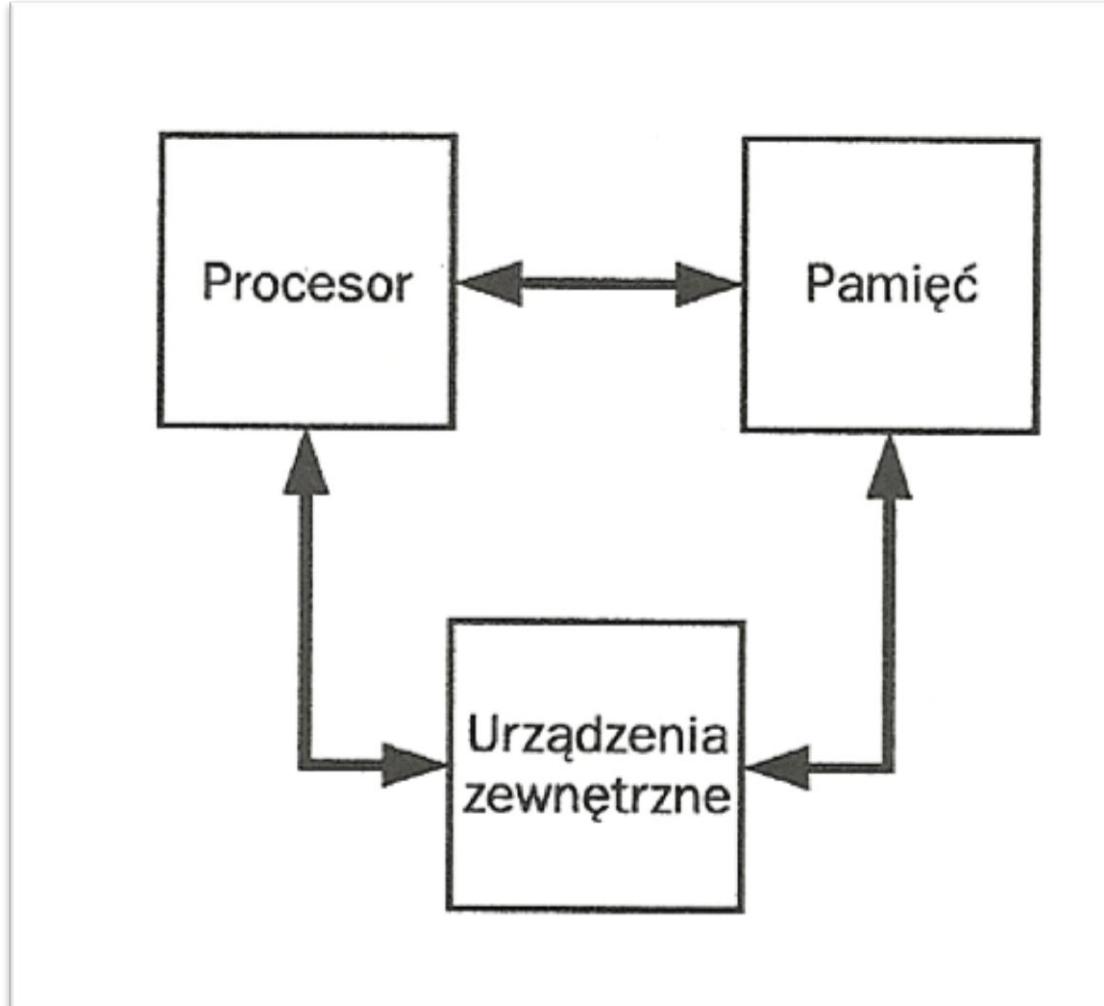


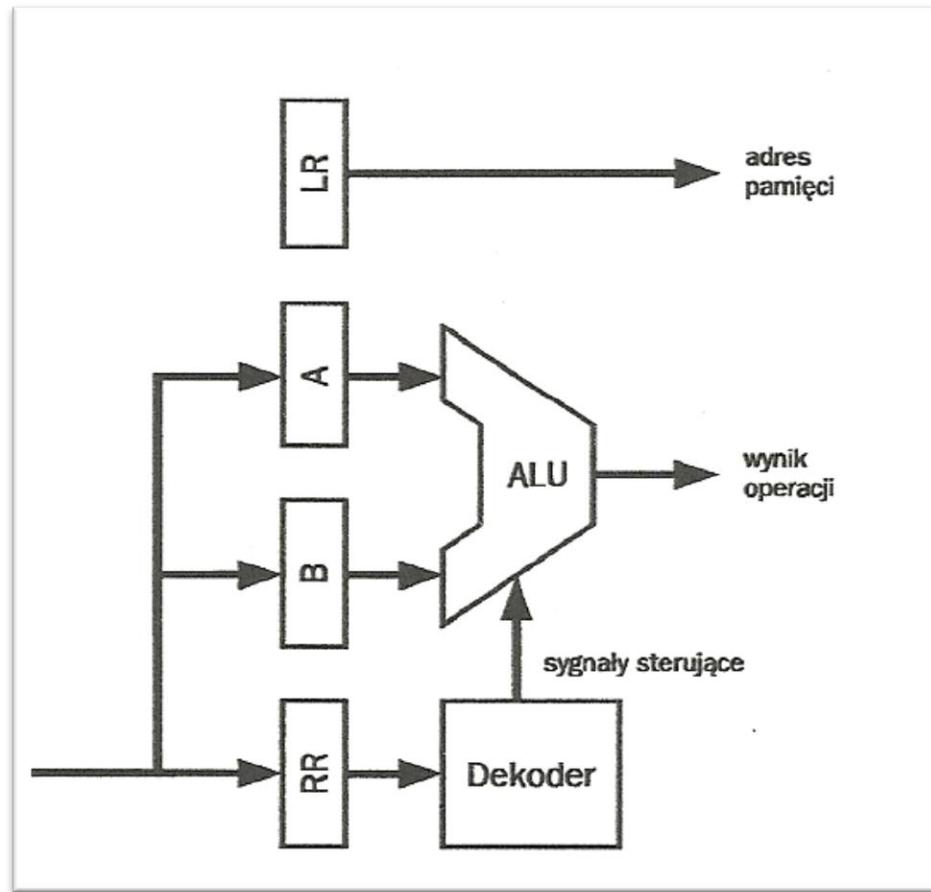


PROCESOR

Architektura komputera wg Neumana



Uproszczony schemat procesora



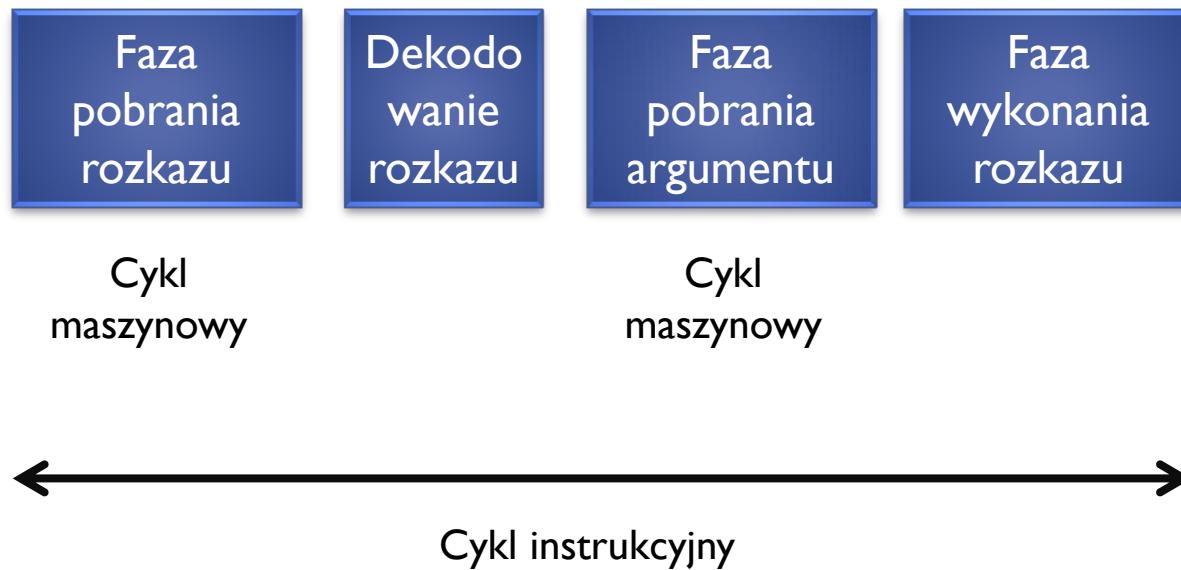
Podstawowe elementy procesora

- Blok rejestrów
- Blok ALU
- Dekoder kodu rozkazowego
- Układ sterujący
- Magistrala procesora

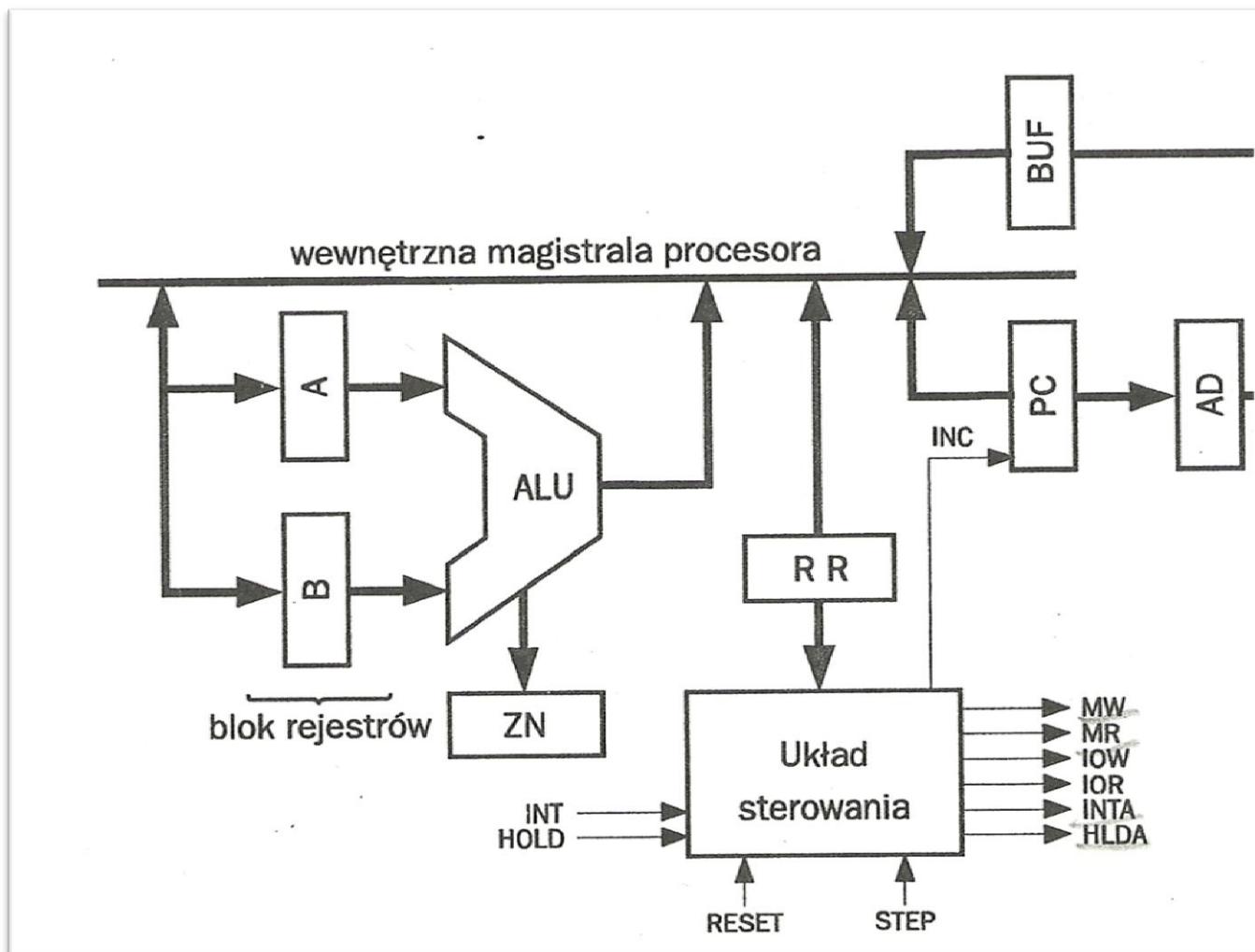
Cykl pracy procesora

1. Umieszczenie programu w pamięci
2. Wysłanie adresu komórki zawierającej pierwszy rozkaz przez procesor do pamięci
3. Kod rozkazu umieszczony jest w rejestrze rozkazów a nad zachowaniem właściwej kolejności sprawuje kontrolę licznik rozkazów
4. Dekodowanie rozkazu i zerowanie bloku ALU
5. Blok ALU wykonuje rozkaz

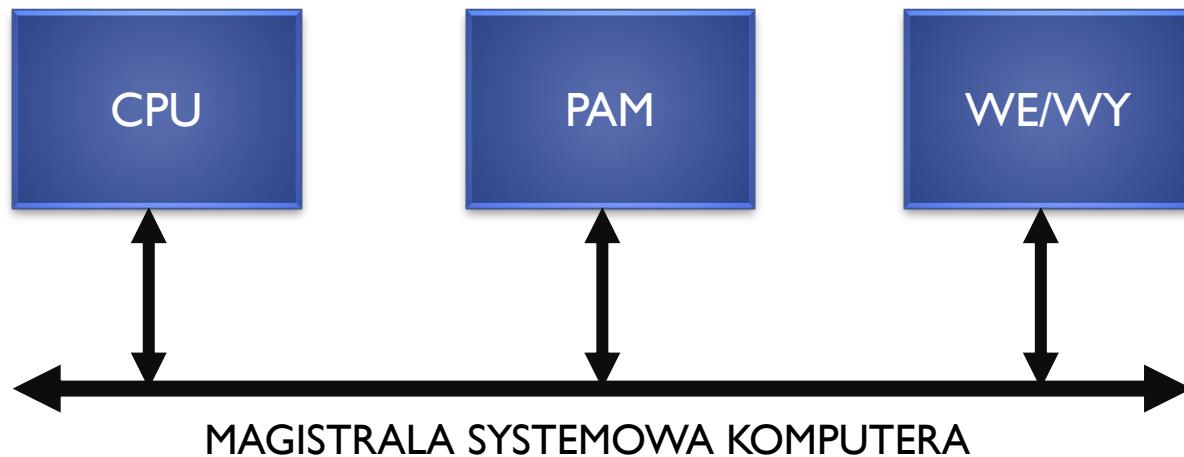
Sekwencja czynności procesora podczas wykonywania rozkazu



Organizacja typowego procesora



Magistrala systemowa



Magistrala systemowa - budowa

- Szyna danych
- Szyna adresowa
- Szyna sterująca

Parametry procesorów

Procesory są identyfikowane przez dwa parametry

- Szybkości
- Typu magistrali

Parametry procesorów - szybkość

Jest określana w megahercach MHz lub gigahercach GHz i oznacza liczbę cykli wykonywanych na sekundę. Mega to milion a giga to miliard.

Zasada tutaj jest prosta im wyższe wartości tym lepiej.

Parametry procesorów – typ magistrali

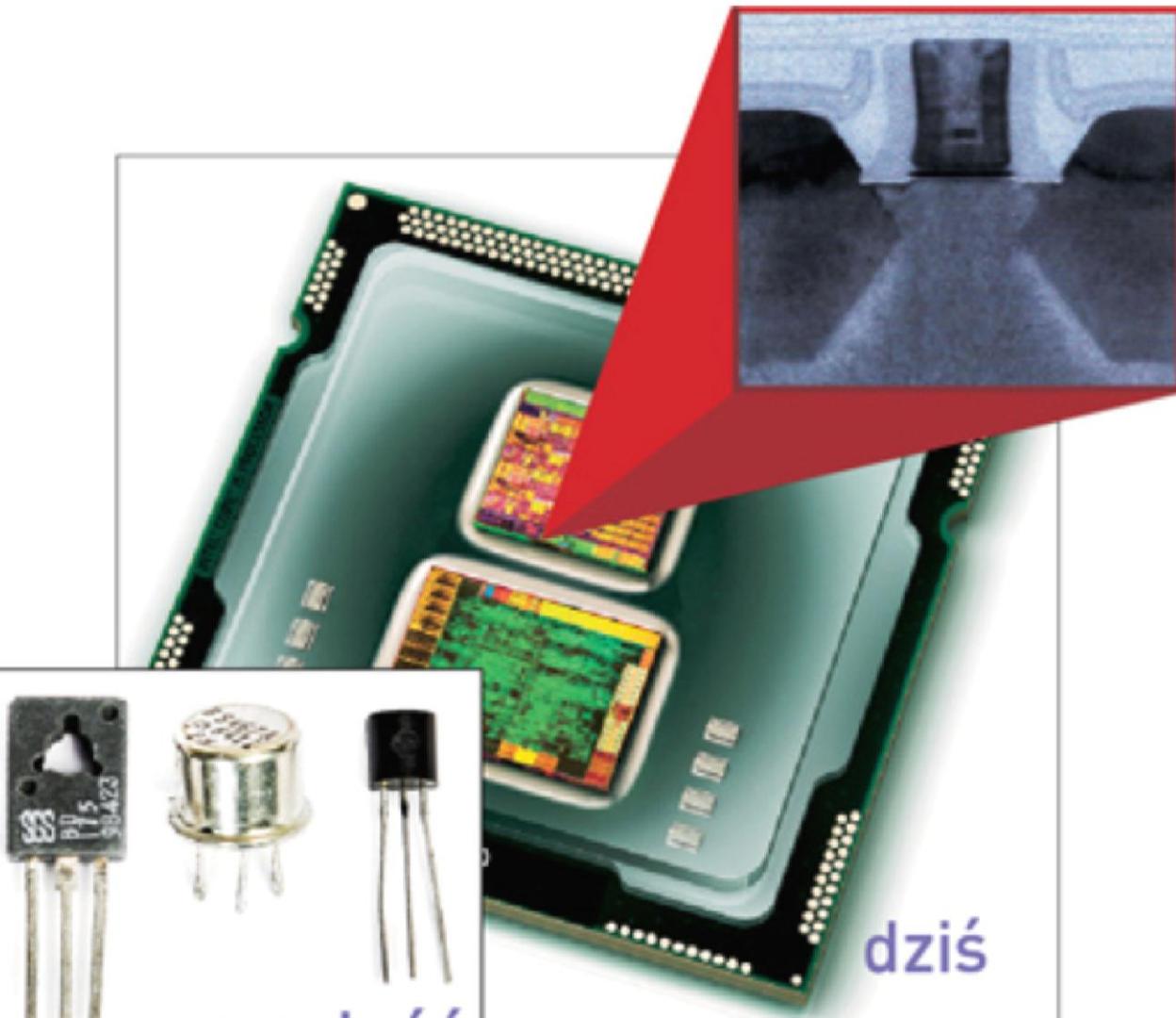
Na to kryterium składają się:

- Magistrala danych I/O – jest to połączenie procesora z chipsetem na płycie. Im ono jest szersze tym lepsze.
- Magistrala adresowa – pozwala na wymianę adresów komórek pamięci zawierających dane. Szerokość tej magistrali określa max rozmiar pamięci z jaką może współpracować procesor
- Wewnętrzne rejesty – informują jaką ilość informacji jednorazowo jest w stanie przetworzyć procesor



Rozwój procesorów

Jednordzeniowe



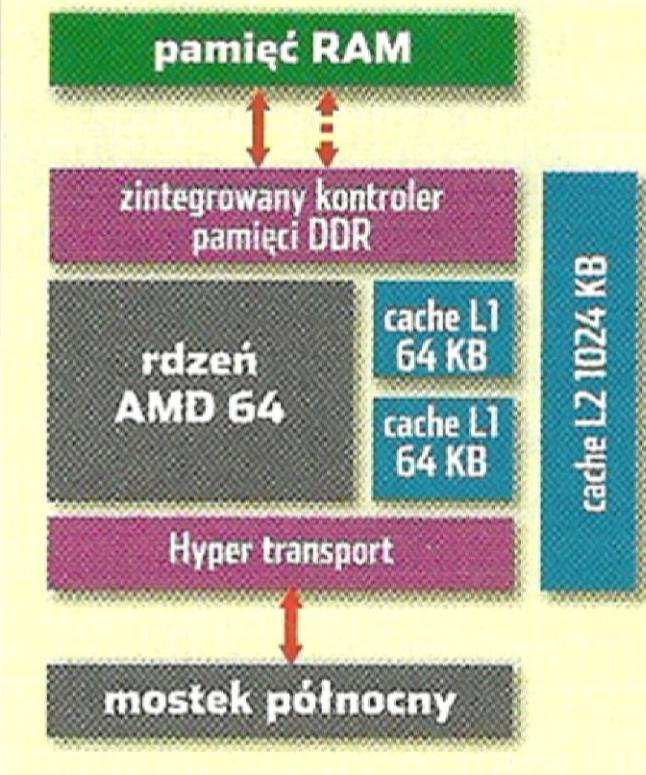
Procesory 64 bitowe jednordzeniowe - firmy AMD

- Podwójna liczba rejestrów 8 bajtowych
- 1 MB pamięci L2
- Zintegrowanie większości funkcji mostka północnego w procesorze
- Technologia Hyper Transport odpowiadająca za komunikację z mostkiem południowym

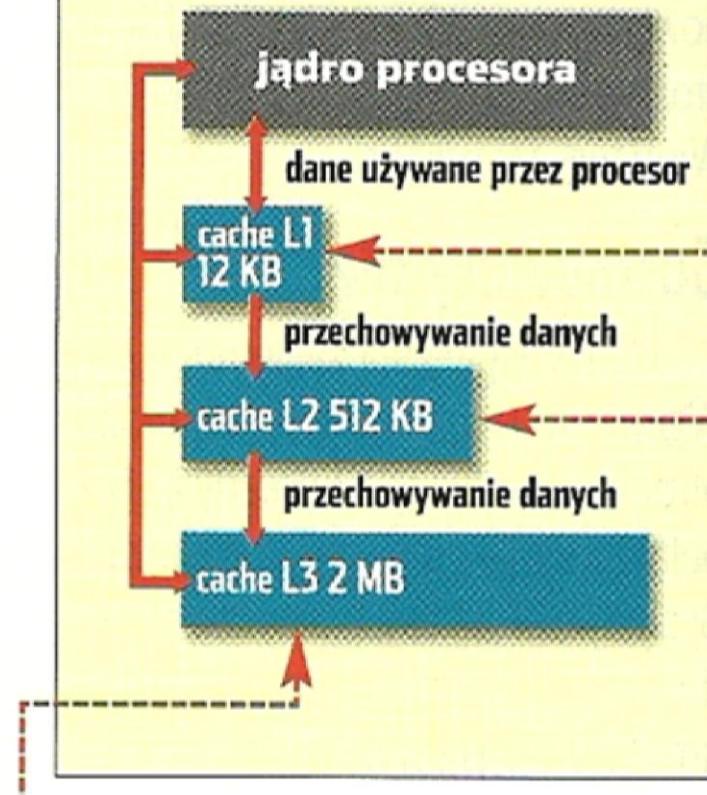
Procesory 64 bitowe jednordzeniowe - firmy Intel

- 3 MB pamięci L3 ale taktowana czterokrotnie wolniejszym zegarem niż jądro procesora i pozostałe pamięci

Budowa procesora AMD Athlon 64 FX-51



Działanie pamięci cache w Pentium 4 EE



Dwurdzeniowe



ROZWÓJ PROCESORÓW

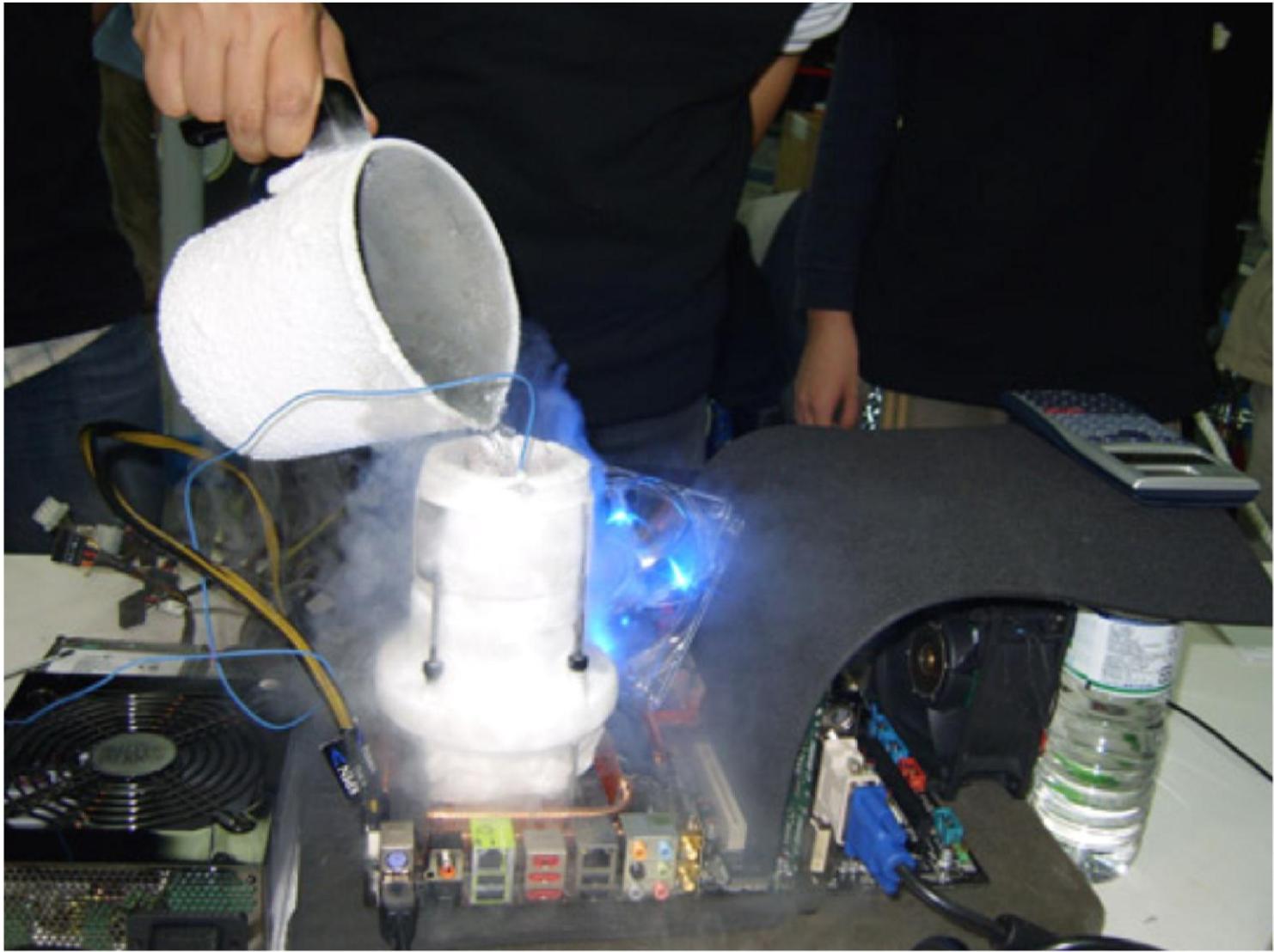
Powody

Jeśli chodzi o stopień równoległego wykonywania instrukcji, współczesna architektura procesorów jednordzeniowych osiągnęła już górny pułap swoich możliwości.

Współczynnik IPC (Instructions Per Cycle), czyli liczba instrukcji wykonywanych przez procesor w jednym cyklu zegara, wynosi mniej więcej od 3 do 4 (np. dla Intel Core 2 jest to ok. 3,5, dla rdzenia Sandy Bridge (Core i3, i5 i i7) ok. 4,1, a dla architektury AMD Bulldozer ok. 4,0).

Prosty potok superskalarny, w którym jednocześnie pobierane i wysyłane są dwie instrukcje. W jednym cyklu zegara mogą tu zostać maksymalnie wykonane dwie instrukcje.

Podobnie sprawy mają się z przyspieszaniem zegara procesora. Tutaj napotkano na trudną do ominięcia barierę przy częstotliwości zegara wynoszącej ok. **5 GHz**. Okazało się, że przy tak wysokich częstotliwościach pracy układu trudno już jednoznacznie określić, co jest jeszcze użytecznym sygnałem, a co już szumem spowodowanym wysoką temperaturą panującą wewnątrz układu. Wprawdzie można podkręcić procesor do tak wysokich częstotliwości (**obecny rekord to 8,2 GHz**), niemniej procesor wymaga wówczas specjalnego układu chłodzenia – np. overclockerzy bijący rekordy używają do podkręcania ciekłego azotu. Między innymi dlatego na rynku nie sprzedaje się układów o tak wysrubowanych parametrach, a seryjnie produkowane najszybsze układy pracują z częstotliwością ok. **3,6–3,7 GHz (np. AMD Phenom II X4 980 Black Edition – 3,7 GHz, czy Intel Core i7 3820 pracujący standardowo z częstotliwością 3,6 GHz, a w trybie Turbo 3,9 GHz)**.



Procesory 64 bitowe dwurdzeniowe

Procesory składające się z **wielu rdzeni** to nie nowość ostatnich lat. Już dawno temu producenci procesorów zauważyl, że wielordzeniowość zwiększa wydajność obliczeniową układu, pozwalając na jednoczesne przeprowadzanie wielu obliczeń. **Jednak ze względu na możliwości konstrukcyjne i koszty systemy wielordzeniowe realizowane były głównie w postaci zestawu komputerów z procesorami jednordzeniowymi, połączonymi ze sobą szybką siecią wymiany danych. Ich zastosowaniem były głównie serwery w centrach naukowych i obliczeniowych, w których niezbędna jest duża moc obliczeniowa.**

Procesory 64 bitowe dwurdzeniowe

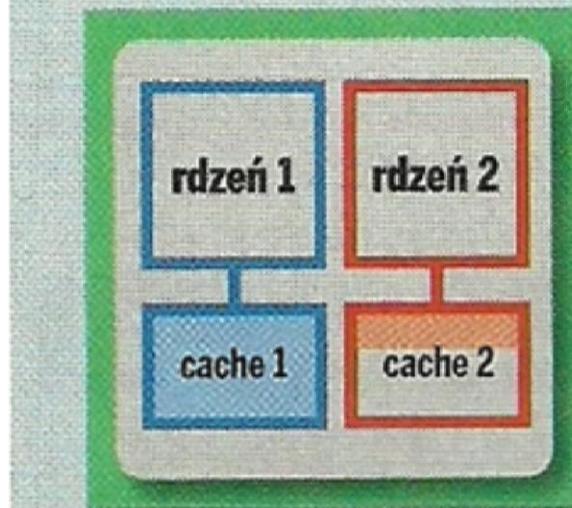
Kilka lat temu na ciekawy pomysł wpadła firma Intel.

W niektórych procesorach Pentium 4 zwiększoñ wydajnoñ uk³adów poprzez zastosowanie technologii **HT (Hyper-Threading, czyli hiperwątkowość)**. Polega³a ona na tym, þe dwa niezale¿ne wątki (ciagi instrukcji wykonywane przez aplikacjê) mogły korzystaæ z procesora w tym samym czasie, sprawiaj±c wrażenie wykonania równoległego. Procesor wykorzystuj±cy HT widziany był w systemie operacyjnym jako **dwa procesory logiczne**. Technologia HT zwiększa³a wydajnoñ procesora prawie o **20 procent**. Niestety, produkcja procesorów z Hyper-Threading by³a bardzo skomplikowana i droga. Mimo to, do HT powrócono w czterordzeniowych **procesorach Intel Core i7 oraz jednordzeniowym układzie Intel Atom**.

Procesory 64 bitowe dwurdzeniowe

Wykorzystanie pamięci cache L2

AMD Athlon 64



Łączne wykorzystanie cache 65%

Gdy cache jest rozdzielony, może dochodzić do sytuacji, kiedy część pamięci podręcznej jest niewykorzystana

Intel Core 2 Duo



Łączne wykorzystanie cache 100%

Pamięć podręczna jest wykorzystana przez obydwa rdzenie. Każdy z nich może używać od 0 do 100% cache, stosownie do potrzeb

Wielordzeniowe

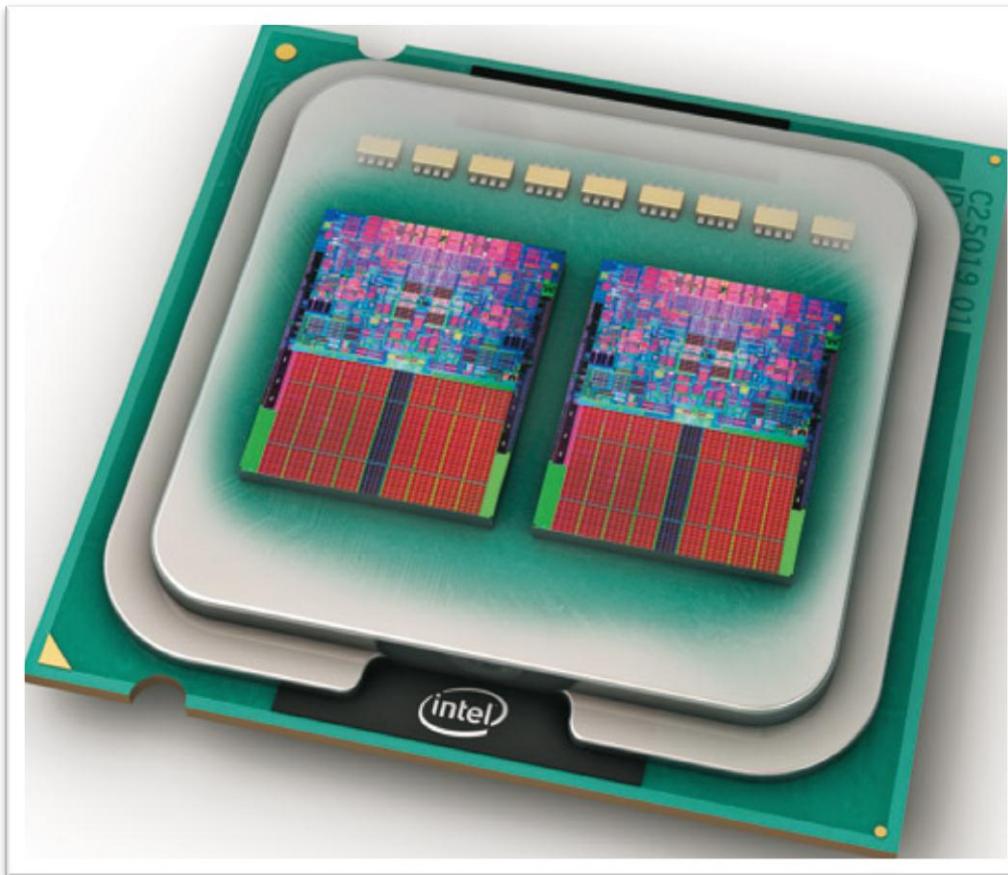


ROZWÓJ PROCESORÓW

Ogólna charakterystyka

W chwili obecnej wydajność procesora zależy od:

- **architektury procesora** (procesory AMD i Intela oraz poszczególne serie różnią się od siebie budową i zestawem obsługiwanych instrukcji podstawowych),
- **częstotliwości taktowania** (im wyższa, tym procesor szybszy),
- **ilości pamięci podręcznej** (im więcej, tym układ wydajniejszy),
- **liczby rdzeni** (im więcej, tym teoretyczna szybkość procesora większa).



Ile rdzeni mają różne modele procesorów

4 rdzenie



Intel Core 2 Quad

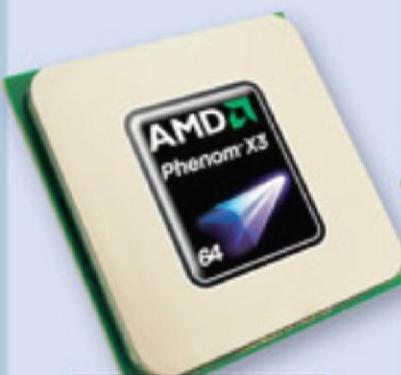


Intel Core 2 Extreme



AMD Phenom X4

3 rdzenie



AMD Phenom X3

2 rdzenie



Intel Core 2 Duo

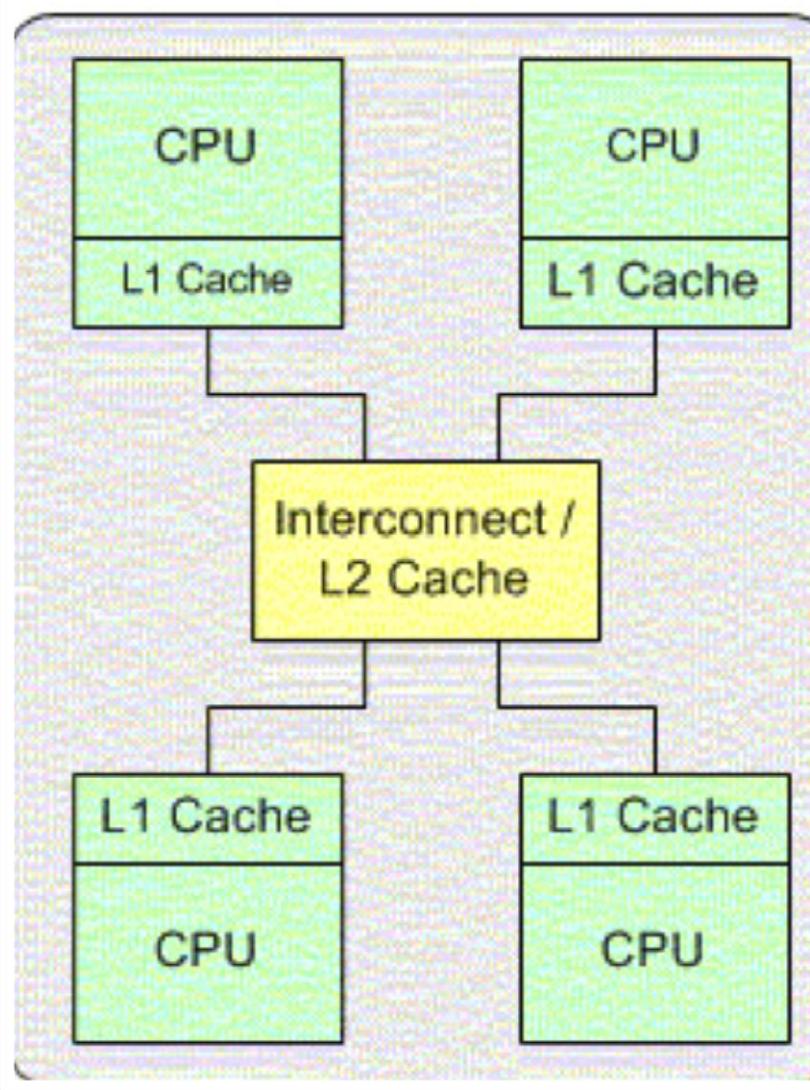


Intel Celeron



AMD Athlon X2

Multi-Core Processor



Wzrost szybkości

Czy da się zatem zwiększyć jeszcze szybkość pracy procesorów? Na szczęście tak. Aby ominąć wspomniane przed chwilą ograniczenia, konstruktorzy procesorów sięgnęli po sprawdzoną w superkomputerach oraz wysokowydajnych serwerach i stacjach roboczych metodę, a mianowicie wieloprocesorowość. W klasycznych wieloprocesorowych serwerach wykorzystuje się tzw. **architekturę SMP (Symmetric MultiProcessing), która pozwala na symetryczne przetwarzanie danych jednocześnie na kilku procesorach.** Procesory te współdzielą ze sobą zasoby pamięci (pamięć operacyjną RAM i pamięć masową – np. dyski twarde) oraz interfejsy I/O. Co ważne, procesory w architekturze SMP komunikują się ze sobą za pomocą wspólnej magistrali systemowej, a przydział procesorów dla poszczególnych zadań (wątków, ang. thread) realizowany jest przez **system operacyjny.** Oznacza to, że system musi być przystosowany do dzielenia zadań na fragmenty i rozdzieleniem ich na wiele procesorów. **Zaletą architektury SMP jest jej prosta sprzętowa implementacja i prosty model programowy.**

Architektura SMP

Dzięki temu, że architektura SMP jest stosunkowo prosta w implementacji, zastosowano ją "z marszu" w konstrukcji procesorów wielordzeniowych. Produkowane obecnie układy są tak naprawdę kilkoma procesorami, zwanymi w tym wypadku rdzeniami, zamkniętymi w jednej obudowie – a ściślej wyprodukowanymi na jednej płytce krzemowej. **Każdy z rdzeni procesora wielordzeniowego jest identyczny i komunikuje się z pozostałymi rdzeniami za pomocą jednej wewnętrznej magistrali systemowej.** W zależności od konstrukcji, w sklepach dostępne są układy **dwu-, trzy-, cztero-, sześciu-, ośmio- a nawet dwunastordzeniowe** (seria układów AMD Opteron 6000).

Pozostawiono też możliwość pracy wielordzeniowych układów w konfiguracjach wieloprocesorowych – taką architekturę stosuje się głównie w serwerach. **Dzięki temu serwer wyposażony w płytę główną np. z czteremałączami procesorowymi może mieć łącznie np. 32 rdzenie.** W przeszłości tak rozbudowanych maszyn wieloprocesorowych bez użycia układów wielordzeniowych nie dało się po prostu budować.

Wątki i wielowątkowość

W tym miejscu warto poświęcić kilka słów pojęciom wątku, wielowątkowości i współbieżności, które są ścisłe związane z wieloprocesorowością i wielordzeniowością.

Wątek to po prostu część programu komputerowego, która jest wykonywana niezależnie od innych jego części.

Innymi słowy, wątki to kolejne ciągi instrukcji wykonywane oddzielnie. Jeżeli w danej chwili może być przetwarzany tylko jeden wątek, wówczas mamy do czynienia z programem jednowątkowym. Jeżeli kilka wątków programu może być wykonywanych przez procesor niezależnie od siebie w tym samym czasie, wówczas mamy do czynienia ze współbieżnym przetwarzaniem wątków i programem wielowątkowym. Przetwarzanie współbieżne realizowane jest na procesorze jednordzeniowym w taki sposób, że uruchomione na tym samym rdzeniu wątki przełączane są w krótkich odstępach czasu. Dzięki temu mamy wrażenie, że wykonują się one równolegle.

Symultaniczna wielordzeniowość

Wielowątkowość (ang. multithreading) to z kolei możliwość **fizycznego, jednoczesnego wykonywania wielu wątków programu na pojedynczym rdzeniu procesora**. Realizacja w jednordzeniowych procesorach wielowątkowości możliwa jest dzięki wspomnianej na początku superskalarności i dzięki temu, że nie wszystkie moduły danej jednostki wykonawczej są w danej chwili w jednakowym stopniu wykorzystywane przez dany wątek.

Nic nie stoi na przeszkodzie, aby **nieaktywne elementy jednostki wykonawczej mogły w tym czasie przetwarzać inny wątek, zwiększąc tym samym efektywność wykorzystania całego procesora**. Wielowątkowa struktura oprogramowania ułatwia systemowi operacyjnemu rozłożenie poszczególnych zadań na kilka procesorów lub rdzeni.



AMD I INTEL – NOWOCZESNE ROZWIĄZANIA

Najnowsze procesory - cechy

CPU różnią się technologią wykonania, pojemnością pamięci wewnętrznej, liczbą rdzeni i zastosowanymi rozwiązaniami. Co ciekawe, w niektórych procesorach znajduje się również układ graficzny.

Rodziny najnowszych procesorów

- **Intel Core2 Duo, Core2 Quad:** te procesory Intela są obecne na rynku już od pewnego czasu. W zależności od modelu w procesorze pracują dwa (Core2 Duo) lub cztery (Core2 Quad) rdzenie obliczeniowe. Dzięki temu na komputerze może pracować wiele programów równocześnie bez odczuwalnego spadku tempa pracy. W tej chwili tego typu procesory są już przestarzałą konstrukcją.
- **Intel Core i7:** Pod koniec 2008 roku Intel wprowadził na rynek procesory Core i7. Mają one cztery rdzenie obliczeniowe i są przewidziane dla wymagających graczy i osób używających aplikacji potrzebujących dużej mocy obliczeniowej.
- **Intel Core i5 i Core i3:** Układy Core i5 mają w zależności od modelu dwa lub cztery rdzenie. Nadają się do domowych komputerów. Nowe procesory Core i3 z dwoma rdzeniami pracują nieco wolniej. Sprawdzą się jednak w pracy z aplikacjami biurowymi, surfowaniu w internecie i oglądaniu wideo.
- **AMD Phenom II X3 i X4:** topowe modele firmy AMD są na rynku dopiero od kilku miesięcy i w środku, w zależności od modelu, mają trzy (X3) lub cztery (X4) rdzenie obliczeniowe. Wkrótce na rynku pojawi się model 6-rdzeniowy Phenom II X6.
- **AMD Athlon II X2, X3 i X4:** również w procesorach klasy średniej firmy AMD cyfra po znaku X oznacza liczbę rdzeni obliczeniowych. Modele serii Athlon II nadają się do komputerów domowych.

Najważniejsze nowoczesne procesory

We współczesnych komputerach znajdują się procesory dwóch firm – Intel i AMD. U Intel powoli dobiegają końca serie Core2 Duo

i Core2 Quad. Dla typowych użytkowników przewidziane są rodziny procesorów Core i3 i Core i5, ofertę dla graczy i użytkowników

wymagających aplikacji rozszerzą układy z rodziny Core i7. CPU firmy AMD nadają się do typowych zadań.

Dane techniczne wybranych procesorów

Seria (nazwa kodowa)	Modele	Taktowanie	Liczba rdzeni	Kanały pamięci	Pamięć cache L2/L3	Zintegrowana grafika
Intel						
Core2 Duo (Wolfdale)	E7400 / E7500 / E7600	2,80 GHz / 2,93 GHz / 3,06 GHz	2	✗	2x 1536 kB / -	✗
Core2 Duo (Wolfdale)	E8400 / E8500 / E8600	3,00 GHz / 3,16 GHz / 3,33 GHz	2	✗	2x 3072 kB / -	✗
Core2 Quad (Yorkfield)	Q8200 / Q8300 / Q8400	2,33 GHz / 2,50 GHz / 2,67 GHz	4	✗	2x 2048 kB / -	✗
Core2 Quad (Yorkfield)	Q9400 / Q9505	2,67 GHz / 2,83 GHz	4	✗	2x 3072 kB / -	✗
Core2 Quad (Yorkfield)	Q9550 / Q9650	2,83 GHz / 3,00 GHz	4	✗	2x 6144 kB / -	✗
Core i3 (Clarkdale)	530 / 540	2,93 GHz / 3,06 GHz	2	2	2x 256 kB / 4096 kB	✓
Core i5 (Clarkdale)	650 / 660 / 661 / 670	3,2 GHz / 3,33 GHz / 3,33 GHz / 3,46 GHz	2	2	3x 256 kB / 4096 kB	✓
Core i5 (Lynnfield)	750	2,66 GHz	4	2	4x 256 kB / 8192 kB	✗
Core i7 (Lynnfield)	860 / 870	2,8 GHz / 2,93 GHz	4	2	4x 256 kB / 8192 kB	✗
Core i7 (Bloomfield)	920 / 950 / 960 / 965EE / 975EE	2,66 GHz / 3,06 GHz / 3,2 GHz / 3,2 GHz / 3,33 GHz	4	3	4x 256 kB / 8192 kB	✗
AMD						
Athlon II X2 (Regor)	240 / 245 / 250	2,7 GHz / 2,8 GHz / 2,9 GHz	2	2	2x 1024 kB / -	✗
Athlon II X3 (Rana)	425 / 435	2,7 GHz / 2,9 GHz	3	2	3x 512 kB / -	✗
Athlon II X4 (Probus)	620 / 630	2,6 GHz / 2,8 GHz	4	2	4x 512 kB / -	✗
Phenom II X3 (Heka)	720 BE	2,8 GHz	3	2	3x 512 kB / 6144 kB	✗
Phenom II X4 (Deneb)	925 / 945 / 955 / 965	2,8 GHz / 3 GHz / 3,2 GHz / 3,4 GHz	4	2	4x 512 kB / 6144 kB	✗

■ **Częstotliwość taktowania:** im wyższa podana w gigahercach liczba, tym szybciej pracują programy. Wyższa częstotliwość taktowania nie oznacza jednak automatycznie szybszej pracy – ta reguła obowiązuje tylko wśród procesorów z tej samej rodziny

■ **Rdzenie procesora:** kolejne rdzenie również podwyższają szybkość, ale tylko wtedy, gdy wiele programów pracuje równocześnie

■ **Kanały pamięci:** zintegrowane z procesorem kanały pamięci umożliwiają szybszy dostęp do pamięci operacyjnej

■ **Cache L2/L3:** im większy jest cache, tym szybciej pracują programy

■ **Zintegrowana grafika:** jeśli chip graficzny jest zintegrowany z procesorem, to możemy zrezygnować z zakupu karty graficznej. Jednak dla wymagających gier zintegrowana grafika jest za staba

- **Zintegrowany kontroler pamięci:** wcześniej specjalny podzespół (chipset) zamontowany na płycie głównej musiał sterować pracą pamięci operacyjnej. W CPU Core i3, i5 i i7 Intela oraz Athlon II i Phenom II firmy AMD tak zwany kontroler pamięci jest zintegrowany w obudowie procesora. W ten sposób pamięć operacyjna jest lepiej sprzężona z procesorem, a dostęp do danych jest szybszy.
- **Szybka pamięć cache:** ponieważ transfer danych z i do pamięci operacyjnej jest stosunkowo powolny, wszystkie procesory dysponują pamięcią podręczną (cache), która szybciej dostarcza dane. Jest ona zbudowana wielostopniowo: bezpośrednio obok rdzeni procesora znajduje się bardzo szybki cache L1, który jednak mieści bardzo niewiele danych. Większy, ale nie tak szybki, jest cache L2. Najnowsze modele procesorów mają dodatkowo cache L3 o jeszcze większej pojemności.
- **Hyper Threading (HT):** Tę technologię Intel stosuje już od roku 2002. Procesor zgłasza systemowi operacyjnemu podwójną liczbę rdzeni procesora. Dzięki HT z dwóch rdzeni procesora robią się cztery. System wykonuje więc na procesorze cztery programy naraz, a procesor przypisuje je swoim różnym jednostkom funkcyjnym. W ten sposób procesor można lepiej wykorzystać, a pecet staje się o kilka, kilkanaście procent szybszy.
- **Nowoczesna technologia produkcji:** Dzięki nowej technologii produkcji (tak zwanej technologii 32-nanometrowej) procesory Intela z rodziny Core i3 i Core i5 są mniejsze, co z kolei umożliwia zastosowanie wyższych częstotliwości taktowania. Dlatego nowy Intel Core i5 już z dwoma rdzeniami osiąga większą szybkość niż czterordzeniowy model Core2 Quad 9550 z czterema rdzeniami.

- **Zintegrowana karta graficzna:** w obudowie procesorów serii Core i3 oraz Core i5 (modele 650, 660, 661 oraz 670) znajduje się karta graficzna. To sprawia, że oddzielna karta graficzna lub karta zintegrowana z chipsetem płyty głównej staje się zbędna, a produkcja komputera jest tańsza.
- **Turbo Boost:** Dzięki tej technologii procesory Intela serii Core i5 i Core i7 automatycznie dopasowują swoją częstotliwość taktowania do różnych wymagań: wiele programów używa tylko jednego lub dwóch rdzeni obliczeniowych. Wtedy Turbo Boost podwyższa taktowanie na przykład z 2,4 do 2,79 gigaherca i praca programów jest odpowiednio szybsza. Jeśli program jest już zoptymalizowany pod kątem wykorzystania wielu rdzeni, jak na przykład program do kompresji danych 7-Zip, Turbo przełącza procesor o jeden bieg niżej.
- **Turbo CORE:** Podobna do rozwiązania Turbo Boost technologia, która znajdzie zastosowanie w nowych procesorach AMD Phenom X6. Wkrótce trafią one na rynek. Nieaktywne rdzenie będą usypiane, a ich te które będą obsługiwać aplikację zostaną przyspieszone (większa prędkość zegara). Szczegóły techniczne tego rozwiązania nie są jeszcze do końca znane.

Jak zbudowany jest procesor

Życie wewnętrzne nowoczesnych procesorów jest bardzo złożone. Intel Core i5-750 ma na przykład cztery rdzenie obliczeniowe otoczone innymi podze-

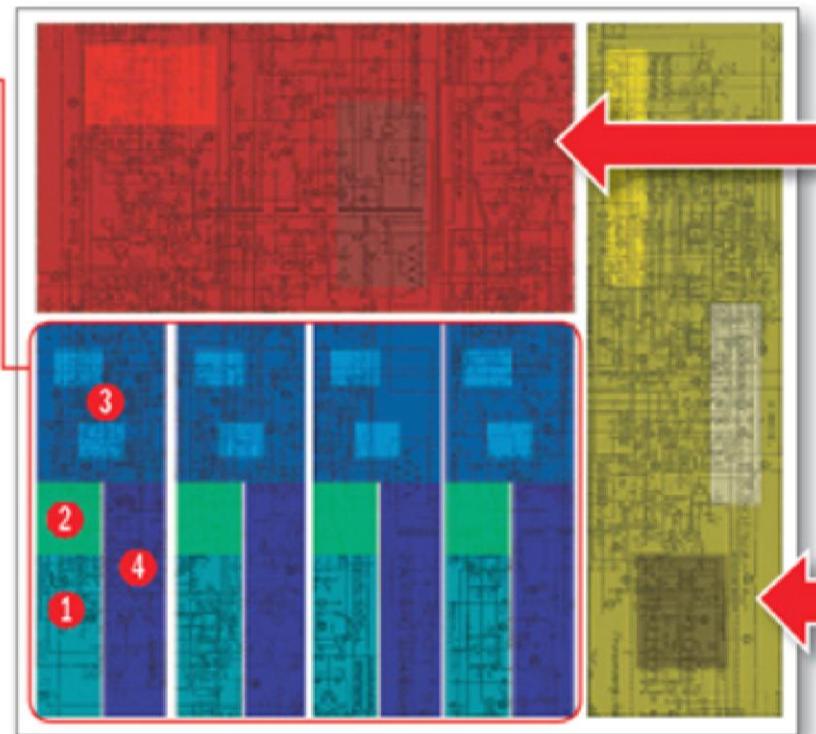
społami – pamięcią podręczną i kontrolerem pamięci. Na przykładzie Core i5-750 poznajmy przeznaczenie poszczególnych elementów procesora.

Rdzenie obliczeniowe

Core i5-750 ma cztery rdzenie ●.

Każdy z nich składa się z następujących komponentów:

- jednostka arytmetyczna ①, w której odbywa się większość obliczeń
- pamięci podręczne (cache L1 ② i L2 ③), które zapewniają szybki dostęp do często używanych danych
- jednostka FPU (ang. Floating Point Unit) ④, która odpowiada za złożone operacje zmienno-przecinkowe



Pamięć podręczna

W dużej pamięci podręcznej (cache L3) odbywa się wymiana danych pomiędzy czterema rdzeniami

Kontroler pamięci

Kontroler odpowiada za to, aby dane ze stosunkowo wolnej pamięci operacyjnej na czas docieraty do rdzeni. Jego dodatkowe zadanie to zapis danych z pamięci podręcznej w pamięci operacyjnej zamontowanej na płycie głównej

Enrgooszczędność

- Pomimo to maksymalny pobór mocy wynosi tylko **45 watów**, a najnowsze modele, takie jak Core i3-350M, zadowalają się jedynie **35 watami**. Dla porównania: Core i7-975 dla standardowego desktopa wymaga aż **130 watów**.
- Oprócz tego istnieją również modele wyjątkowo enrgooszczędne: jeśli w nazwie procesora znajduje się symbol **LM**, to jego maksymalny pobór mocy wynosi zaledwie **25 watów**. Symbol **UM** z kolei oznacza, że ten sam parametr wynosi maksymalnie **18 watów**.

Wydajność a liczba rdzeni

- Warto zwrócić uwagę, iż mimo pozorów nie są to zbyt duże wartości. Aktualny topowy model, Core i7-975 Extreme-Edition 3,33 GHz, oferuje wydajność **3,76x większą niż Intel Pentium 4 z 3,6 GHz sprzed pięciu lat**. Nawet najsłabszy CPU tej rodziny, Core i7-920 z 2,66 GHz, oferuje trzykrotnie większą wydajność modelu referencyjnego.
- Sytuacja zmienia się gdy procesor dostaje dodatkowe rdzenie, tak jak najnowszy model **Core i7 980X-Gulftown. W tym przypadku zamiast 4-rdzenii, procesor dysponuje aż sześcioma**. Dzięki temu jego wydajność rośnie - szczególnie w sytuacji kiedy dana aplikacja obsługuje obliczenia wielowątkowe.