

Macierze RAID

UTK

Marek Pudełko

RAID

- **RAID** (*Redundant Array of Independent Disks*, Nadmiarowa macierz niezależnych dysków) - polega na współpracy dwóch lub więcej dysków twardych w taki sposób, aby zapewnić dodatkowe możliwości, nieosiągalne przy użyciu jednego dysku.

Zastosowanie macierzy RAID

- zwiększenie niezawodności (odporność na awarie),
- przyspieszenie transmisji danych,
- powiększenie przestrzeni dostępnej jako jedna całość.

Historia RAID

- RAID to akronim od **Redundant Array of Independent Disks**, która w wolnym tłumaczeniu oznacza nadmiarową macierz niezależnych dysków, choć w rzeczywistości początki RAID to macierz dysków *'tanich'* a nie *'niezależnych'*.
- Idea powstania RAID sięga połowy lat 80-tych zeszłego wieku, gdy trzech profesorów amerykańskiego uniwersytetu Berkeley (David A. Patterson, Garth Gibson oraz Randy H. Katz) opublikowało swoją pracę *'A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)'*, w której zaproponowali stworzenie macierzy RAID jako rozwiązania na rosnące zapotrzebowanie na pojemne i, co jednocześnie podkreślano, tanie pamięci masowe.
- Wzrost wydajności podstawowych podzespołów komputera nie szedł w parze z rozwojem pamięci masowych. Stosowane w centralach obliczeniowych 14" dyski SLED (*Single Large Expensive Disk*) oferowały wystarczającą pojemność, ale ich cena była nieadekwatna do możliwości. Zaś tańsze dyski 5,25" oferowały bardzo ograniczoną pojemność.
- Amerykanie przedstawili w swojej pracy pięć sposobów połączenia poszczególnych dysków w macierz, określając je mianem poziomów RAID - od 1 do 5.
 - RAID z założenia miał być ekonomiczną opcją stworzenia pojemnej pamięci masowej przy wykorzystaniu macierzy dyskowej złożonej z dużej liczby mniejszych dysków, która zachowywałaby się jak pojedynczy napęd logiczny.
 - Zmiana znaczenia litery I z *'inexpensive'* na *'independent'* wymuszona została przez rozwój RAID w kierunku równoczesnego zwiększenia bezpieczeństwa, jak i zdecydowane obniżki pojemnych napędów.

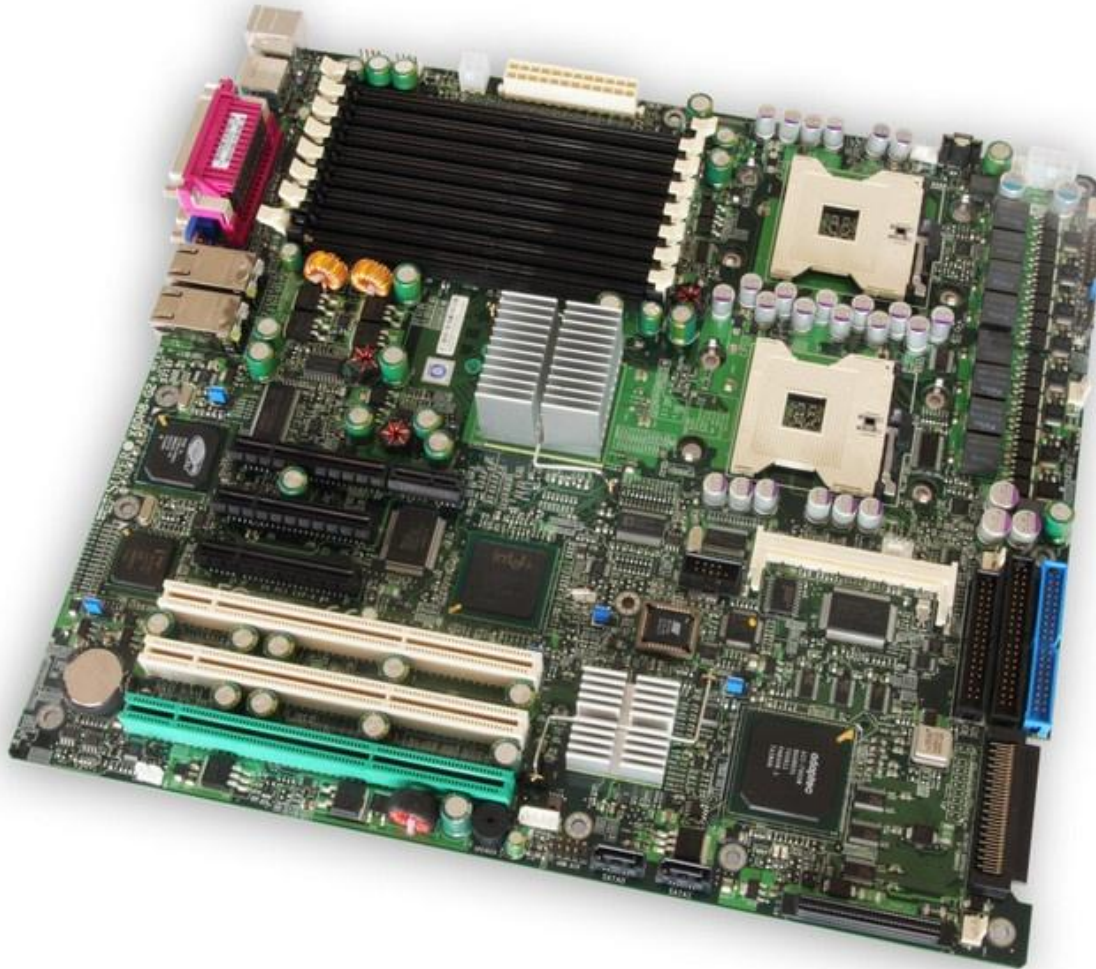
Rodzaje rozwiązań

- Rozwiązania sprzętowe
 - Kontrolery wewnętrzne
 - Macierze zewnętrzne
 - Płyta główna z wbudowanym kontrolerem
- Rozwiązania programowe
 - Windows NT, 2000, XP, Server 2003, 2007 i nowsze
 - Linux
 - Mac OS X Server

AMCC 8006-2LP KIT. Kontroler RAID, SATA, PCI 64 bit, 2 kanały, 2 HDD SATA



SuperMicro Server Mainboard (X6DH8-G2) + kontroler SCSI on-board (RAID 0,1,10 dla maks. 4 HDD)



Promise 3U VTrak E-Class Fibre Channel RAID VTE610fs



VTE610fs and VTE610fd

RAID programowy

- W przypadku programowego RAID za sterowanie zespołem dysków odpowiada oprogramowanie zainstalowane na komputerze. Niektóre z systemów operacyjnych mają już niezbędne składniki.
 - Windows NT obsługuje RAID 0 oraz RAID 1 i 5 - ten ostatni tylko w wersji serwerowej.
 - Linux obsługuje macierze poziomu 0, 1, 4 i 5.
- RAID programowy jest w wielu przypadkach najtańszym i najprostszym rozwiązaniem.
 - Oprogramowanie RAID bardzo obciąża procesor komputera,
 - Jest związane z konkretną platformą i systemem operacyjnym.
 - Zwykle są tylko jedno lub dwa złącza do podłączenia napędów, co ogranicza możliwości równoległych odwołań do dysków, a zatem i wydajność.

Rodzaje RAID

- RAID 0
- RAID 1
- RAID 2
- RAID 3
- RAID 4
- RAID 5
- RAID 6
- RAID 7

JBOD

- Nazwa tej konfiguracji wzięta się od angielskiego określenia **Just a Bunch of Driver** i jest standardową obsługą dysków twardych przy pomocy kontrolera macierzowego, który w tym wypadku pełni rolę najzwyklejszego kontrolera dysków twardych.
- Każdy z dysków obsługiwany jest oddzielnie jako pojedynczy napęd logiczny. Nie znajdziemy tutaj żadnych zabezpieczeń, dane nie są nadmiarowo zapisywane.

RAID 0 (stripping)

- Polega na połączeniu ze sobą dwóch lub więcej dysków fizycznych tak, aby były widziane jako jeden dysk logiczny.
 - Powstała przestrzeń ma rozmiar $N \times$ rozmiar najmniejszego z dysków.
 - Sumaryczna szybkość jest N -krotnością szybkości najwolniejszego z dysków
- Dane są przeplecione pomiędzy dyskami. Dzięki temu uzyskujemy znaczne przyśpieszenie operacji zapisu i odczytu ze względu na zrównoleglenie tych operacji na wszystkie dyski w macierzy.
- Warunkiem uzyskania takiego przyśpieszenia jest operowanie na blokach danych lub sekwencjach bloków danych większych niż pojedynczy blok danych macierzy RAID 0 - ang. *stripe unit size*.
- RAID-0 nie jest zaliczany do macierzy nadmiarowych, stąd też 0 w nazwie (określa brak dysków 'nadmiarowych' - których pojemność wykorzystywana jest przez macierz i nie jest dostępna dla użytkownika).

RAID 0

Dysk 1
A1
A3
A5
A7
A9

Dysk 2
A2
A4
A6
A8
A10

- Korzyści:
 - przestrzeń wszystkich dysków jest widziana jako całość
 - przyspieszenie zapisu i odczytu w porównaniu do pojedynczego dysku
- Wady:
 - brak odporności na awarię dysków
 - **N * rozmiar najmniejszego z dysków**
 - Zwiększenie awaryjności nie oznacza skrócenie żywotności dysków - zwiększa się teoretyczna możliwość awarii.
 - W przypadku RAID 0 utrata danych w przypadku awarii jednego z dysków jest tożsama z awarią, gdy posiadamy jeden dysk - uszkodzenie jednego dysku również powoduje utratę danych

RAID 0

- **Przykład 1**

- Trzy dyski po 500 GB zostały połączone w RAID 0. Powstała przestrzeń ma rozmiar 1,5 TB. Szybkość zapisu lub odczytu jest prawie trzykrotnie większa niż na pojedynczym dysku. Oczywiście sumaryczna szybkość jest 3-krotnością szybkości najwolniejszego z dysków, gdyż kontroler raid podczas zapisu/odczytu musi poczekać na najwolniejszy dysk. Stąd też sugeruje się dyski identyczne, o identycznej szybkości i pojemności.

- **Przykład 2**

- Trzy dyski: 160 GB, 500 GB i 80 GB zostały połączone w RAID 0. Powstała w ten sposób przestrzeń ma rozmiar taki jak $N \cdot \text{rozmiar najmniejszego z dysków}$, czyli $3 \cdot 80 \text{ GB} = 240 \text{ GB}$. Szybkość jest ograniczona szybkością najwolniejszego dysku, analogicznie do poprzedniego przykładu.

- **Zastosowanie RAID 0**

- Rozwiązanie do budowy tanich i wydajnych macierzy, służących do przetwarzania dużych plików multimedialnych. Przechowywanie danych na macierzy RAID 0 wiąże się ze zwiększonym ryzykiem utraty tych danych, w przypadku awarii jednego z dysków tracimy wszystkie dane.

RAID 1 (mirroring)

- Polega na replikacji pracy dwóch lub więcej dysków fizycznych. Powstała przestrzeń ma rozmiar pojedynczego nośnika. RAID 1 jest zwany również mirroringiem. Szybkość zapisu i odczytu zależy od zastosowanej strategii:
- Zapis:
 - zapis sekwencyjny na kolejne dyski macierzy - czas trwania operacji równy sumie czasów trwania wszystkich operacji
 - zapis równoległy na wszystkie dyski macierzy - czas trwania równy czasowi trwania operacji na najwolniejszym dysku
- Odczyt:
 - odczyt sekwencyjny z kolejnych dysków macierzy (ang. *round-robin*) - przy pewnej charakterystyce odczytów możliwe osiągnięcie szybkości takiej jak w RAID 0
 - odczyt wyłącznie ze wskazanych dysków - stosowane w przypadku znacznej różnicy w szybkościach odczytu z poszczególnych dysków

RAID 1

Dysk 1
A1
A2
A3
A4
A5

Dysk 2
A1
A2
A3
A4
A5

- Korzyści:
 - odporność na awarię $N - 1$ dysków przy N -dyskowej macierzy
 - możliwe zwiększenie szybkości odczytu
- Wady:
 - zmniejszona szybkość zapisu
 - utrata pojemności (całkowita pojemność jest taka jak pojemność najmniejszego dysku)

RAID 1

- **Przykład 1**

- Trzy dyski po 250GB zostały połączone w RAID 1. Powstała w ten sposób przestrzeń ma rozmiar 250 GB. Jeden lub dwa dyski w pewnym momencie ulegają uszkodzeniu. Cała macierz nadal działa.

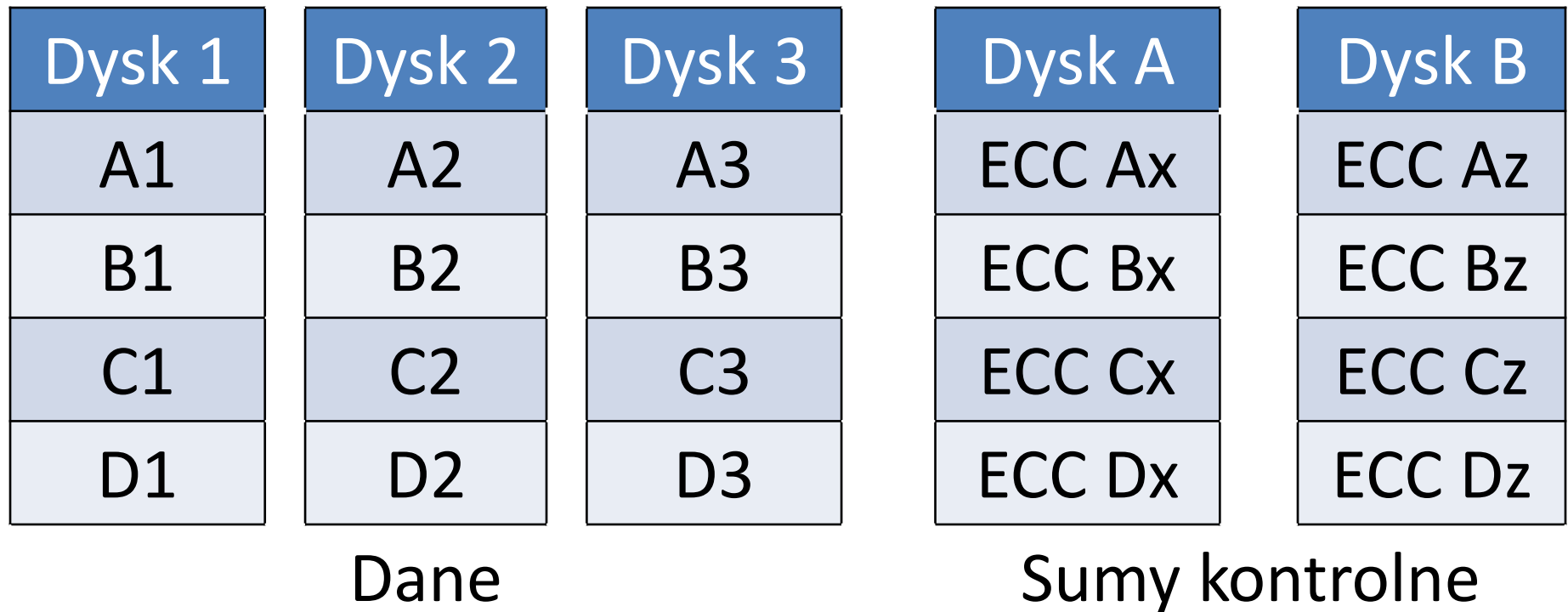
- **Zastosowanie RAID 1**

- Rozwiązanie jednocześnie bezpieczne, proste i wydajne. Nastawione jest głównie na ochronę danych.

RAID 2

- Dane na dyskach są dzielone na paski. Zapis następuje po 1 bicie na pasek.
 - RAID 2 używa w tym celu oprócz ośmiu bitów na dane dodatkowo dwóch bitów na kod ECC. W ten sposób można nie tylko wykryć błąd, ale również go zlokalizować.
- Podział bitowy na napędy wymusza zastosowanie nie mniej niż dziesięciu napędów w macierzy.
 - Potrzeba 8 powierzchni do obsługi danych oraz 2 dodatkowe dyski do przechowywania informacji generowanych za pomocą kodu Hamminga potrzebnych do korekcji błędów.
- Ze względu na możliwość równoległych odwołań szybkość odczytu wzrasta ośmiokrotnie, ale już podczas zapisu wydajność spada poniżej wydajności pojedynczego napędu - ze względu na duży stały blok ECC.
- Liczba dysków używanych do przechowywania tych informacji jest proporcjonalna do logarytmu liczby dysków, które są przez nie chronione.
- Połączone dyski zachowują się jak jeden duży dysk. Dostępna pojemność to suma pojemności dysków przechowujących dane.

RAID 2



- Kod Hamminga potrafi wykryć i skorygować przekłamanie 1 bitu.
- Działa na zasadzie sprawdzania bitu parzystości.

RAID 2

- Korzyści:
 - każdy dowolny dysk (zarówno z danymi jak i z kodem Hamminga) może w razie uszkodzenia zostać odbudowany przez pozostałe dyski
 - Możliwość naprawy błędów danych
- Wady:
 - konieczność dokładnej synchronizacji wszystkich dysków zawierających kod Hamminga (w przeciwnym wypadku dezorganizacja i całkowita nieprzydatność tych dysków)
 - długotrwałe generowanie kodu Hamminga przekładające się na wolną pracę całego systemu
- **Zastosowanie RAID 2**
- Rozwiązanie było przydatne w dyskach i układach, które nie miały kontroli poprawności danych.
- Obecnie stosowany wyłącznie w maszynach typu mainframe, gdzie jest wymagany bardzo wysoki poziom ochrony danych.

RAID 3

- Dane składowane są na N-1 dyskach. Ostatni dysk służy do przechowywania sum kontrolnych.
- Działa jak RAID 0, ale w macierzy jest dodatkowy dysk, na którym zapisywane są kody parzystości obliczane przez specjalny procesor, przez co kontrolery potrzebne do przekierowania.

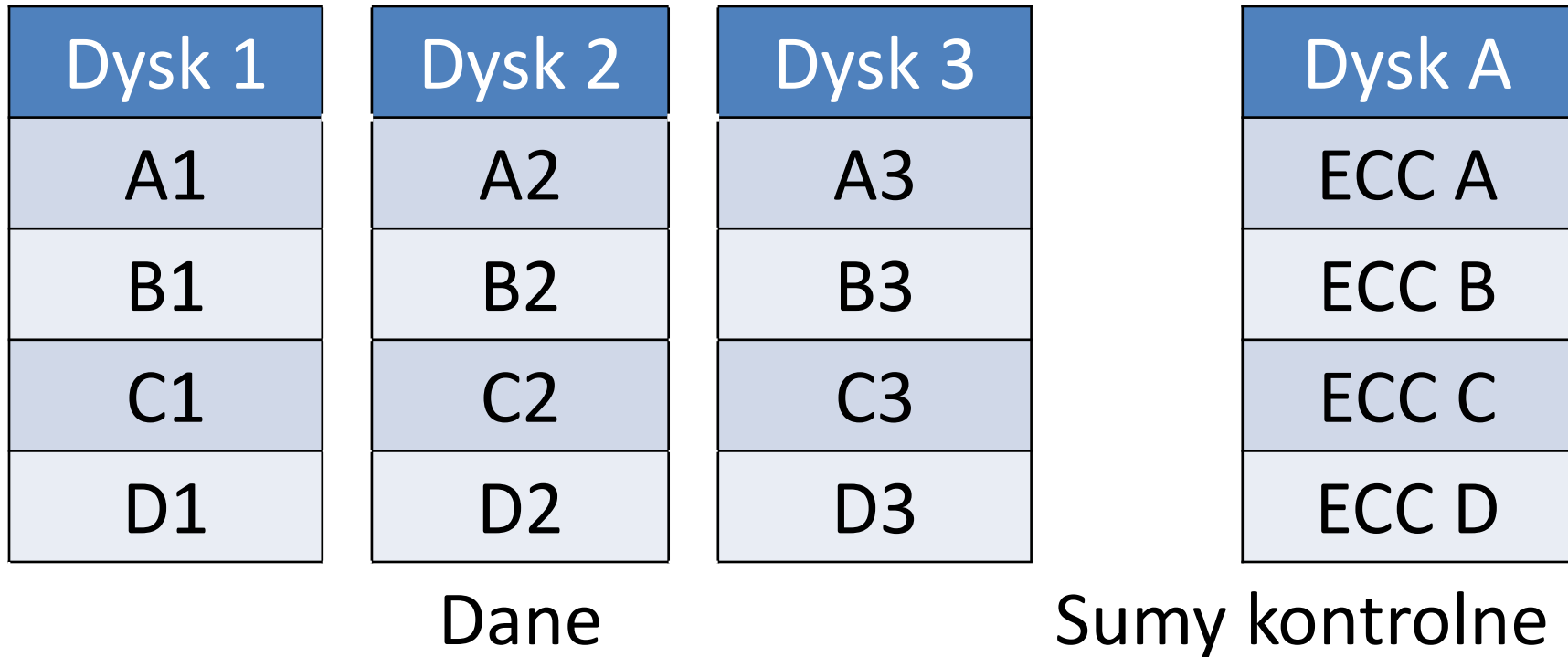
RAID 3

- Korzyści:
 - odporność na awarię 1 dysku
 - zwiększona szybkość odczytu
- Wady:
 - zmniejszona szybkość zapisu z powodu konieczności kalkulowania sum kontrolnych (eliminowana poprzez zastosowanie sprzętowych kontrolerów RAID)
 - w przypadku awarii dysku dostęp do danych jest spowolniony z powodu obliczeń sum kontrolnych
 - odbudowa macierzy po wymianie dysku jest operacją kosztowną obliczeniowo i powoduje spowolnienie operacji odczytu i zapisu
 - pojedynczy, wydzielony dysk na sumy kontrolne zazwyczaj jest wąskim gardłem w wydajności całej macierzy
- **Zastosowanie RAID 3**
- RAID 3 może zwiększyć szybkość w wyniku równoległych odwołań tylko podczas odczytu dużych plików, więc to rozwiązanie stosuje się głównie do przetwarzania dużych, powiązanych ilości danych w pojedynczych komputerach. Typowe zastosowania to CAD/CAM i obróbka wideo.

RAID 4

- RAID 4 jest bardzo zbliżony do RAID 3, z tą różnicą, że dane są dzielone na większe bloki (16, 32, 64 lub 128 kB). Takie pakiety zapisywane są na dyskach podobnie do rozwiązania RAID 0.
 - Dla każdego rzędu zapisywanych danych blok parzystości zapisywany jest na dysku parzystości.
- Przy uszkodzeniu dysku dane mogą być odtworzone przez odpowiednie operacje matematyczne. Parametry RAID 4 są bardzo dobre dla sekwencyjnego zapisu i odczytu danych (operacje na bardzo dużych plikach).
- Jednorazowy zapis małej porcji danych potrzebuje modyfikacji odpowiednich bloków parzystości dla każdej operacji I/O. W efekcie, za każdym razem przy zapisie danych system czekałby na modyfikacje bloków parzystości, co przy częstych operacjach zapisu bardzo spowolniłoby pracę systemu.

RAID 4



- Sumy te powstają z wyliczeń matematycznych.

RAID 4

- Korzyści:
 - odporność na awarię 1 dysku
 - zwiększona szybkość odczytu
- Wady:
 - odbudowa macierzy po wymianie dysku jest operacją kosztowną obliczeniowo i powoduje spowolnienie operacji odczytu i zapisu
 - pojedynczy, wydzielony dysk na sumy kontrolne zazwyczaj jest wąskim gardłem w wydajności całej macierzy
 - Szybkość zapisu mniejsza niż w RAID 3
- **Zastosowanie RAID 4**
- RAID 4 może zwiększyć szybkość w wyniku równoległych odwołań tylko podczas odczytu dużych plików, więc to rozwiązanie stosuje się głównie do przetwarzania dużych, powiązanych ilości danych w pojedynczych komputerach.
- Typowe zastosowania to CAD/CAM i obróbka wideo.

RAID 5

- W RAID 5 bity parzystości są rozpraszane po całej strukturze macierzy.
- RAID 5 umożliwia odzyskanie danych w razie awarii jednego z dysków przy wykorzystaniu danych i kodów korekcyjnych zapisanych na pozostałych dyskach (zamiast tak jak w 3. na jednym specjalnie do tego przeznaczonym, co nieznacznie zmniejsza koszty i daje lepsze gwarancje bezpieczeństwa).
- RAID 5 oferuje większą prędkość odczytu niż mirroring ale przy jego zastosowaniu nieznacznie spada prędkość zapisu. Poziom piąty jest całkowicie bezpieczny dla danych - w razie awarii system automatycznie odbuduje utracone dane, tak by mogły być odczytywane, zmniejszając jednak bieżącą wydajność macierzy. Spowolnienie jest chwilowe. Po zamontowaniu nowego dysku i odtworzeniu danych wydajność macierzy wraca do normy.
- Macierz składa się z 3 lub więcej dysków. Przy macierzy liczącej N dysków jej objętość wynosi $N - 1$ dysków. Przy łączeniu dysków o różnej pojemności otrzymujemy objętość najmniejszego dysku razy $N - 1$. Sumy kontrolne danych dzielone są na N części, przy czym każda część składowana jest na innym dysku, a wyliczana jest z odpowiedniego fragmentu danych składowanych na pozostałych $N-1$ dyskach.

RAID 5

Dysk 1	Dysk 2	Dysk 3	Dysk 4
A1	A2	A3	ECC A
B1	B2	ECC B	B3
C1	ECC C	C2	C3
ECC D	D1	D2	D3

Dane i Sumy kontrolne

- Sumy te powstają z wyliczeń matematycznych.

RAID 5

- **Korzyści:**
 - odporność na awarię jednego dysku
 - zwiększona szybkość odczytu - porównywalna do macierzy RAID 0 złożonej z N-1 dysków
- **Wady:**
 - zmniejszona szybkość zapisu z powodu konieczności kalkulowania sum kontrolnych (eliminowana poprzez zastosowanie sprzętowego kontrolera RAID5)
 - w przypadku awarii dysku dostęp do danych jest spowolniony z powodu obliczeń sum kontrolnych
 - odbudowa macierzy po wymianie dysku jest operacją kosztowną obliczeniowo i powoduje spowolnienie operacji odczytu i zapisu
- **Zastosowanie RAID 5**
- Operacje zapisu są w RAID 5 w dużej mierze równoległe, a obciążenie mechaniczne rozkłada się równomiernie na wszystkie dyski, gdyż żaden z nich nie ma specjalnego statusu dysku parzystości.
- Rozdział danych na wszystkie napędy daje korzyści w postaci dobrej wydajności odczytu, co jest szczególnie ważne przy odwołaniach do wielu małych bloków danych. Z tego powodu macierz RAID 5 jest stosowana zwłaszcza w systemach bazodanowych i serwerach transakcyjnych.
- RAID 5 dobrze łączy się z RAID 0 – takie połączenie określa się jako RAID 0+5 lub RAID 50. RAID 0+5 oferuje równie dobrą wydajność, a jednocześnie gwarantuje większą odporność na awarie niż RAID 5

RAID 5

- Macierz RAID 5 pozwala skorzystać z ilości miejsca, która jest równa pojemności najmniejszego nośnika pomnożonej przez liczbę dysków minus 1.
- Przykład
- W systemie jest 5 dysków o pojemnościach 3 TB, 4 TB, 4 TB, 4,5 TB, 6TB.
- Najmniejszy dysk to 3 TB, więc pojemność dostępna to $3 \text{ TB} * (5-1) = 3 \text{ TB} * 4 = 12 \text{ TB}$.

RAID 6

- Rozbudowana macierz typu 5 (często pojawia się zapis RAID 5+1). Zawiera dwie niezależne sumy kontrolne. Kosztowna w implementacji, ale dająca bardzo wysokie bezpieczeństwo.
 - W systemach RAID 3 do 5 dopuszczalna jest awaria tylko jednego dysku, gdyż w przeciwnym razie nie da się zrekonstruować danych za pomocą operacji XOR.
- RAID 6 obchodzi to ograniczenie, uzupełniając RAID 5 o dodatkowy dysk parzystości. W ten sposób dane można odzyskać nawet po awarii dwóch dysków, jednak dodatkowe bezpieczeństwo okupione jest spowolnieniem zapisu w porównaniu z RAID 3 do 5.

RAID 6

Dysk 1	Dysk 2	Dysk 3	Dysk 4	Dysk 5
A1	A2	A3	ECC A ₁	ECC A ₂
B1	B2	ECC B ₁	ECC B ₂	B3
C1	ECC C ₁	ECC C ₂	C2	C3
ECC D ₁	ECC D ₂	D1	D2	D3

Dane i Sumy kontrolne

- Sumy te powstają z wyliczeń matematycznych.

RAID 6

- Korzyści:
 - odporność na awarię maksimum 2 dysków
 - szybkość pracy większa niż szybkość pojedynczego dysku
 - ekstremalnie wysokie bezpieczeństwo.
 - Korzystny dla macierzy wielu dysków
- Wady
 - Zapis trwa znacznie dłużej niż w RAID 3, 4, 5
 - Duży procent powierzchni dysków jest zajmowany przez sumy kontrolne (istotne dla niewielkiej liczby dysków).
- **Zastosowanie RAID 6**
- Rozwiązanie zapewnia bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa – stąd jest stosowany w bazach danych i układach kontrolnych, gdzie są wymagane dodatkowe sumy kontrolne.

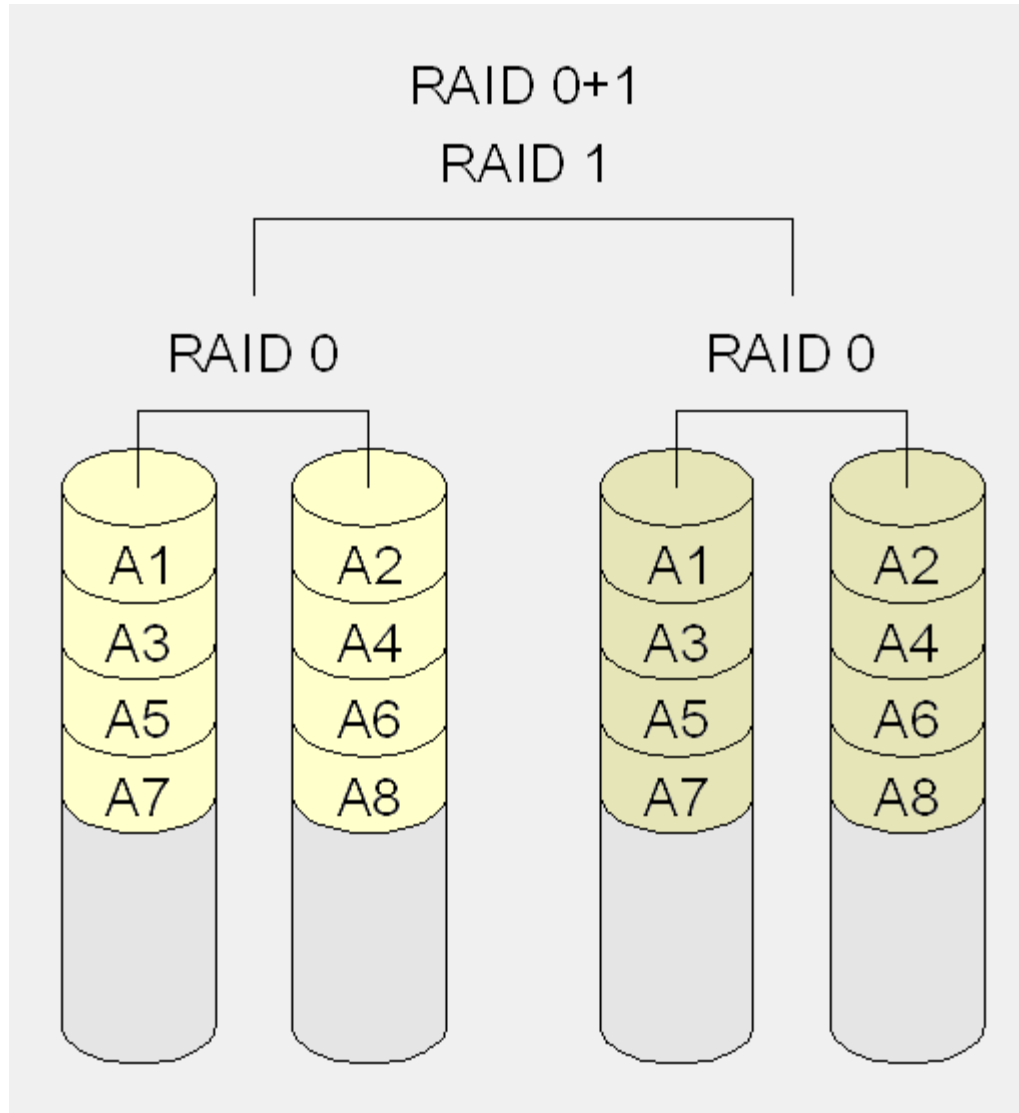
RAID 7

- Poziom 7 nie jest standardem – stanowi wizytówkę firmy Storage Computer Systems. Konfiguracja ta łączy koncepcje poziomu 3 i 4 a opiera się na zastosowaniu wymyślnego kontrolera z pamięcią podręczną o dużej pojemności.
- Jej producent, firma Storage Computer, stosuje w kontrolerze dodatkowy, lokalny system operacyjny, działający w czasie rzeczywistym.
 - Szybkie magistrale danych i duże pamięci buforowe odciążają właściwą magistralę napędów.
 - Technika ta znacząco przyśpiesza zapis i odczyt w porównaniu z innymi wariantami RAID.
 - Ponadto, podobnie jak w RAID 6, można rozłożyć dane parzystości na wiele dysków.

RAID 0+1

- Macierz realizowana jako RAID 1, którego elementami są macierze RAID 0.
- Macierz taka posiada zarówno zalety macierzy RAID 0 - szybkość w operacjach zapisu i odczytu - jak i macierzy RAID 1 - zabezpieczenie danych w przypadku awarii pojedynczego dysku.
- Pojedyncza awaria dysku powoduje, że całość staje się w praktyce RAID 0. Potrzebne są minimum 4 dyski o tej samej pojemności. Wymagana jest parzysta ilość dysków.
- Korzyści:
 - szybkość macierzy RAID 0
 - bezpieczeństwo macierzy RAID 1 - w szczególnym wypadku nawet większa (awaria więcej niż jednego dysku tego samego mirrora)
 - znacznie prostsza w implementacji niż RAID 3, 5 i 6
- Wady:
 - większy koszt przechowywania danych niż w przypadku RAID 0,2,3,4,5,6

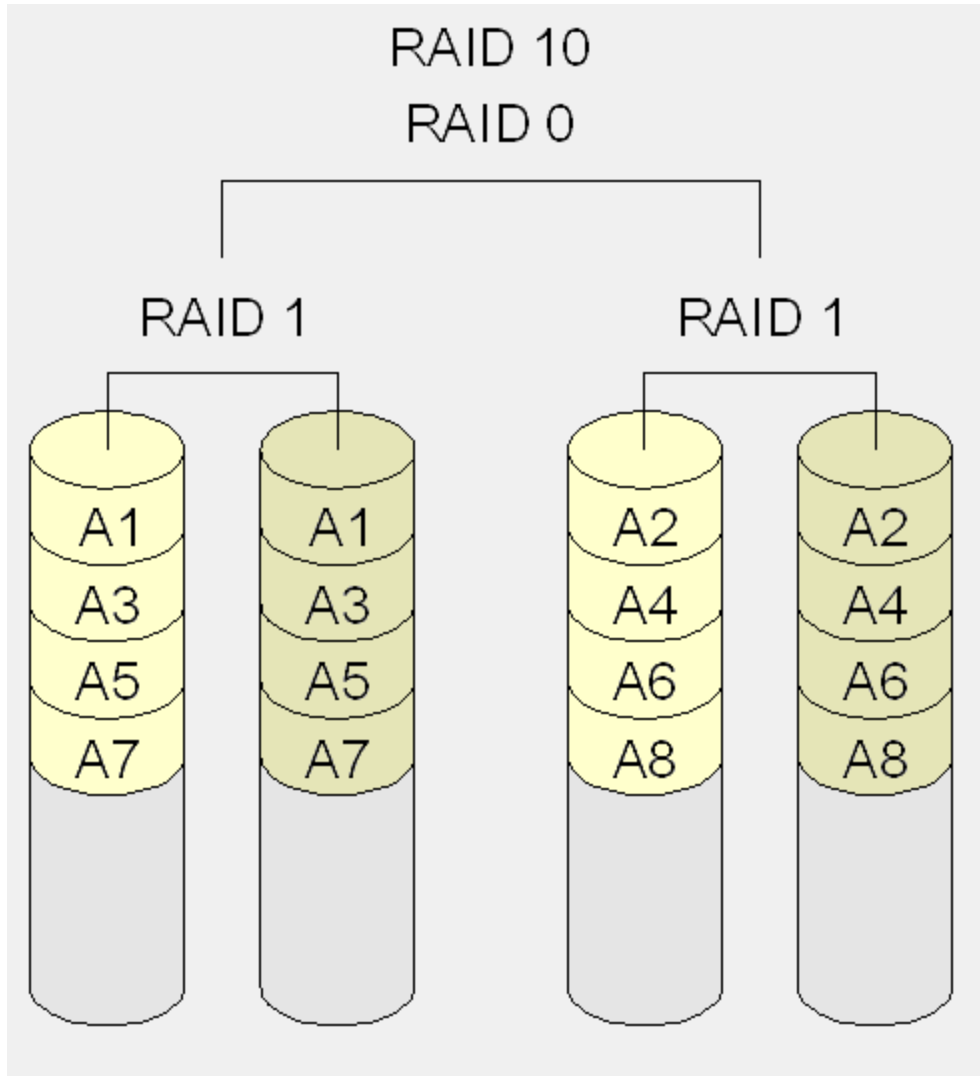
RAID 0+1



RAID 1+0

- Nazywana także RAID 10. Macierz realizowana jako RAID 0, którego elementami są macierze RAID 1. Wymagana jest parzysta ilość dysków.
- W porównaniu do swojego poprzednika (RAID 0+1) realizuje tę samą koncepcję połączenia zalet RAID 0 (szybkość) i RAID 1 (bezpieczeństwo) lecz w odmienny sposób.
- Tworzony jest duży stripe małych mirrorów, dzięki czemu podczas wymiany uszkodzonego dysku odbudowywany jest tylko fragment całej macierzy.
- Korzyści:
 - szybkość macierzy RAID 0
 - bezpieczeństwo macierzy RAID 1 - w szczególnym wypadku nawet większa (awaria więcej niż jednego dysku **różnych** mirrorów)
 - znacznie prostsza w implementacji niż RAID 3, 5 i 6
- Wady:
 - większy koszt przechowywania danych niż w przypadku RAID 0,2,3,4,5,6

RAID 1+0



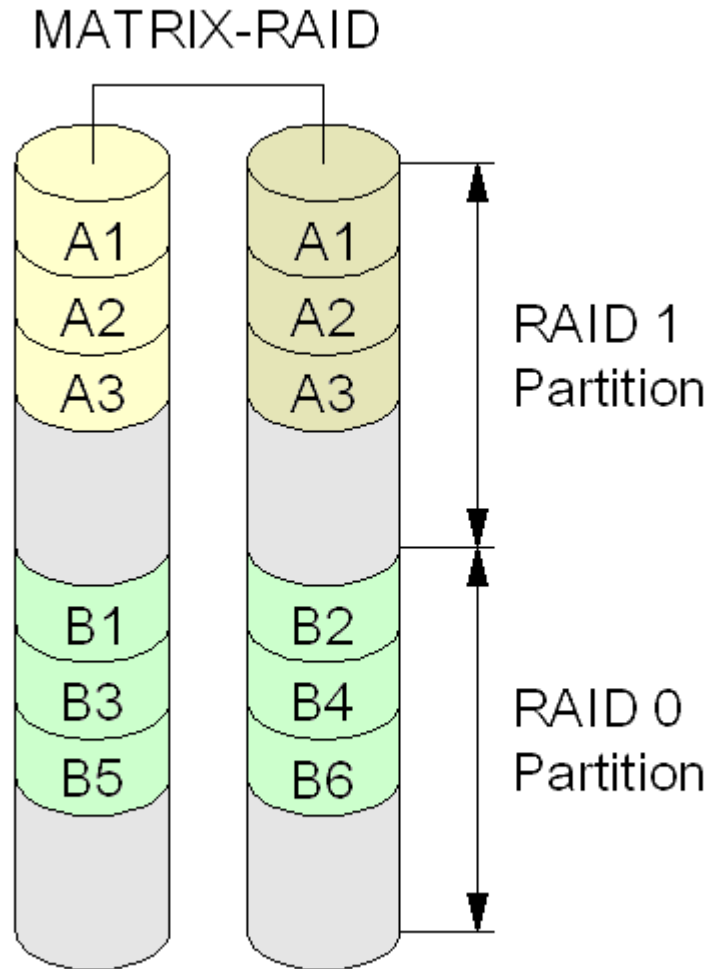
Matrix RAID

- Dwa dyski fizyczne łączone są ze sobą tak, aby część dysku działała jak RAID 0 (*striping*), a inna część jak RAID 1 (*mirroring*).
- Tworzy się układy RAID na poziomie logicznych partycji dyskowych, niezależnie dla każdej z partycji.
- Korzyści:
 - ważne pliki, takie jak dokumenty czy informacje systemowe, mogą być duplikowane na obu dyskach (np. katalogi **/home**, **/var** w Linuksie czy **C:\Documents and Settings** w Windowsie);
 - mniej istotne dane, na których często wykonywane są operacje dyskowe, pliki i biblioteki systemu operacyjnego (np. **/usr**, **C:\WINDOWS**), pliki wykonywalne bądź biblioteki zainstalowanych aplikacji (np. **/usr**, **C:\Program Files**), pliki/partycje wymiany, mogą być wykonywane ze zwiększoną szybkością.
- Wady:
 - częściowy spadek pojemności (część *mirrorowana*);
 - część danych jest podatna na awarię (część w *stripingu*).

Matrix RAID

- **Przykład**
- Dwa identyczne dyski 10 GB zostały połączone w Matrix RAID.
 - Utworzono na nich dwie partycje – każda zajmuje połowę każdego dysku.
 - Pierwsza polega na dzieleniu danych (*striping*) i ma pojemność 10 GB, druga polega na duplikowaniu (*mirroring*) ma 5 GB.
- **Charakterystyka**
 - Pierwsza z nich charakteryzuje się teoretycznie dwukrotną prędkością wykonywania na niej operacji zarówno przy odczycie, jak i zapisie danych.
 - Druga zaś gwarantuje bezpieczeństwo danych w razie awarii jednego z dysków, podwójną prędkość odczytu oraz pojedynczą prędkość zapisu.

Matrix RAID

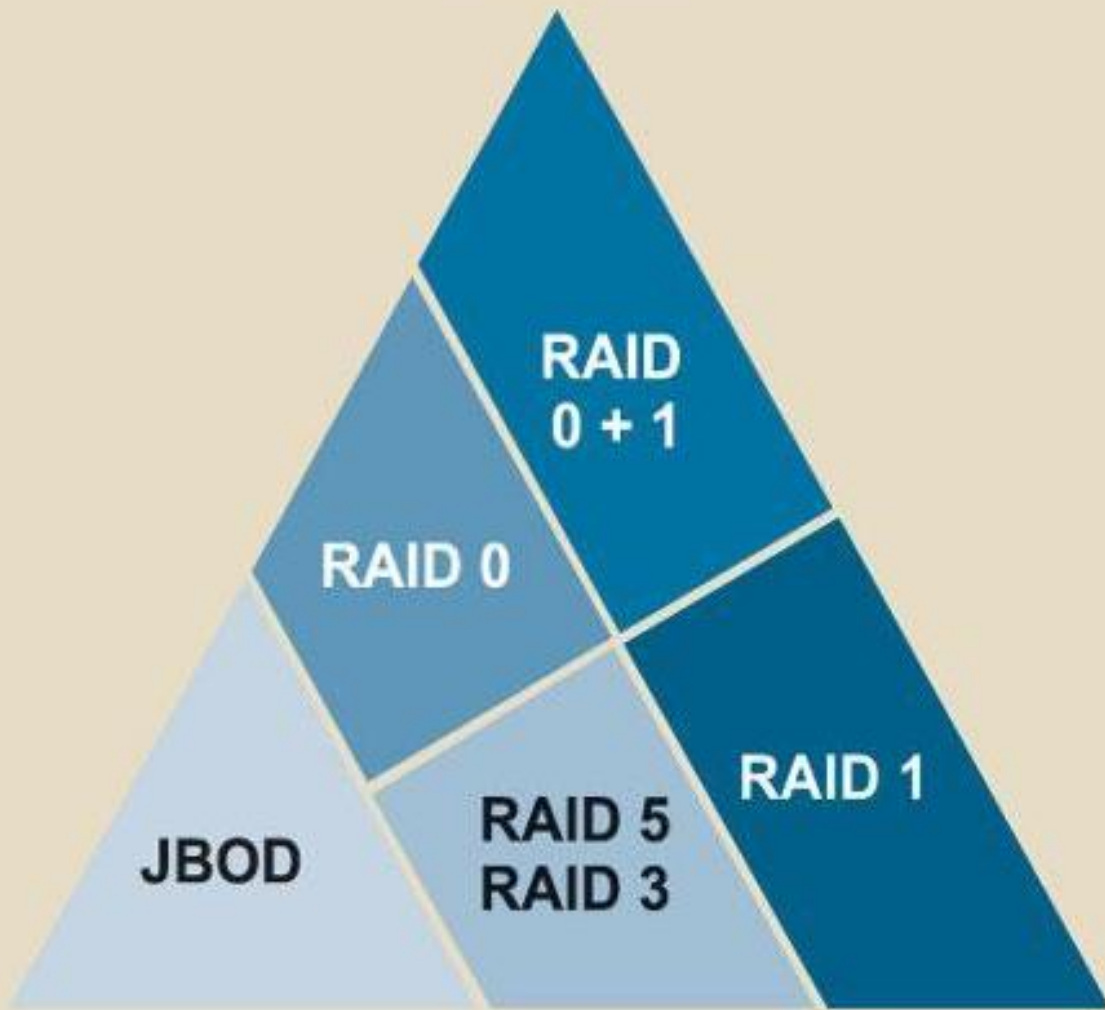


Tryby pracy macierzy RAID

- Dysk logiczny, czy w naszym przypadku macierz dysków fizycznych, może znajdować się w którymś z czterech stanów:
 - **optima** - jest to normalna praca dysku twardego,
 - **degraded** - prawidłowa praca dysku logicznego, ale jeden lub więcej dysków twardych uległo awarii,
 - **rebuild** - proces konstruowania danych poprzez system, przy przechodzeniu od stanu degraded do stanu optima, do prawidłowego działania wymagana jest naprawa lub zastąpienie dysku wadliwego, sprawnym dyskiem fizycznym,
 - **dead** - system nie jest w stanie pracować, w stanie tym uszkodzone są wszystkie dyski fizyczne, przy braku możliwości odtworzenia zapisanych wcześniej danych.

	Minimalna liczba dysków	Ilość dostępnego miejsca	Maksymalna liczba dysków, które mogą ulec awarii bez utraty danych		
RAID 0	2	N	0		
RAID 1	2	1	N-1		
RAID 2	2	$N - \log N$	1		
RAID 3	2	N-1	1		
RAID 4	2	N-1	1		
RAID 5	2	N-1	1		
RAID 6	2	N-2	2		
RAID 1+0	$4+N*2$	N/2	1		
RAID 0+1	$4+N*2$	N_0	1		

Najwyższa wydajność



RAID 0 + 1

RAID 0

RAID 1

JBOD

RAID 5
RAID 3

Najmniejsze koszty

Najwyższa dostępność

Podsumowanie

- Macierze nie likwidują niebezpieczeństwa utraty danych.
- Niezawodność bliską całkowitej uzyskują podsystemy pamięci masowych, w których wszystkie komponenty, łącznie z kontrolerem, zasilaczem i wentylatorami, są wykonane nadmiarowo.
- Nieodwracalna utrata danych zdarza się najczęściej nie w wyniku awarii sprzętu, lecz wskutek błędów człowieka. Nawet najbezpieczniejsza macierz nie pomoże odzyskać usuniętych lub uszkodzonych plików.
- Nawet gdy dysponuje się najbardziej wyrafinowaną macierzą RAID, należy pamiętać o podstawowej zasadzie - naprawdę skuteczna ochrona przed utratą danych to regularne wykonywanie dobrze zaplanowanych kopii bezpieczeństwa

BIOS i RAID

The screenshot displays the BIOS Setup Utility interface. At the top, a blue header reads "BIOS SETUP UTILITY". Below it, a sub-header "Advanced" is visible. The main area is divided into two columns. The left column, titled "IDE Configuration", contains the following items: "Serial-ATA Devices [Disabled]", "nVidia RAID Setup" (indicated by a blue arrow), "Hard Disk Write Protect", and "IDE Detect Time Out (Sec)". A small blue box with a white border is overlaid on the "nVidia RAID Setup" area, containing the text "Options", "Disabled", "Device 0", "Device 0/1", and "Device 0/1/2". The right column, titled "Options", lists "Disabled", "Device 0", "Device 0/1", and "Device 0/1/2". At the bottom right of the main area, a legend lists navigation keys: left arrow for "Select Screen", up/down arrows for "Select Item", plus/minus for "Change Option", F1 for "General Help", F10 for "Save and Exit", and ESC for "Exit". A blue footer at the very bottom contains the text "v02.61 (C) Copyright 1985-2006, American Megatrends, Inc."

BIOS i tryby dysku SATA

