU
  - P1            53
  - P2            17
  - P3            68
  - P4            24

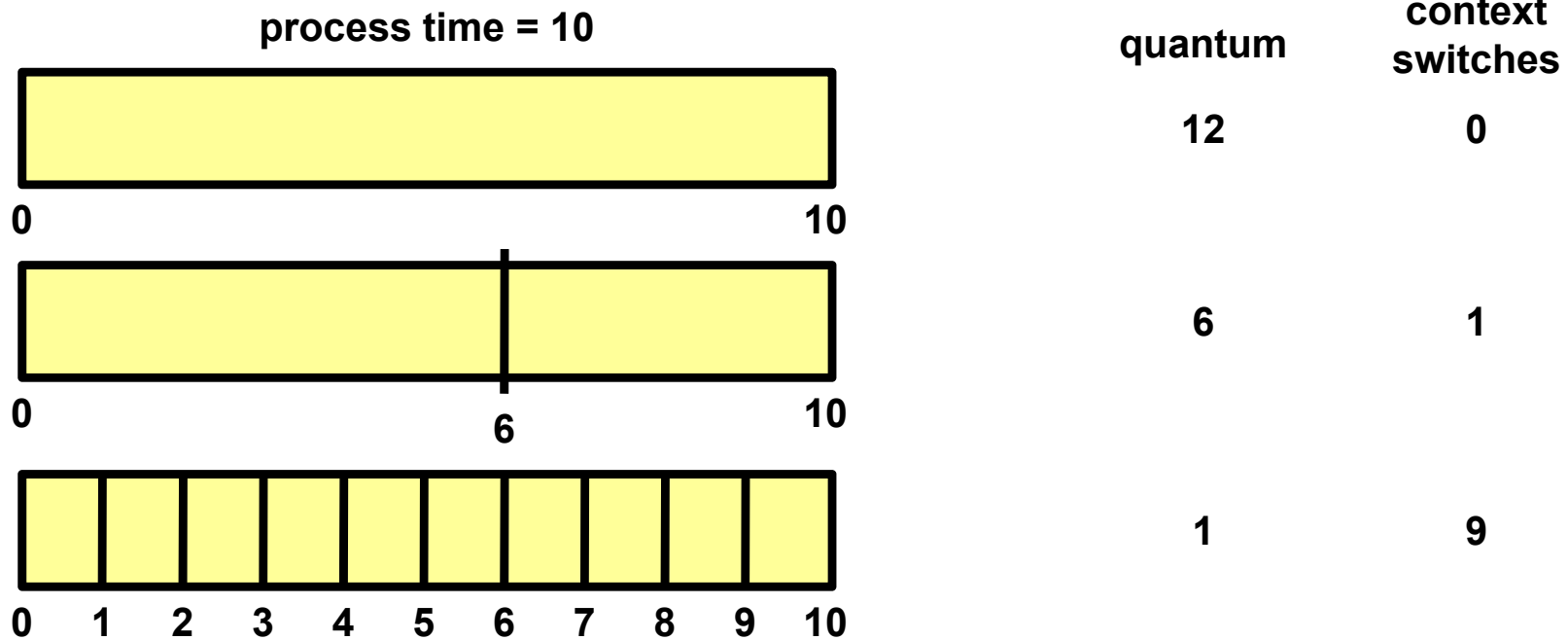
- Ganttovo schématické vyjádření plánu:



- Typicky se dosahuje delší *průměrné* doby obrátky než při plánování SJF, avšak doba odpovědi je výrazně nižší

# ANIMACE ROUND ROBIN

# ČASOVÉ KVANTUM A DOBA PŘEPNUTÍ KONTEXTU

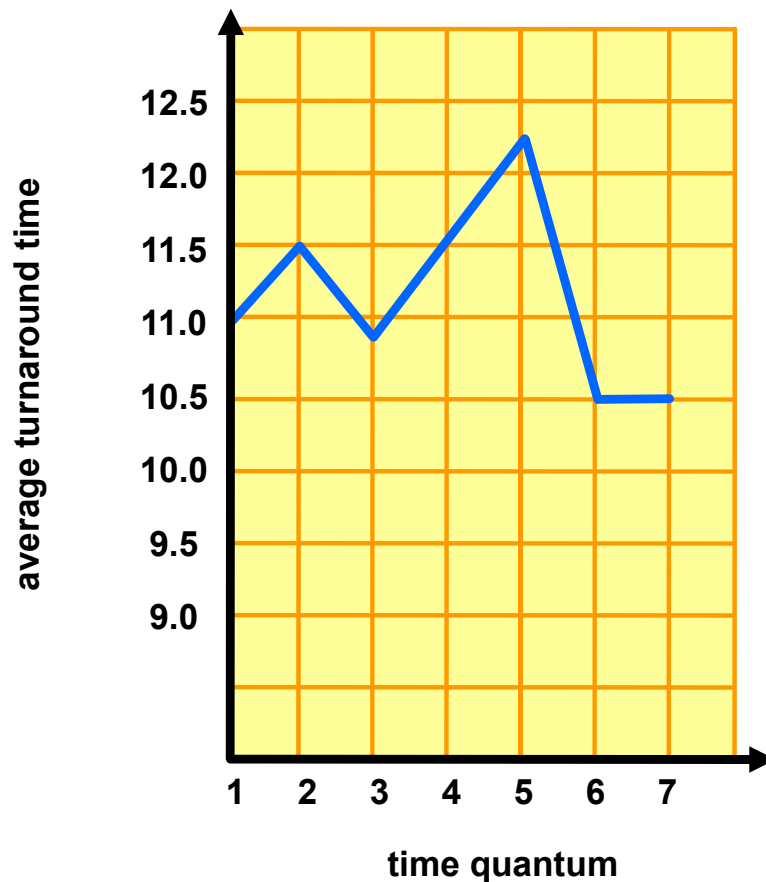


- Příklad: doba přepnutí kontextu = 0,01
- Ztráty související s režii OS při  $q = 12, 6$  a  $1$  jsou 0,08; 0,16 a 1 %



# DOBA OBRÁTKY

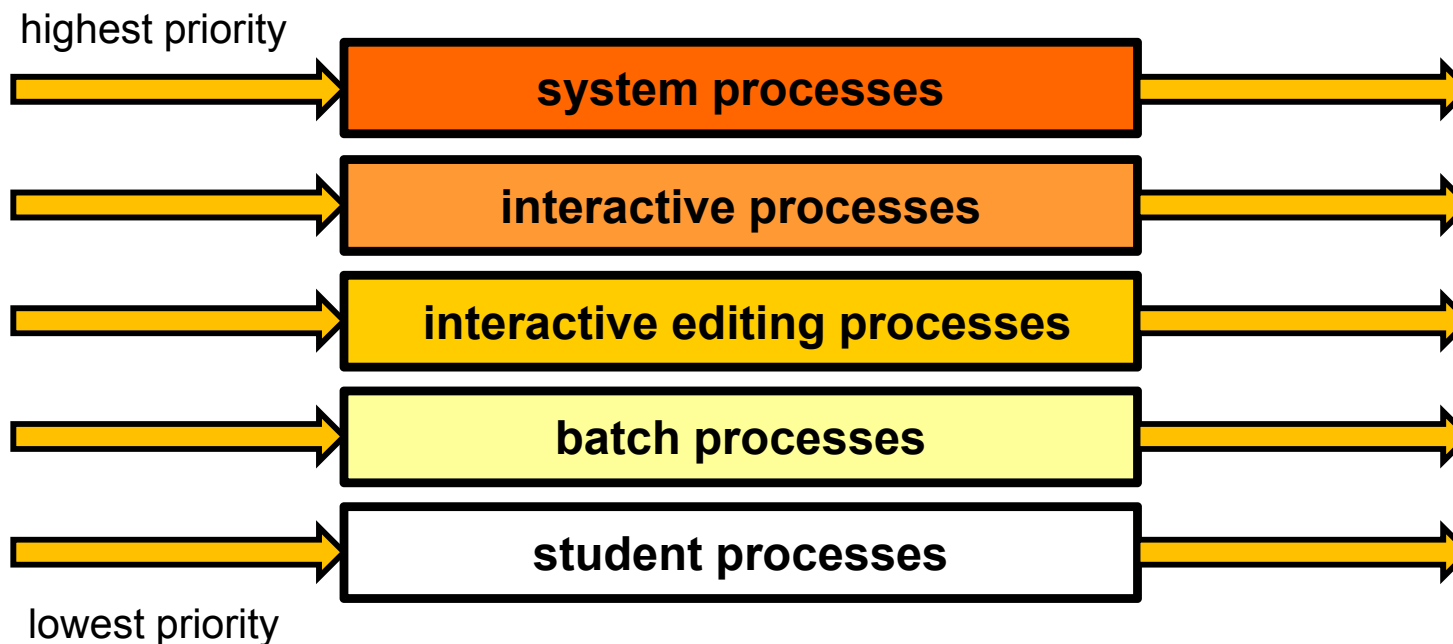
- Doba obrátky se mění se změnou délky časového kvanta



process	time
$P_1$	6
$P_2$	3
$P_3$	1
$P_4$	7

# FRONTA PROCESŮ

- Fronta „připravených“ procesů nemusí být jediná
  - procesy můžeme dělit na interaktivní, dávkové, apod.
  - pro každou frontu můžeme použít jiný plánovací algoritmus



# PŘÍKLAD: LINUX

- Plánovací algoritmus je součástí jádra OS
- Skládá se ze 2 funkcí
  - `schedule()` – plánování procesů
  - `do_timer()` – aktualizuje informace o procesech (spotřebovaný čas v uživatelském režimu, v režimu jádra, priority apod.)
- Časové kvantum je 1/100 sekundy
- Plánovací algoritmus byl předmětem vývoje

# PŘÍKLAD: LINUX (2)

- Plánovací algoritmus
  - 4 kategorie procesů z hlediska plánování
    - SCHED\_FIFO
    - SCHED\_RR
    - SCHED\_OTHER
    - SCHED\_BATCH
  - první dva typy jsou procesy se zvláštními nároky na plánování (soft real time), mají přednost před ostatními procesy a může je vytvářet pouze root
  - procesy SCHED\_FIFO jsou plánovány metodou FIFO
    - Běží dokud není předběhnut, blokován I/O nebo se vzdá procesoru
  - procesy SCHED\_RR jsou plánovány metodou RR
    - Upravené SCHED\_FIFO s časovým kvantem podle `sched_rr_get_interval()`
  - procesy SCHED\_FIFO a SCHED\_RR mají přiřazenu prioritu (1-99), při plánování jsou vybírány procesy s vyšší prioritou, plánovací algoritmu je preemptivní

# PŘÍKLAD: LINUX (3)

- Plánovací algoritmus – pokračování
  - do SCHED\_OTHER patří všechny klasické timesharingové procesy
  - v rámci SCHED\_OTHER jsou procesy plánovány na základě dynamických priorit
    - tzv. hodnota nice
    - priorita je 0
    - zvyšována při stárnutí procesu
    - neadministrátorský proces může jen zhoršit prioritu
      - resp. od jádra 2.6.12 limit RLIMIT\_RTPRIO
    - procesy se stejnou prioritou jsou plánovány pomocí RR

# PŘÍKLAD: LINUX (4)

- Plánovací algoritmus
  - Do jádra 2.4 algoritmus procházející globální (pro všechny procesory) frontu a hledající vhodný proces (složitost  $O(n)$  kde  $n$  počet čekajících procesů)
  - Od jádra 2.6 (resp 2.5) nový, tzv.  $O(1)$  algoritmus, fronty procesů per-CPU
  - Od 2.6.23 nahrazen algoritmem CFS (completely fair scheduler), který pro seznamy procesů používá červeno-černý strom. Výběr procesu pro běh na procesoru v konstantním čase, jeho znovuvložení  $O(\log n)$ .

# PŘÍKLAD: LINUX (5)

System Calls Related to Scheduling	
System Call	Description
nice( )	Change the priority of a conventional process.
getpriority( )	Get the maximum priority of a group of conventional processes.
setpriority( )	Set the priority of a group of conventional processes.
sched_getscheduler( )	Get the scheduling policy of a process.
sched_setscheduler( )	Set the scheduling policy and priority of a process.
sched_getparam( )	Get the scheduling priority of a process.
sched_setparam( )	Set the priority of a process.
sched_yield( )	Relinquish the processor voluntarily without blocking.
sched_get_priority_min( )	Get the minimum priority value for a policy.
sched_get_priority_max( )	Get the maximum priority value for a policy.
sched_rr_get_interval( )	Get the time quantum value for the Round Robin policy.

# PŘÍKLAD: WIN32 (1)

- Z pohledu Win32:
  - procesy při vytvoření přiděleny do jedné z následujících tříd
    - Idle
    - Below Normal
    - Normal
    - Above Normal
    - High
    - Realtime
  - Vlákna dále mají relativní prioritu v rámci třídy, do které patří
    - Idle
    - Lowest
    - Below\_Normal
    - Normal
    - Above\_Normal
    - Highest
    - Time\_Critical



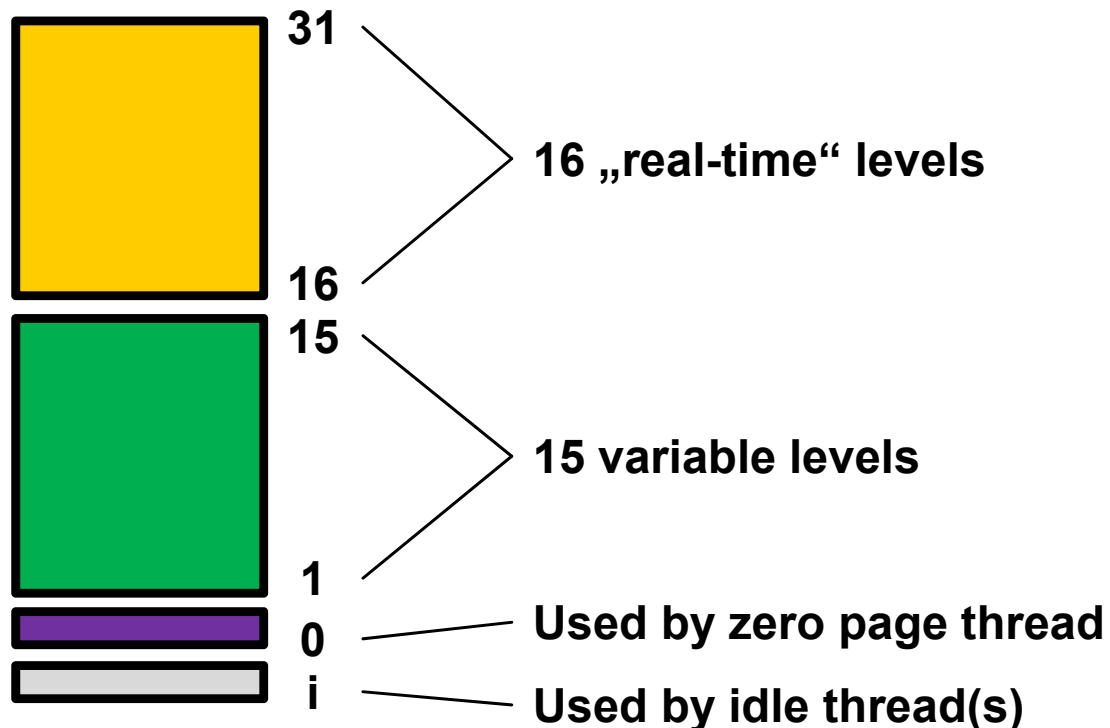
# PŘÍKLAD: WIN32 (3)

- Přehled priorit ve Win32

	real-time	high	above normal	normal	below normal	idle priority
time-critical	31	15	15	15	15	15
highest	26	15	12	10	8	6
above normal	25	14	11	9	7	5
normal	24	13	10	8	6	4
below normal	23	12	9	7	5	3
lowest	22	11	8	6	4	2
idle	16	1	1	1	1	1

# PŘÍKLAD: WIN32/W2K (2)

- Plánovací algoritmu ve Windows 2000
  - plánuje vlákna, ne procesy
  - vlákna mají priority 0 až 31



# PŘÍKLAD: WIN32 (4)

- *Get/SetPriorityClass*
- *Get/SetThreadPriority* – relativní vůči základní prioritě procesu
- *Get/SetProcessAffinityMask*
- *SetThreadAffinityMask* – musí být podmnožinou masky procesu
- *SetThreadIdealProcessor* – preferovaný procesor
- *Get/SetProcessPriorityBoost*
- *Suspend/ResumeThread*

# PŘÍKLAD: WIN32 (5)

- Plánovací algoritmus je řízen především prioritami
  - 32 front (FIFO seznamů) vláken, která jsou „připravena“
    - pro každou úroveň priority jedna fronta
    - fronty jsou společné pro všechny procesory
  - když je vlákno „připraveno“
    - buď běží okamžitě
    - nebo je umístěno na konec fronty „připravených“ procesů ve své prioritě
  - na jednoprocessorovém stroji vždy běží vlákno s nejvyšší prioritou
- V rámci jedné prioritní skupiny se plánuje algoritmem round-robin pomocí časových kvant

Výukovou pomůcku zpracovalo  
**Servisní středisko pro e-learning na MU**

CZ.1.07/2.2.00/28.0041

Centrum interaktivních a multimediálních studijních opor pro inovaci výuky a efektivní učení



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ