

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

SSD disky
Jan Kotek

Bakalářská práce
2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KOTEK**
Studijní program: **B6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Informační a bezpečnostní systémy**
Název tématu: **SSD disky**
Zadávací katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Posouzení vhodnosti využití SSD disků pro využití v pracovních stanicích a serverech.
Výhody a nevýhody, ekonomická náročnost a návratnost, bezpečnost, spolehlivost, vhodnost SSD z technického hlediska, alternativní řešení.
Návrh vzorového řešení pro server a pracovní stanici, výhody a nevýhody navrženého řešení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

BROŽA P., KUCHAR M., JAHODA M.: Bible Hardwaru, B4U Publishing, 2009

MESSMER H. P., DEMBOWKI K.: Velká kniha hardware, Computer Press, 2005

SEDLÁK J.: Megatest 19 SSD a HDD disků. Computer, roč. 09, č.5, str.72-80, CPress Media, 12. března 2009

Hard disk vs. solid-state drive [online], 2009 [cit. 2009-06-11], Dostupný z WWW: (<http://www.computerworld.com/action/article.do?command=viewArticleBasic&articleId=9134468>)



Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Novák

Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **5. října 2009**


Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2010**



doc. Ing. Renáta Myšková, Ph.D.

děkanka

L.S.



doc. Ing. Jiří Křupka, Ph.D.

vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 5. října 2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 30. 6. 2010

Jan Kotek

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá posouzením vhodnosti SSD disků v pracovních stanicích a serverech. Teoretická část je zaměřena na definici pojmů a seznámení se s technologií flash pamětí. V praktické části jsou ukázány oblasti využití SSD disků a navržena vzorová řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Disk bez pohyblivých částí (SSD), Pevný disk (HDD), Jednoúrovňová buňka (SLC), Víceúrovňová buňka (MLC)

TITLE

SSD drives

ANNOTATION

This bachelour work deals with considering of SSD and their using on workstations and servers. Theoretical part is focused on definition of terms and familiarization with flash technology. Practical part consist of showing where SSD can be use and proposal of model solutions.

KEYWORDS

Solid-state drive (SSD), Hard-disk drive (HDD), Single-layer cell (SLC), Multi-layer cell (MLC)

OBSAH

ÚVOD	6
1 TECHNOLOGIE PEVNÝCH DISKŮ	8
1.1 PEVNÝ DISK	8
1.2 RAM DISK	10
1.3 DISKOVÁ POLE	11
2 TECHNOLOGIE FLASH PAMĚTÍ	13
2.1 PAMĚŤOVÁ BUŇKA	13
2.2 VÝVOJ FLASH PAMĚTÍ	15
2.2.1 NOR flash	15
2.2.2 NAND flash	16
2.2.3 Jednoúrovňové a víceúrovňové buňky	17
2.3 POROVNÁNÍ PAMĚTÍ	18
3 SSD DISKY	20
3.1 FLASH SSD	20
3.1.1 Spolehlivost SSD	20
3.1.2 Životnost SSD	21
3.1.3 Řazení požadavků	23
3.1.4 Problém výkonu SSD	24
3.1.5 Architektura flash SSD	26
3.1.6 Výhody a nevýhody	28
3.2 RAM SSD	31
3.3 HYBRIDNÍ DISKY	32
4 SSD V PRAXI	34
4.1 OBLAST POUŽITÍ	36
4.1.1 Přenosné počítače	36
4.1.2 Pracovní stanice	37
4.1.3 Servery	38
4.2 VZOROVÉ ŘEŠENÍ	40
4.2.1 Řešení pro pracovní stanice	40
4.2.2 Řešení pro servery	48
ZÁVĚR	55
SEZNAM ZKRATEK	56
POUŽITÉ ZDROJE	58

ÚVOD

Moderní informační společnost je dnes spojena s neustálou potřebou získávání, zpracování a ukládání informací různého typu. Nejsnazším způsobem, který lze volit pro práci s informacemi, je jejich ukládání v digitální formě. Objem vytvářených a uchovávaných informací se každoročně zvyšuje a s tím úměrně stoupají požadavky na jejich rychlé čtení, zápis a celkovou kapacitu datového úložiště.

Nejběžnějším zařízením pro ukládání digitálních dat je elektromagnetický pevný disk označovaný jako HDD (Hard Disk Drive). V dnešní době je však pevný disk stále jedním z nejpomalejších komponent v počítači. Nová technologie, v podobě flash pamětí tak může mít šanci jej zcela nahradit.

V době, kdy první výrobci začali nabízet první použitelné a dostupné řešení v podobě Solid State Drive (SSD), byla jejich cena, kapacita, ale i rychlost tak nezajímavá, že se nesetkaly s přílišnou odezvou trhu. Technologie však pokročila a poslední dobou se o SSD discích opět začíná hovořit. Vysoký výkon, mnohonásobně převyšující možnosti klasických disků dávají SSD diskům velké šance se prosadit v oblasti ukládání dat. Existuje jeden faktor, který celý postup zpomaluje, a tím je cena.

Oblast použití SSD disků je dnes tak hlavně otázkou peněz. Pro společnosti je důležité finančně ohájit přínosy těchto zařízení a běžní uživatelé musí pochopit, jaké výhody jim SSD přinesou.

Cílem práce je posoudit vhodnost využití SSD disků v pracovních stanicích a serverech. Tedy zda tyto disky mohou být lepší alternativou pro stávající pevné disky, a to jak v domácnosti, tak i ve firmě.

Dílními cíli práce jsou pak definice základních pojmů souvisejících s problematikou flash pamětí a disků, analýza výhod a nevýhod jednotlivých typů zařízení s konkrétními příklady a následné návrhy vzorových řešení pro pracovní stanici a server. Podívám se také na možné využití SSD disků v praxi a připravím tím jakýsi postup jak správně vybírat mezi těmito zařízeními v případě, že se rozhodnu využít této „nové“ technologie.

První část práce vymezuje pojem pevného disku, v současné době nepoužívanějšího zařízení pro ukládání dat na pracovních stanicích a serverech. Jsou zde uvedeny jeho specifika, výhody a nevýhody, tak aby jej bylo možné co nejlépe porovnat s SSD disky.

Druhá část je zaměřena na technologii flash. Je zde popsáno, jak vypadá paměťová buňka, její způsob čtení a programování a jaké existují typy flash pamětí. Samotné SSD disky a jejich typy, výhody a nevýhody, je pak předmětem třetí části práce.

V poslední, čtvrté, části je ukázáno jakým způsobem může být SSD disk využit v praxi. Tedy oblasti, způsob použití a možné alternativy řešení.

Jako zdroj informací pro tuto práci byl použit rozbor odborné literatury a internetových zdrojů výrobců zabývajících se technologiemi pevných disků, flash pamětí a SSD.

1 TECHNOLOGIE PEVNÝCH DISKŮ

V současné době valná většina pracovních stanic i serverů používá klasické pevné disky. Má tedy nový typ zařízení pro ukládání dat šanci tyto disky nahradit? Abych mohl posoudit vhodnost SSD disků, je nutné se podívat nejdříve na současný stav pevných disků a následně je porovnat s disky SSD.

1.1 PEVNÝ DISK

Jeho hlavním úkolem je uchování dat, s nimiž mikroprocesor momentálně nepracuje, ale která si v případě potřeby načte. Důležité je, že vypnutí počítače nezpůsobí ztrátu dat uložených v těchto pamětech.

Paměti pracující na magnetickém principu mají podle Horáka [1] několik částí:

- médium, na němž jsou uložena data,
- magnetické hlavy pro vlastní zápis a čtení dat,
- mechaniku pohybující hlavami,
- motorek točící diskem,
- elektroniku disku řídící práci disku, umístěnou na plošném spoji na disku (v podstatě část řadiče),
- desku rozhraní (řadič, controller), zajišťující připojení disku k základní desce (zpravidla ji najdeme integrovanou na základní desce PC), kde je vyveden také konektor pro připojení datového kabelu disku.

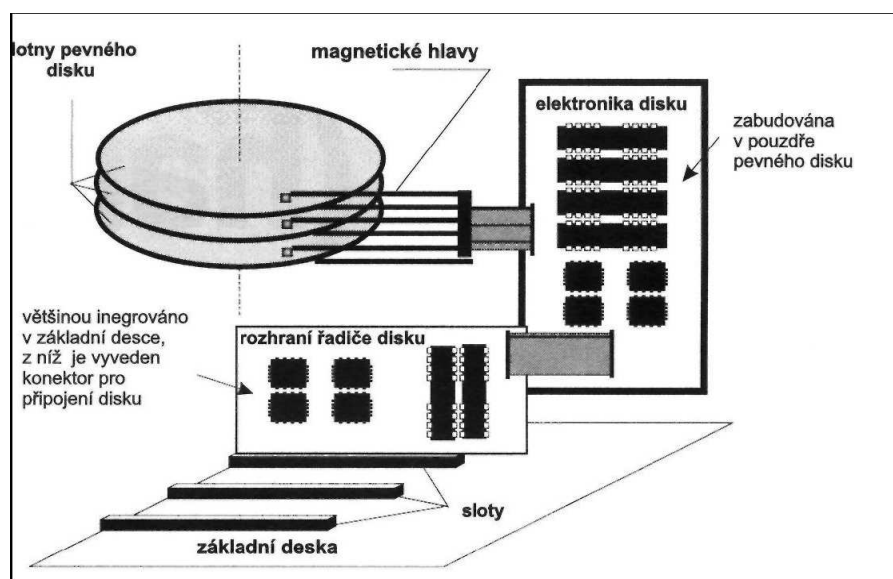
Datové médium pevného disku je složeno z tuhých kotoučů (používá se výraz plotna) umístěných v několika patrech nad sebou (obrázek 1). Data se zapisují do magnetické vrstvy nanesené na každý jednotlivý kotouč.

S magnetickým povrchem disků pracují magnetické čtecí/zápisové hlavy. Hlavy se u pevných disků nepohybují po povrchu disku (plotny), ale vznášejí se nad ním. V běžných discích plotny rotují rychlostí 7 200 ot/min, vyšší třída disků do pracovních stanic se točí rychlostí 10 000 ot/min a u některých serverových disků i 15 000 ot/min. Standardní 3,5" palcové disky mají až 4 plotny a 8 hlav (po jedné hlavě z obou stran plotny). Vznášení hlav zajišťuje aerodynamický vztlak vznikající nad roztočeným diskem. Protože hlavy plují nad diskem, nedochází ke tření mezi hlavou a diskem. Pevné disky tak vynikají vysokou trvanlivostí a spolehlivostí. Vzdálenost vznášejících se hlav nad diskem je několik mikrometrů. Drobné

zrnko prachu by pak mohlo způsobit rýhu v disku a znehodnocení dat. Z tohoto důvodu jsou pevné disky uloženy ve vzduchotěsném pouzdře. [2, 3]

Otáčky disku společně s hustotou záznamu a rychlostí vystavovacího mechanismu určují celkový výkon disku. Průměrný (střední) čas, za který je disk připraven číst nebo zapisovat data se označuje jako přístupová doba. V současné době je okolo 8,5 ms, u disků s 15 000 ot/min je to pod 4 ms. Počet čtení i přepsání uložené informace je při běžném používání téměř neomezený. Průměrné rychlosti čtení a zápisu se pak pohybují kolem 60-100MB/s. [2]

Kapacita pevných disků přes neustále překonávané překážky, stále roste a rozhodně to nevypadá, že by se měla z dnešní maximální kapacity pohybující se v TB u 3,5" disků brzo zastavit. Dnes se tak pevné disky díky svému příznivému poměru ceny za gigabyte hodí i pro zálohování velkého množství dat.



Obrázek 1 - Pevný disk [1]

Jako nevýhody lze uvést mechanické řešení, které má poměrně vysokou spotřebu elektrické energie (průměrně 8-10W, u disků s vysokými otáčkami, při jejich plném vytížení), je náchylné na poškození při nešetrném zacházení (pád, náraz apod.) a relativně vysoká hmotnost. Při mechanickém rázu se může čtecí hlava dotknout povrchu plotny, jejíž záznamová vrstva je velice citlivá na mechanické poškození a proto se poškozená oblast stane nečitelnou a data či celý disk jsou zničena. Částečnou ochranou proti nárazu hlaviček do

povrchu disku je tzv. parkování čtecích hlav, které funguje tak, že při vypnutí disku se automaticky uloží hlavy mimo datovou oblast. [1]

1.2 RAM DISK

RAM disk může být zjednodušeně definován jako operační paměť, která se začne chovat jako klasický pevný disk. Hodně populární býval v době operačního systému DOS, který dokázal využít jen 640kB RAM a tehdejší počítače mívaly i 1MB RAM. V poslední době se tato technologie stává opět populární s tím, jak závratně klesají ceny operačních pamětí. RAM disk tedy není žádný fyzický kus hardware, který by se klasicky připojil do počítače jako je to třeba u grafické karty či pevného disku. Jedná se o programy, které dokážou alokovat místo v operační paměti tak, že se tato RAM tváří jako klasický pevný disk se všemi důsledky.[4] Příkladem takového programu může být RamDisk Plus od společnosti Superspeed.[5]

Obecně řečeno, RAM disk je přímo ideální místo pro stránkovací soubor. Z klasického pevného disku probíhá čtení sekvenčně, aby disk přečetl nějaká data, vždy musí přemístit hlavičku na správné místo. Tento mechanismus je ve své podstatě velmi zdlouhavý. Navíc, pokud současně s čtením stránkovacího souboru z disku čtou další programy, systém se zahltní a čeká na provedení všech I/O operací. RAM disk jednoduše tento problém řeší. Odlehčuje pevnému disku, se kterým nadále pracují pouze aplikace. Stránkovací soubor je v operační paměti, ze které probíhá čtení téměř instantně. Tedy rychlost čtení a zápisu závisí na operační paměti, která je vždy mnohonásobně rychlejší než pevný disk.

Nevýhodou RAM disku je pouze dočasný zápis dat. V momentě, kdy se vypne systém, data na RAM disku se ztratí. [4]

1.3 DISKOVÁ POLE

Nejedná se o další typ zařízení pro ukládání dat, ale spíše o způsob jak s pevnými disky pracovat ještě efektivněji. Metoda RAID (Redundant Array of Independent Disks) vytváří z několika disků jedno diskové pole, které se navenek „tváří“ jako jeden disk. Přicházejí sem požadavky na čtení a zápisy dat a pole si samo organizuje, na který disk se data uloží (či odkud se přečtou). Jednotlivé pevné disky, jsou vlastně jen spojeny do logického celku a vytváří tak kapacitu součtu všech členů.

Úkolem diskových polí je nejen zvýšení kapacity, ale také zvýšení bezpečnosti dat. Vyšší bezpečnosti je zde dosaženo díky nadbytečnosti (redundanci) dat. Při havárii se pak z nadbytečných dat doplní chybějící údaje na vadném disku. RAID se dělí do několika skupin, které používají různé úrovně redundance. [1, 6] Nejznámějšími typy jsou:

RAID 0

Data se rozdělují mezi několik disků. Prostor je rozdělen na části pevné velikosti a zápis nebo čtení delšího úseku dat tak probíhá z více disků. Prokládání může zrychlit čtení i zápis větších bloků dat, protože je možné zároveň číst (zapisovat) jeden blok z jednoho disku a následující blok z jiného disku. Výkonnostní nárůst při sekvenčním čtení bývá v domácích podmínkách kolem 50% (tj. při použití dvou disků se sekvenčním čtením 100MB/s bude mít diskové pole rychlost čtení (obvykle) přibližně 150MB/s). Zvýšení o 50% samozřejmě neznamená o polovinu vyšší výkon, jelikož zapojení do RAID 0 nesnižuje přístupovou dobu. Bohužel velkou nevýhodou je, že při poruše jednoho z disků není pravděpodobné, že by nějaký soubor zůstal nepoškozen. Bezpečnost dat zde tedy není zaručena.

RAID 1

Data se současně zapisují na více disků (většinou dva). Jeden disk je úplnou kopií druhého. Tato metoda se označuje také jako zrcadlení (mirroring). Data jsou 100% redundantní a pole tím zaručuje vysokou bezpečnost dat. Při poruše primárního disku, přebírá jeho funkci sekundární disk. Výhodou také je, že dochází ke zvýšení čtecích operací díky současnému čtení ze dvou disků. Nevýhodou samozřejmě je využití jen poloviny dostupné kapacity a pomalejší zápis.

RAID 5

Data jsou rozdělována mezi více disků (alespoň 3). Paritní data (samoopravné kódy) jsou rozprostřena na všechny disky. Paritní data tak zabírají kapacitu jednoho disku. Zhavarovaný disk je možné jednoduše vyměnit. Jeho data jsou pak zrekonstruována pomocí paritních údajů.

RAID 6

Obdoba RAID 5, kdy se používají dva paritní disky. Výhodou je odolnost proti výpadku dvou disků.

RAID 0+1

Jedná se vlastně o kombinaci RAID 0 a RAID 1. Data se uloží prokládaně na dva disky a následně se totéž provede na další dvojici disků. Výhodou tohoto způsobu je, že nejen rozkládáme zátěž mezi více disků při čtení a zápisu, ale data jsou také uložena redundantně, takže se dají po chybě snadno obnovit.

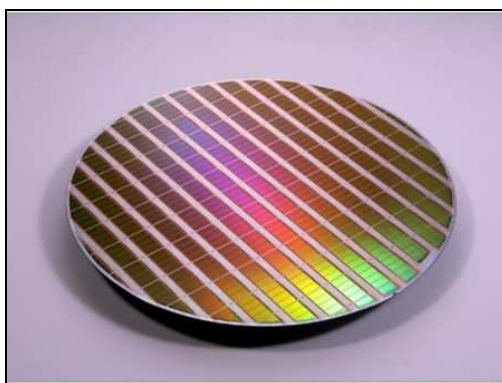
RAID 10

Obdoba předchozího typu, jen s opačným postupem. Data se nejdříve zrcadlí a následně se vloží do diskového pole RAID 0 pro zrychlení přenosových rychlostí. Tento typ není úplně běžný, ale může být využit například u vytížené databázové aplikace.

2 TECHNOLOGIE FLASH PAMĚTÍ

Flash paměť byla vynalezena Dr. Fujio Masuokou při práci pro firmu Toshiba v roce 1980. Masuoka předvedl svůj vynález v roce 1984 na Mezinárodní konferenci elektronových zařízení v San Franciscu v Kalifornii a pro obrovský potenciál vynálezu společnost Intel v roce 1988 uvedla první komerční flashový paměťový čip. [7, 8]

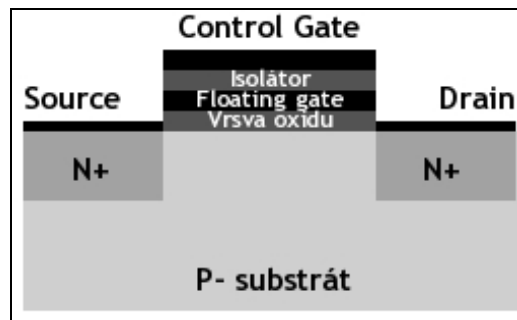
K výrobě flash pamětí je potřeba nejdříve vyrobit jednolitý ingot křemenného krystalu, jehož výroba je poměrně náročná. Protože ingot vznikl jako jeden velký krystal křemíku, jeho struktura je jednolitá a velice čistá. Kulatý ingot se dále nařeže na velmi tenké plátky (wafery) jejichž průměr se udává v palcích. Wafer (obrázek 2) je již základní disk z polovodiče, na kterém se vytvářejí mikroobvody. Leptáním a nanášením se na něm vytvoří obvodová mřížka. Potom se rozřeže na čipy, které jdou dále na zapouzdření. [9]



Obrázek 2 - Křemíkový wafer [10]

2.1 PAMĚŤOVÁ BUŇKA

Uvnitř flash čipu je vlastní informace uložena v paměťových buňkách. Paměťová buňka je stejně jako u EEPROM pamětí tvořena modifikovaným transistorem MOSFET (obrázek 3), jež má elektrody source a drain, přístupové nebo také řídicí hradlo (control gate) a plovoucí hradlo (floating gate). Jediný rozdíl od standardního transistoru MOSFET je právě ono elektricky izolované plovoucí hradlo. [11]



Obrázek 3 - Modifikovaný MOSFET [11]

Jelikož flash paměť vychází z paměti typu EEPROM, řadíme ji do skupiny energeticky nezávislých (nevolativních) pamětí, tzn. paměti uchovávající informaci i bez přísunu energie. Díky principu uložení informace neobsahuje pohyblivé části a má malé rozměry. Důležitým faktem je i velice krátká přístupová doba (latency), pohybující se mezi 50 a 110 ns. Standardní pracovní režimy flash pamětí jsou čtení, programování a mazání a Šádek [11] je popisuje takto:

Čtení

Čtení obsahu paměťové buňky je založeno na detekci protékajících proudů. Pokud plovoucí hradlo neobsahuje žádné elektrony, dojde k otevření transistoru a buňkou protéká proud, který detekujeme - buňka obsahuje logickou 1. Jsou-li však na plovoucím hradle obsaženy, je elektrické pole, vzniklé přiložením napětí na řídicí elektrodu, ovlivněno a k otevření nedojde, proud neprotéká - buňka obsahuje logickou 0.

Zápis

Zápis, tedy naprogramování paměťové buňky je dáno přítomností náboje na plovoucím hradle, jak bylo uvedeno výše. Podle toho se následně čte logická 1 nebo 0.

Výmaz

Pro účel přeprogramování je třeba umět flash paměť také vymazat. Zde je však onen významný rozdíl oproti klasickým EEPROM pamětem, že pro výmaz jedné buňky se smaže celý blok. V souvislosti s flash paměťmi mluvíme tedy o mazání po celých blocích.

Hlavní nevýhodou této technologie se však ukázalo omezený počet cyklů zápis/mazání, což je dáno strukturou onoho modifikovaného tranzistoru MOSFET. Jde o degradaci vlastností vrstvy oxidu mezi plovoucím hradlem a substrátem. K degradaci vrstvy oxidu, dochází v průběhu

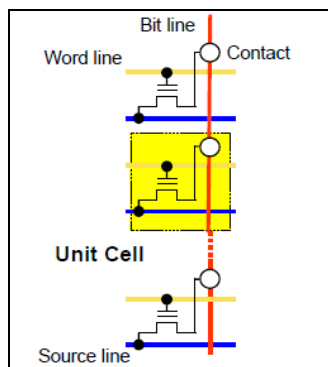
jednotlivých cyklů zápisu/výmazu (kvůli vysokým elektrickým polím), tím se však zároveň mění i hodnota prahového napětí pro zápis a výmaz (ta je pro obě operace rozdílná). Rozdíl prahového napětí zápisu a výmazu je nazýváno okno prahového napětí. Postupem degradace se toto okno zmenšuje až je nemožno rozlišit mezi oběma napětími, flash paměť je dále nepoužitelná. Tímto se jedním z parametrů SSD disků stal počet zápisových cyklů, jenž má velký vliv na jejich životnost. [11]

2.2 VÝVOJ FLASH PAMĚTÍ

První použitá technologie flash byla založena na hradlech typu NOR, uvedla ji v roce 1988 firma Intel. Záhy přišla společnost Samsung a Toshiba s modifikací, která používala hradel NAND. Obě technologie tedy používají stejnou paměťovou buňku, lišící se hlavně v použití metod při programování a výmazu a zapojením jednotlivých paměťových buněk. [10]

2.2.1 NOR flash

V zapojení je vlastní buňka větší, jelikož obsahuje také přístupový kontakt. Topologie zapojení je tedy taková, že jednotlivé paměťové buňky jsou spojeny paralelně, což umožňuje velice rychlý náhodný přístup k uloženým datům. Díky tomu je dosaženo krátkých časů pro čtení. Čtení z paměti NOR flash je podobné jako čtení z paměti RAM. Díky tomu může většina mikroprocesorů používat NOR flash paměti jako XIP (execute in place) paměť, což znamená, že programy uložené v NOR flash paměti mohou být spouštěny přímo z ní a nemusí být nejdříve přenášeny do RAM paměti. Na obrázku 4 je vidět jak vypadá struktura paměti NOR flash.

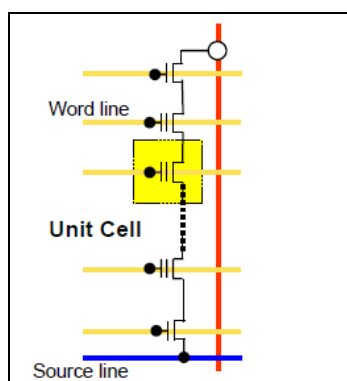


Obrázek 4 - NOR Flash [12]

Tato technologie potřebuje oproti EEPROM mnohem méně energie a umožňuje provést více cyklů zápisu/mazání před vyhořením buněk. Flash paměť NOR nepoužívá obvody pro mazání každého jednotlivého bitu, místo toho rozdělí dostupnou paměť do bloků, které je možné mazat najednou, což zásadně zrychluje operace mazání, nicméně na úkor možnosti adresace jednotlivých bytů pro zápis, takže pro zápis neúplných bloků je nutné provést podivnou operaci „načíst blok, vymazat jej, zapsat změněný blok.“ Typické velikosti bloku jsou 64, 128, 256 nebo 512kB. Zjednodušené obvody současně snížily výrobní náklady a velikost paměťových čipů, a tím se dramaticky snížily náklady. [8, 10, 13]

2.2.2 NAND flash

Paměťová buňka je zde menší (bez kontaktu) a zapojení je výkoné hlavně pro sekvenční přístup. Struktura je vidět na obrázku 5. Tranzistory typu NAND s plovoucími hradly jsou orientovány do hradla NAND, což umožňuje fungovat i řadám ukládacích buněk s poškozenými tranzistory a současně tyto řady k sobě přiblížit s větší hustotou. Znamená to však rovněž, že čtení NAND není adresovatelné po bytech. Paměti NAND se čtou po stránkách, které jsou větší než byty, ale menší než bloky. Díky ušetřeným obvodům potřebným pro čtení, hustšímu natlačení řad k sobě a menším nárokům na kvalitu výrobního procesu je cena pamětí NAND mnohem nižší než u typu NOR a jejich hustota je mnohem vyšší. Trvanlivost zápisu je však nižší než u pamětí typu NOR.



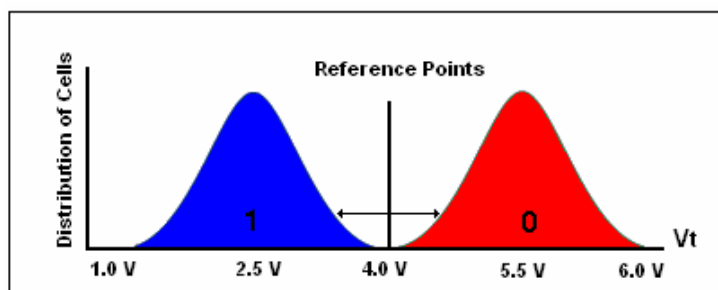
Obrázek 5 - NAND flash [12]

Kromě toho je také spolehlivost čtení pamětí NAND menší. Jednotlivé cykly čtení mají mnohem vyšší chybovost než u předchozího typu pamětí, takže je nutné zavést mnohem agresivnější kódování proti chybám, které zajistí, aby výsledky čtení pamětí NAND byly přesné. Korekce chyb začíná na úrovni kontrolních součtových bitů na každé stránce. ECC bity (Error Correction Code) v každém bloku a mezi bloky dále zvyšují úroveň ochrany proti chybám čtení. [8, 10, 13]

2.2.3 Jednoúrovňové a víceúrovňové buňky

Aby toho nebylo málo, tak vývoj flash paměti šel ještě dále a můžeme je dnes v závislosti na typu buňky rozdělit na SLC a MLC.

Single-level cell (SLC), neboli jednoúrovňové buňky jsou vlastně paměti, kde jedna buňka uchová informaci o 1 bitu a byly to paměti, které jsem zmiňoval až doposud. Ukládají informace mezi dvěma stavy – neutrální a nabitý (logická 1 nebo 0). Podle toho jaké napětí se nachází na plovoucí bráně, se určí, zda buňka obsahuje logickou 1 nebo 0. Napětíová reference pro buňku SLC je zobrazena na následujícím grafu 1.



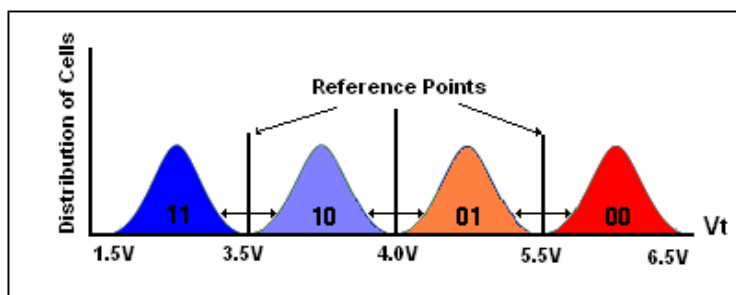
Graf 1 - Napětíová reference pro SLC [14]

U pamětí označovaných jako MLC (multi-level cell), jde o víceúrovňové buňky, kde každá buňka má neutrální napětí a tři různé nabitě stavy. Díky tomu buňka disponuje čtyřmi stavy a dokáže tak uložit dva bity informace. Přehled těchto stavů ukazuje tabulka 1. Zde je okamžitě vidět velká výhoda. Více stavů znamená také více dat na jednu buňku (tranzistor).

Tabulka 1 - MLC stavy [14]

Hodnota	Stav
00	Plně naprogramováno
01	Částečně naprogramováno
10	Částečně smazáno
11	Plně smazáno

Bohužel čtení jemněji rozlišených úrovní napětí vyžaduje mnohem přesnější měření (graf 2), což je naopak pomalejší a více náchylné na chyby. Takto vyrobené flash paměti mají rovněž kratší životnost. Takže technologie SLC je vynikající, pokud jde o výkon a životnost, zatímco MLC je levnější a má větší hustotu. S tím, jak se technologie výrobních procesů stále zlepšují, rozdíl mezi výkonem a životností se mezi oběma typy zmenšuje.[14]



Graf 2 - Napět'ová reference pro MLC [14]

2.3 POROVNÁNÍ PAMĚTÍ

Porovná-li se rychlosti čtení, zápisu a mazání jsou vidět jednoznačné rozdíly uváděných technologií. V tabulce 2 je názorná ukázka jednotlivých rychlostí flash čipů.

Tabulka 2 - Porovnání rychlostí

	SLC NAND flash (x8)	MLC NAND flash (x8)	MLC NOR flash (x16)
Rychlost čtení	24 MB/s	18,6 MB/s	103 MB/s
Rychlost zápisu	8 MB/s	2,4 MB/s	0,47 MB/s
Rychlost mazání	2 ms	2 ms	900 ms

zdroj: autor – upraveno na základě [13]

Je vidět, že v rychlosti čtení vede paměť NOR, ale narozdíl do pamětí NAND má menší rychlost zápisu a mazání. To potvrzuje domněnku, že paměť NOR bude použita všude tam, kde je potřeba rychlý nahodilý přístup (např. uložení programového kódu). Naopak technologie NAND, díky vyšší rychlosti zápisu bude použita pro většinu úložných médií, jako například paměťové karty nebo disky. Souhrn jednotlivých rozdílů mezi NAND a NOR flash pamětí je uveden v následující tabulce 3.

Tabulka 3 - Porovnání NOR a NAND

Parametr	NOR	NAND
XIP (spouštění kódu)	Ano	Ne
Mazání	Velmi pomalé (stovky ms)	Rychlé (jednotky ms)
Zápis	Pomalé (pod 1 MB/s)	Rychlé (jednotky až desítky MB/s)
Čtení	Rychlé (desítky MB/s)	Rychlé (stovky MB/s)
Životnost	10 000 – 100 000 cyklů	100 000 – 1 000 000 cyklů
Cena	Vysoká	Nižší proti NOR

zdroj: autor

V tabulce 2 jsou dále vidět také rozdíly mezi SLC a MLC. V rychlosti zápisu zde technologie založená na víceúrovňových buňkách prohrává. Velká výhoda v její ceně, jí však dává obrovské výhody. SLC flash má tedy vzhledem k MLC flash:

- rychlejší zápis (přibližně 2 krát),
- větší životnost (10 až 20 krát),
- menší spotřebu energie,
- menší stránky/bloky,
- větší spolehlivost,
- vyšší cenu.

Vývoj MLC však pokračuje dále a společnost M-Systems již vynalezla techniky, které dokáží ještě jemněji nastavit a měřit úroveň napětí buněk NAND a umožňují tak v jedné flash buňce ukládat tři bity (osm úrovní) nebo dokonce čtyři bity (16 úrovní). Tyto techniky se označují jako X3 a X4 a posouvají soubor cena a hustota versus rychlost a spolehlivost pamětí MLC ještě dále. [8, 13]

3 SSD DISKY

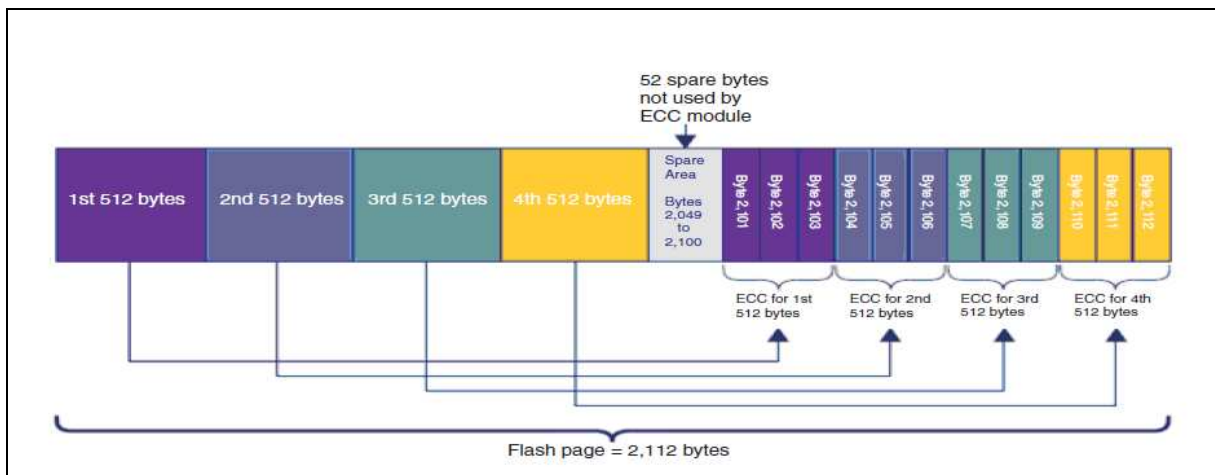
Vývoj jde s dobou a lze tak očekávat, že klasické pevné disky, nejužívanější komponenta dnešních počítačů bude časem nahrazena novou technologií. V současné době se jako nadějně nahrazení ukazují zařízení zvaná SSD disky. Solid-state drive (dále jen SSD), neboli disk bez pohyblivých částí, je v informačních technologiích typ datového média, které ukládá data na flash paměť nebo paměti typu RAM. Na rozdíl od klasických pevných disků, jak již název napovídá, neobsahuje pohyblivé mechanické části, což samo o sobě přináší řadu výhod oproti diskům klasickým. SSD jsou vyráběny ve standardních velikostech jako běžné pevné disky, tedy 1,8", 2,5" a 3,5".

3.1 FLASH SSD

Prvním typem je SSD disk založený na paměti flash, nazývaný také flash SSD. Jelikož data na něm jsou ukládána právě do flash pamětí nese si také s nimi jejich veškeré výhody a nevýhody.

3.1.1 Spolehlivost SSD

Díky tomu, že SSD neobsahuje žádné pohyblivé části, je mnohem menší pravděpodobnost, že zařízení přestane fungovat. Bohužel v důsledku velké chybovosti flash pamětí (hlavně u MLC) musela být vyvinuta technologie, která by tyto chyby dokázala v co největší míře odhalit a opravit. ECC (Error Correcting Codes) je technologie původně vyvinutá pro zvýšení spolehlivosti operačních pamětí velkých serverů a počítačů v kritických aplikacích. Spolu se zapisovanými daty se v paměti ukládají i informace pro detekci a korekci chyb. Paměť má tak pro každou stránku rezervovaný prostor kde se ECC kód ukládá. Při čtení dat se tak dají případné chyby detekovat a opravit. Zároveň se pak provede nový zápis dat v jiné části paměti flash. Síla ECC (počet chybných bitů, které mohou být opraveny) závisí na použitém algoritmu. Tyto algoritmy mohou být implementovány jak v hardware, tak v software. [15] Mezi známé algoritmy používané pro flash patří Hammingovo kódování, které je schopné detekovat dvoubitové chyby a opravit pouze chybu jednoho bitu. Jeho výhodou je jednoduchá implementace jak v hardwaru tak i softwaru. NAND flash se stránkami velikosti 2kB může vypadat například jako na následujícím obrázku 6.



Obrázek 6 - Paměťový prostor NAND flash s Hammingovým kódováním [15]

Zde Hammingovo kódování zabírá 3B ECC na každý 512B sektor. Dnes se používá víceméně jen pro SLC NAND flash.

V současných MLC SSD, které se vyznačují větší chybovostí než SLC je proto použito složitější Reed-Solomon kódování, jenž umožňuje opravit větší množství chybných bitů nebo pak nové BCH (Bose, Ray-Chaudhuri, Hocquenghem) kódování, které také umožňuje opravit více chyb a je ještě efektivnější než kódování Reed-Solomon. [15]

3.1.2 Životnost SSD

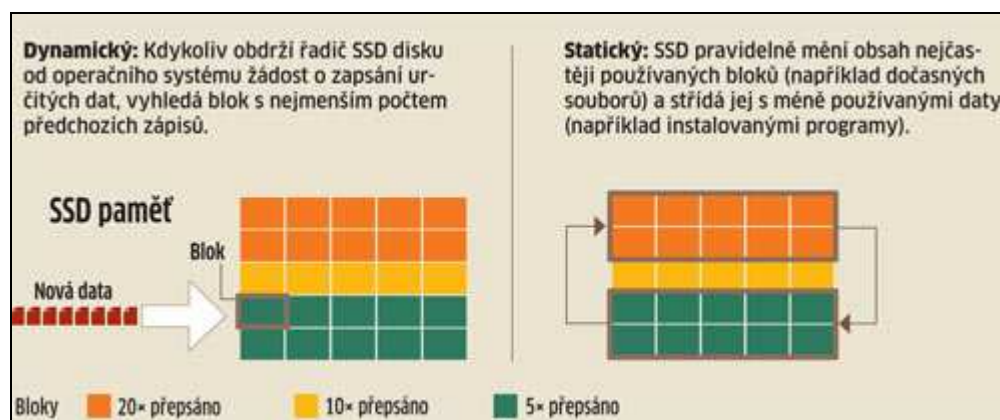
Jeden z limitujících faktorů pro rozšíření SSD je nevýhoda flash pamětí, tedy omezený počet zápisů do každé paměťové buňky, respektive do celého bloku. Flash paměti se totiž mažou po celých blocích. U většiny komerčně dostupných paměťových čipů se udává minimální garantovaný počet přepisů/vymazání každého bloku v řádu stovek tisíc. Na jednu stranu se jedná o velmi vysokou hodnotu, především v porovnání s prepisovatelnými kompaktními disky či DVD (kolem tisíce přepsání), ovšem v případech, ve kterých by měly flash paměti nahradit pevný disk, již může být tato hodnota kritická, hlavně při použití souborových systémů, které nedokáží rozložit zápisy tak, aby byl počet mazání každého paměťového bloku přibližně stejný. Například souborový systém FAT, je v tomto případě nevýhodný, protože prakticky jakákoli změna v souborovém systému znamená zápis do alokační tabulky umístěné na pevném místě v za sebou jdoucích blocích.

Aby se tedy zamezilo zápisu dat stále do jednoho a téhož místa, používají SSD strategii pro řízení zápisů do paměti flash. Nejpoužívanější strategie jsou Garbage Collection, Static Wear-Leveling a Dynamic Wear-Leveling.[7]

Wear leveling (míra opotřebení) obecně zajišťuje, že každý zápis provedený na SSD jako celek bude zapsán do jeho pokud možno nejméně „opotřebovaných“ buněk. Ve skutečnosti se tak vlastně nikdy neví, do jaké buňky (nebo přesněji řečeno sektoru) se data fyzicky zapisují. Na úrovni práce s úložištěm lze maximálně zjistit, do jakého logického bloku se data zapisují, wear leveling si však logické bloky sám podle vlastního uvážení „přemapovává“ na fyzické právě na základě jejich opotřebení. Z tohoto důvodu a také proto, že některé bloky mohou být vadné již z výroby je skutečná vnitřní kapacita paměti vyšší než jmenovitá. Řadič má pak možnost využít záložní bloky k tomu, aby paměť udržel funkční.

Data ve flash paměti mohou být rozdělena na dva typy. Statická data, což jsou například soubory operačních systémů, spustitelné soubory apod. Tedy data, která se obvykle jednou zapíší a následně jsou mnohokrát čtena.

Druhým typem jsou dynamická data. Zde se jedná například o logovací soubory, či databázové indexy. Tyto data se vlastně stále čtou i zapisují. Z tohoto důvodu tedy byly zavedeny dva typy wear levelingu. Obrázek 7 zobrazuje funkci obou typů.



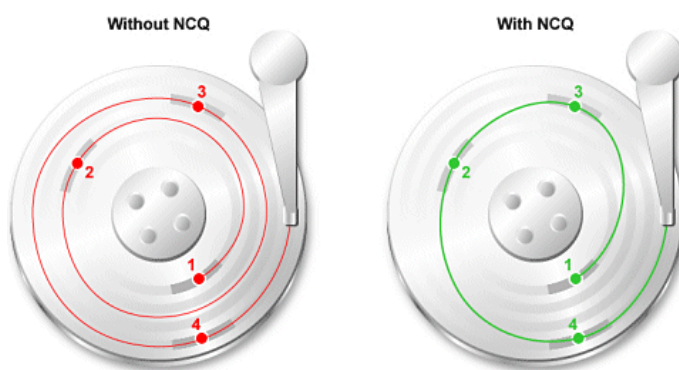
Obrázek 7 - Dynamický a statický wear leveling [16]

Statický wear leveling je tedy robustnější metoda, zajišťující efektivní rovnoměrný zápis dat po celé paměti, čímž maximalizuje životnost SSD. Nevýhodou je, že více zatěžuje kontroler disku, zpomaluje operaci zápisu a spotřebuje více energie. Dynamický wear leveling proti tomu zaručuje o něco kratší životnost SSD. Zato je však rychlejší a jeho implementace je méně náročná. [17]

3.1.3 Řazení požadavků

U některých SSD disků se objevuje technologie NCQ (Native Command Queuing) známá již u pevných disků. Název NCQ, který lze do češtiny volně přeložit jako „přirozené řazení požadavků“ naznačuje, že se jedná o sesbírání příkazů I/O a uspořádání této fronty tak, aby to v rámci možnosti bylo pro dané zařízení výhodné.

V případě pevných disků umožňuje tato technologie v některých případech zvýšit jejich výkon. Nejvýstižněji ji naznačuje následující obrázek 8.



Obrázek 8 - Práce pevného disku bez NCQ a s NCQ [6]

NCQ pracuje tak, že se řadí požadavky čtení podle toho, jak daleko tato informace je od aktuální polohy čtecí hlavy, tzn. záleží na poloze čtecí hlavičky a celé plotny. Výhoda spočívá v tom, že se může vyřizovat jiný požadavek, který přišel dříve a teprve potom obsloužit ten první, když se plotna otočí na příhodné místo. Šetří se tím celkem mnoho času. Kdyby se čekalo na otočení plotny, šlo by o zpoždění vlivem otáčení plotny v průměru $1/(7200/60)=8\text{ms}$.

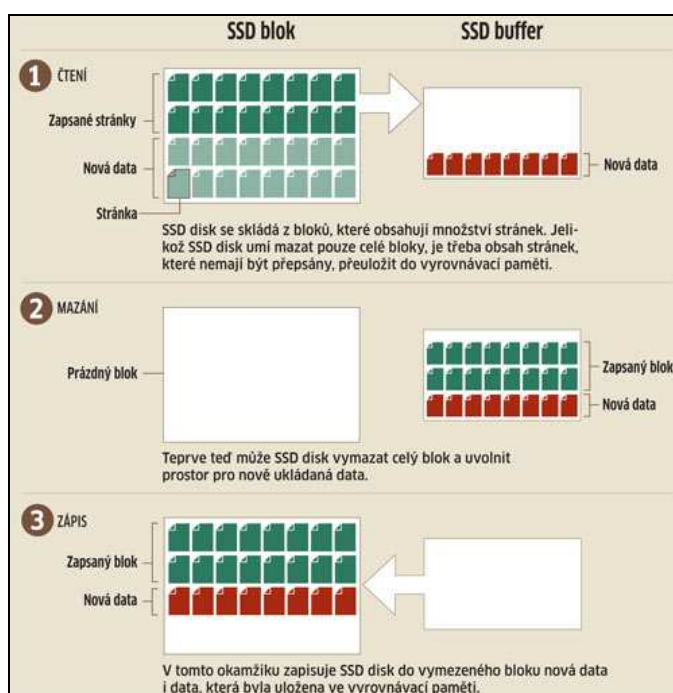
Technologie NCQ (je-li podporována) však pracuje u SSD trochu jinak, pořád ale nevybočuje z obecné definice své funkcionality:

1. Vybudování fronty požadavků v jednotce.
2. Přenesení dat pro každý příkaz/požadavek.
3. Potvrzující status pro hotové požadavky.

U SSD NCQ řadí požadavky na zpracování do fronty tak, aby vše probíhalo maximální rychlostí, kontinuálně. Jde o to, že SSD disky (například Intel X25-E a M) jsou i desetikanálové a počítač jejich rychlost nestíhá obsluhovat. NCQ u SSD tedy vlastně dělá fronty požadavků tak, aby byly obsluhovány kontinuálně, nepřeskakovalo se při nahromadění zpracovávaných dat a požadavky se zdárně a co nejrychleji dokončovaly v závislosti na rychlosti pomalejší části (což je počítač). [6, 18]

3.1.4 Problém výkonu SSD

Bylo zjištěno, že výkon nového SSD nemusí být stejný jako výkon již určitý čas používaného SSD. Je to z důvodu toho, že si řadič SSD nerozumí s operačním systémem, nekoordinuje s ním svoje kroky. Zatímco SSD potřebuje, aby do prázdných bloků byly vepsány nuly, operační systém při mazání pouze označí oblast za smazanou. Tato logika byla zavedena již u pevných disků a proces je samozřejmě rychlejší, než data nejdříve fyzicky smazat a až následně zapisovat nová. Jenže pro SSD, který čte po stránkách a zapisuje jen v blocích určité velikosti to znamená, že do takového bloku nemůže jen zapsat, ale musí přečíst, modifikovat a poté teprve zapsat. V praxi to znamená, že SSD po nějakém čase používání může výrazně zpomalit, zejména pokud dojde na zápis do už jednou vymazaných oblastí. Problém zápisu do již jednou použitého bloku názorně zobrazuje obrázek 9.



Obrázek 9 - Zápis do bloku [16]

Aby se výkon SSD po čase používání nesnižoval, začala být vyvíjena funkce TRIM. Jde vlastně o příkaz, kterým systém informuje SSD disk o tom, že je možné interně vymazat určité bloky, jelikož systém je považuje za nepoužívané. To sice znemožňuje případné obnovení dat, jelikož data se fyzicky smažou z disku, ale vymazané sektory jsou pak připravené pro přímý zápis bez nutnosti načítat celý velký blok.

V případě výběru nového SSD disku je vhodné hledat takový, jenž s příkazem TRIM umí pracovat. Linuxové jádro umí TRIM příkaz posílat od verze 2.6.33. Ve FreeBSD je podpora od verze 8.0, Windows umí TRIM od verze 7 a Server 2008 R2.

Informaci o tom, zda SSD disk TRIM podporuje, lze zjistit pomocí informačních utilit (např. Crystal Disk Info). Jednodušším způsobem ověření této funkce v systému je ale zadání následujícího příkazu v příkazové řádce:

```
„fsutil behavior query disableddeletenotify“.
```

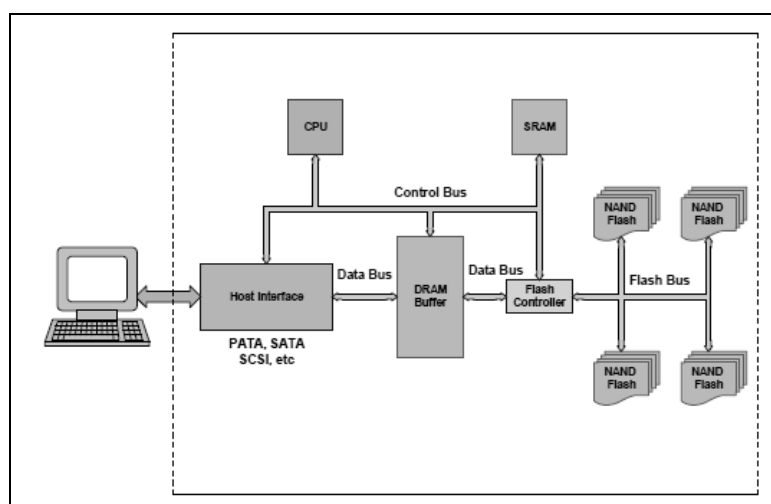
Výstupem příkazu je buď 0, což znamená, že příkaz TRIM je aktivován. V opačném případě (výstup 0) aktivován není. I pro některé řadiče, které tuto funkci nepodporují, je pro údržbu kondice SSD součástí firmwaru tzv. garbage collection (svoz odpadků), tedy sada nástrojů na čištění diskového prostoru. Ta se obvykle aktivuje při nečinnosti disku, nebo manuálním spuštěním speciálního programu.

Podobně je tomu i s aktivací TRIM na starších operačních systémech Windows – Vista a XP. U těchto OS je rovněž třeba vyvolat čištění SSD, který to dovoluje, manuálně pomocí utility. Například u SSD disků Intel druhé generace lze TRIM v systému jiném než Windows 7 s diskovým řadičem AHCI vyvolat nástrojem Intel SSD Toolbox.[19]

3.1.5 Architektura flash SSD

Běžný SSD disk se skládá z následujících základních součástí (obrázek 10):

- Flash kontroler - čip, který spojuje paměti s vstupně-výstupním rozhraním (I/O interface). Jedná se o procesor, který spouští firmware a je to jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující výkon SSD disku. Stará se o správu paměti disku, wear leveling, ECC.
- Vyrovnávací paměť - Flash SSD používají malou část DRAM, označovanou cache, obdobně jako klasické pevné disky. Během provozu je navíc tato paměť použita také pro wear leveling data.
- Baterie – Plní funkci záložního zdroje. Baterie je zde nezbytně nutná v případě výpadku elektrické energie k tomu aby data přítomná v paměti cache mohla být uložena bezpečně na disk.



Obrázek 10 - Blokový diagram SSD architektury [7]

Rozhraní

Konstrukční strategií při návrhu SSD disků je model snadné náhrady za HDD. Znamená to, že SSD disk má stejné rozměry jako HDD a používá také stejná rozhraní. První SSD disky používaly rozhraní IDE a SCSI, a dnešní moderní SSD disky jsou vybaveny hlavně rozhraním SATA I nebo SATA II.

Přestože strategie náhrady pevného disku za SSD je pro proniknutí SSD do pracovních stanic a notebooků v zásadě nezbytná, má rozhraní SATA některé nevýhody. Rozhraní pro pevné disky jsou navržena s ohledem na nízké náklady a jsou proto jen asi třikrát rychlejší než disky,

které mají podporovat (SATA I - 1,5Gb/s, SATA II - 3Gb/s). Možnosti SSD disků, které dosahují mnohem vyšších rychlostí průběžného přenosu dat, jsou kvůli tomu bohužel omezeny. Začínají se však již objevovat disky s novým rozhraním SATA III (6Gb/s) a pro řádově vyšší přenosové rychlosti se již používají také SSD disky s rozhraním PCIe.

Souborový systém

SSD díky modelu snadné náhrady mají stejný interface jako běžné pevné disky, ale objevují se u nich jiné problémy oproti HDD. Zatímco u SSD již v podstatě nemusíme uvažovat nad vyhledávacím časem (seek time), musí zase souborové systémy pro flash pamatovat na vymazávací cykly, nesmí riskovat ztrátu dat a měly by se snažit rozložit zátěž na celou paměť, aby se maximálně využila životnost. Proto společně s vývojem SSD disků začaly některé společnosti vyvíjet i nové souborové systémy přímo pro tyto zařízení.

Souborovým systémem firmy Microsoft optimalizovaným pro SSD je exFAT (Extended File Allocation Table). Microsoft vyvinul exFAT především pro flash paměti a externí zařízení, aby nahradila souborový systém FAT32, proto se jí někdy také říká FAT64. Dokáže uspořádat metadata souborového systému a clustery pro samotná data na vhodné pozice. Mimo ošetření nenadálého přerušení zápisu, což u flash pamětí není nic neobvyklého, exFAT poskytuje více než 1000 souborů ve složce a teoretickou maximální velikost souboru až na 64 zettabajtů (10^{21}). Podpora tohoto souborového systému je zahrnuta v hotfixu (KB955704) pro Windows XP, servisním balíčkem pro OS Windows Vista (Windows Vista Service Pack 1) a samozřejmě v nejnovějším systému Windows 7.

Pro operační systém Linux se používají do záznamů strukturované souborové systémy. Jejich základní předpoklad, že čtení je levné a zápisy jsou drahé je vhodný pro použití u SSD. Příkladem takových systémů souborů jsou JFFS2 nebo LogFS. JFFS2 však podporuje jen zařízení s menším úložným prostorem a proto pro SSD je vhodnější použití systému LogFS. Zde souborový strom vypadá velmi podobně jako struktura, kterou používá ext2. Rozdíly jsou v tom, jak je spravován. Logová struktura souborového systému znamená, že bloky nelze přepsat na místě; kdykoliv je blok změněn, musí být přesunut a zapsán jinde. [20]

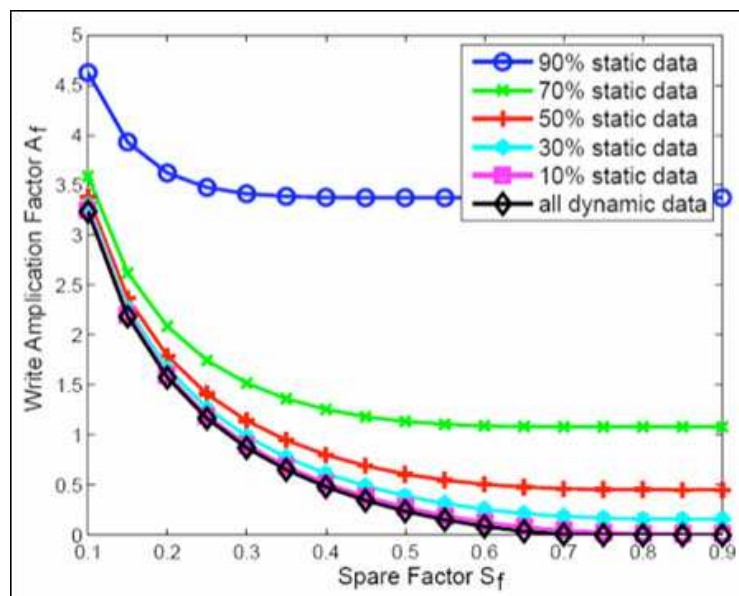
3.1.6 Výhody a nevýhody

Jelikož SSD disky vykazují značné rozdíly oproti klasickým pevným diskům, objevují se u nich i nové parametry, jenž je nutné sledovat. Na základě následujících vlastností disku se pokusím definovat jejich výhody, případně nevýhody:

- **Latence** - Hlavní výhoda SSD oproti diskům s rotujícími plotnami spočívá především ve výrazně větší rychlosti přístupu k datům. Extrémně nízká latence (nebo také seek time), nižší o několik řádů oproti HDD se projevuje rychlejším náhodným přístupem k uloženým datům. Průměrná latence SSD se pohybuje v desítkách mikrovteřin (μs).
- **Životnost** - U SSD disků je udáván maximální počet přepsání buněk před jejich nevratným zničením. Zde je také diametrální rozdíl mezi disky s SLC a MLC čipy. U levnějších MLC čipů je udávána životnost od 1000 - 10 000 zápisu do stejného místa. U čipů SLC je to až desetinásobek, tedy přibližně 100 000 zápisů. I kdyby se zapsala celá kapacita disku každý den (což není tak nemožné), disk by byl zničen až za několik let. Dnešní moderní disky už tímto problémem ale netrpí, díky funkci wear levelling je každodenní zátěž rozprostřena automaticky do všech částí disku a životnost se tím mnohonásobně prodlužuje. Pokud si dnes koupíme nějaký z nových disků, vydrží při běžném používání minimálně 5 let.
- **Cena a kapacita** - Zde je jeden z největších problémů v oblasti SSD. Výroba flash paměti je drahá a tím pádem i SSD jsou stále vzhledem ke své kapacitě extrémně drahé za jeden GB. Zde mají klasické pevné disky velkou výhodu. Jejich cena je na dnešní poměry minimální a stále se snižuje.
SSD disk také potřebuje ke své správné činnosti nějakou kapacitu volnou, kam se ukládají nová data a kde si kontrolér odkládá data pro svou potřebu a potřeby optimalizačních technologií. Zkrátka, aby se SSD disk nezpomaloval a byl stále stejně výkonný, je nutné na něm udržet alespoň 5 až 10 procent volných bloků. Díky tomu je kapacita každého moderního SSD disku o toto procento nižší než udává štítek na disku. Je tedy doporučeno ponechat alespoň 20 procent zbylé kapacity volné a k dispozici řadiči disku. Dnes tak rychlé disky v dostatečnou kapacitou začínají s cenou v řádech tisíců. Ty dražší disky, s vynikajícím výkonem i kapacitou se pohybují v desítkách

tisíc. A pokud by někomu ani to nestačilo, lze si pořídit PCIe SSD s nejvyššími výkony v této kategorii, jehož cena se pohybuje dokonce ve stovkách tisíc.

- **Rychlost čtení a zápisu** - Princip zápisu dat na SSD má velkou výhodu oproti dosavadním pevným diskům. Vše probíhá pouze na elektronické bázi. Není třeba pohybu ploten a hlaviček. Z toho vyplývá jejich rychlost a menší náchylnost na poškození. I když současné SSD disky disponují rychlostmi zápisu od 80 MB/s do 200 MB/s a čtení od 150 MB/s do 250 MB/s, je teoretická rychlost výrazně vyšší. Špičkové modely jsou schopny překonávat rychlosti přes 600 MB/s při zápisu a přes 700 MB/s při čtení. Bohužel to není tak ideální, jak by se na první pohled mohlo zdát. SSD disky trpí nepříjemnou vlastností. V okamžiku, kdy disk zapisuje data na prázdná místa, vše probíhá v uváděných rychlostech. Bohužel pouze do okamžiku, kdy je potřeba na buňky označené jako vymazané zapsat nová data. To není tak jednoduché, jako u standardních pevných disků. Systém má sice informaci o tom, že daný blok paměťových buněk lze použít pro zápis dat, ale pro SSD disk to znamená, že musí nejprve provést vyčištění buněk, upravit je pro zápis a teprve potom provést zápis nových dat. Navíc data, která mají být zapsána na toto místo, musí být do doby, než je lze zapsat, uchovány v cache. Cyklus čtení-smazání-upravení-zapsání pak rychlost celé operace zápisu dat výrazně snižuje. Tento jev je známý jako write amplification (zesilování zápisu). Vliv volného prostoru na výkon disku názorně zobrazuje následující graf 3.



Graf 3 - Vliv volného prostoru (S_f) na výkon zápisu (A_f) [19]

Popsaný fenomén se projevuje hlavně při zápisu malých souborů dat. Naštěstí, se již objevují disky s funkcí TRIM, která tento problém řeší tím, že buňky označené pro smáznání postupně maže, dřív než dojde k jejich novému použití.

- **Spotřeba** - díky tomu, že SSD nemají mechanické pohyblivé části, vykazují nižší spotřebu (do 4W při plném provozu a přibližně 1W v klidu) a tím pádem se i méně zahřívají. Zde je nutné vyzdvihnout případné využití u serverů, kde ušetříme za chlazení disků.
- **Odolnost** - komu by se nelíbilo mít tichý a výkonný disk, který by byl schopen odolat i těm nejnáročnějším provozním podmínkám. Jedna z kladných stránek SSD disků je právě vysoká mechanická odolnost díky absenci pohyblivých částí, která téměř eliminuje riziko mechanického selhání. Díky tomu mají tyto zařízení schopnost snášet silné nárazy a vibrace, vysokou nadmořskou výšku a extrémní teploty (rozsah se obvykle pohybuje mezi 0°C až +70°C).
- **Hmotnost** - malá velikost zařízení bez mechanických částí deklaruje také nízkou hmotnost, což je předurčuje pro použití do notebooků.
- **Tichý provoz** - další výhoda, která vyplývá z nepřítomnosti mechanických částí.
- **Asymetrický poměr mezi zápisem a čtením** - může způsobit problémy u některých funkcí, kdy zápis i čtení mají být dokončeny v podobném časovém rámci.
- **Bezpečnost** - Je mnohem jednodušší a rychlejší nenávratně smazat data z SSD, než z mechanických disků, kde je k tomu potřeba aplikace pro úplné mazání.
- **Rozhraní** - SSD disky využívající SATA rozhraní obecně vykazují pomalejší rychlost zápisu. Tento problém však řeší PCIe rozhraní.

Z hlediska operačního systému a aplikací mohou být pro SSD nebezpečné některé jinak běžné a užitečné operace:

- **Defragmentace** - nejenže nemá u SSD smysl (logické řazení buněk je zcela jiné než fyzické), ale naopak nadbytečné stěhování dat SSD škodí.
- **Ready Boost** (nastavení vyrovnávací paměti disku flash pamětí) - nemá smysl, protože SSD je vlastně flash paměť, zrychlení je tak nulové a dokonce zbytečné kopírování na přídatnou flash paměť může systém zpomalit.
- **Aplikace pro úplné mazání dat** (likvidaci všech stop) - fungují tak, že mazané místo mnohokrát přepisují náhodnými daty. Jenže na SSD se ve skutečnosti nezapíše opakovaně na totéž místo, takže se jen zbytečně snižuje životnost disku.
- **Aplikace** kde se ukládá mnoho dat do log souborů, používají dočasné soubory apod.
- **Zálohy v reálném čase** - Nástroje, které sledují a zaznamenávají změny v systému, přepisují neustále data na disk, a tím SSD zbytečně opotřebovávají.
- **Výkonnostní testy** - Benchmarky na měření rychlosti SSD disku provádějí spoustu zápisů.

3.2 RAM SSD

Než se podívám na využití SSD v praxi, je nutné se ještě zmínit o druhém typu SSD disků, který se dnes používá hlavně u vysoce výkonných serverových stanic.

SSD používající paměti typu RAM místo flash pamětí se často nazývají RAM-drive (nezaměňovat s RAM disk). Tyto disky charakterizuje ultra rychlý přístup k datům. Jsou používány především k urychlení aplikací, které jinak brzdí latence flash SSD nebo tradičních HDD. RAM SSD mají buď vlastní napájení z interní baterie, nebo jsou napájeny externě z nezávislého zdroje, aby nedošlo ke ztrátě dat při výpadku napájení. Baterie zajistí napájení disku do doby, než se zazálohují data z RAM. Po obnovení standardního napájení se zkopírují všechna data ze zálohy zpět a SSD obnoví normální provoz. Pro zálohu se používají právě

flash SSD, díky čemu je obnova dat do RAM paměti velice rychlá. RAM SSD jsou obzvláště užitečné v počítačích, které mají již maximální množství podporované operační paměti. Například některé počítačové systémy postavené na architektuře x86-32 lze efektivně rozšířit nad 4GB limit tím, že se použije RAM SSD pro swapovací soubor. RAM SSD je mnohem rychlejší než mechanický pevný disk a také rychlejší než flash SSD. Proto toto řešení významně navyšuje výkon serverových řešení. Velkou výhodou RAM SSD je, že zde nemusíme počítat s počtem zápisů/mazání tak jako u flash SSD. Dalším rozdílem je, že mají tak jako HDD symetrický zápis a čtení. Bohužel použití RAM pamětí stále velice navyšuje cenu takovýchto zařízení a ta jsou v současnosti o mnoho dražší než SLC flash SSD, což je určuje výhradně pro použití ve firmách. Příkladem takového zařízení může být například SSD RamSan-440 (viz příloha 4). Jeho kapacita 512 GB DDR primárního datové úložiště, více jak 600 000 IOPS a rychlost 4500 MB/s jej řadí dnes mezi nejrychlejší disky na světě. [21]

3.3 HYBRIDNÍ DISKY

Samozřejmě vedle dosud uváděných SSD existují i určité alternativy, které by mohly napomoci jejich rozšíření. Jsou jimi takzvané hybridní pevné disky (HHD) a hybridní SSD disky (HSSD).

Hybridní pevný disk, je disk vytvořený kombinací klasického pevného disku a paměti typu flash. Pevný disk zajišťuje vysokou informační kapacitu tohoto zařízení, flash paměť je pak použita při čtení a především zápisu dat na disk. Kapacita flash paměti zabudované v hybridním pevném disku je zvolena tak, aby odpovídala zhruba dvěma až deseti procentům kapacity pevného disku. Jedná se o hodnotu zjištěnou statistickým vyhodnocením typické práce uživatele na počítači – z celkové kapacity disku se při běžné práci využije pouze její zlomek, s rostoucí kapacitou pevných disků se průměrná využitá část disku dokonce procentuálně snižuje. [10]

Díky velké paměti pro právě používaná data tak může disk za určitých okolností vypnout motorek a přestat točit plotnami. Příkladem mohou být aplikace, které mají nastaveno automatické ukládání. Klasický pevný disk by byl nucen neustále rotovat a spotřebovávat tak energii zdroje, případně baterie.

Druhým typem je hybridní SSD, který obsahuje čipy jak SLC tak i MLC flash paměť. Tato kombinace tímto přináší výhodu obou typů. Drahá, rychlá a odolnější SLC je použita pro časté náhodné zápisy, zatímco levnější MLC poskytuje vysokou kapacitu pro data, která se ve své podstatě mění minimálně a častěji se jen čtou. Díky výhodám obou čipů tak vzniká z ekonomického hlediska výhodné, výkonné SSD. Takovýto disk jasně překonává běžné MLC disky ve výkonu a cenou se s ním téměř rovná. Bohužel hybridní SSD zatím nejsou moc rozšířené, na trhu se objevilo jen pár zařízení, a výrobci se stále zaměřují spíše na levné MLC.

4 SSD V PRAXI

V předchozích kapitolách byla vysvětlena funkce SSD disků, problémy s kterými se tato zařízení potýkají a jejich nesporné výhody oproti běžným pevným diskům. Dále je tedy vhodné se také podívat, jak si budou vést v praktickém užití. Jaké přínosy a vylepšení uživatel pocítí při jejich používání, k čemu jsou tato zařízení nejvhodnější a kde naopak mají problém se prosadit.

Z pohledu SSD disku je důležité zvážit, jaká data budou na tomto zařízení uložena. Problém výkonu při zápisu, životnost pamětí flash, to jsou důležité parametry, s kterými je nutné počítat. Pro správný výběr SSD disku je také dobré znát jaký je poměr mezi I/O operacemi a zda je přístup k datům sekvenční nebo přímý.

Sekvenční přístup – Před zpřístupněním informace je nutné přečíst předchozí informace.

Přímý/Náhodný Přístup – Je možné přímo zpřístupnit požadovanou informaci.

Vždy je tedy vhodné předem zvážit, kde bude SSD disk použit, k jakému účelu a zda neexistuje jiné řešení. Následující tabulka 4 ukazuje poměry mezi čtením a zápisem a přístup k datům pro některé známé případy.

Tabulka 4 - Poměr mezi čtením a zápisem [22]

	Čtení (%)	Zápis (%)	Sekvenční přístup (%)	Náhodný přístup (%)
Kontinuální čtení	100	0	100	0
Kontinuální zápis	0	100	100	0
Pracovní stanice	80	20	20	80
Web Server	100	0	0	100
Operační systém	70	30	0	100
Souborový server	80	20	0	100
Emailový server	50	50	0	100
OLTP (databáze)	67	33	0	100

Z tabulky je vidět, že poměry jsou pro jednotlivé případy rozdílné. Vždy záleží jakým způsobem aplikace pracuje:

- **Kontinuální čtení** (streaming read) – za sebou následující požadavky na čtení dat. Jde vlastně o sekvenční čtení, s kterým se lze setkat například u Media serverů.
- **Kontinuální zápis** (streaming write) – Za sebou následující požadavky na zápis dat. Jde vlastně o sekvenční zápis, s kterým se lze setkat u Virtual Tape Libraries (VTL), zálohování apod.
- **Pracovní stanice** – Vytížení je zde nejčastěji způsobeno uživatelem a jeho spuštěnými aplikacemi. Jde převážně o náhodné čtení a v menší míře o sekvenční čtení či zápis.
- **Web server** – Vytížení je zde typicky způsobeno převážně mnoha náhodnými požadavky v jeden okamžik.
- **Operační systém** – Aktivita operačního systému a jeho I/O požadavky na disk.
- **Souborový server** – Velké množství uživatelů požaduje přístup k souborům na disku.
- **Emailový server** – Obsluha mnoha simultálních požadavků na odeslání či uložení emailu.
- **Online Transaction Processing (OLTP)** – Zpracování transakcí a databázových dotazů.

Na základě těchto informací lze určit, zda bude potřeba SSD disk s SLC nebo MLC flash pamětí, jak důležitá je rychlost čtení, zápisu nebo hodnota IOPS.

4.1 OBLAST POUŽITÍ

Počítače jsou dnes využívány snad ve všech myslitelných oblastech. Od osobních počítačů v domácnostech a zábavě, přes kancelářské pracovní stanice až po složitá průmyslová zařízení. Většina z těchto počítačů také obsahuje nějaký typ pevného disku, a jelikož ceny dnešních SSD disků se stále pohybují v mnohem vyšších cenových kategoriích, než pevné disky stejné kapacity není jednoduché obhájit takovou investici. Cena je dána hlavně složitostí výroby těchto disků a také tím, že jde o „novou“ technologii, která rapidně zvyšuje výkon datového úložiště. Lze samozřejmě očekávat, že postupem času se ceny budou snižovat a současné nevýhody SSD disků budou nějakým způsobem odstraněny. Otázkou tedy je, zda se vyplatí do SSD investovat již nyní. Odpověď však není jednoduchá. Důležité je najít přínosy, které mohou přinést. Pokud se však mluví o přínosech použití SSD disků v počítači, vše záleží na celé řadě různých proměnných aspektů, jenž jsou dány hardwarem, softwarem a samotným způsobem používání počítače.

4.1.1 Přenosné počítače

První oblastí použití, která by měla každého napadnout, jsou přenosné počítače. Laptop nebo netbook jsou dnes velmi často skloňovaná slova v této oblasti. Poruchy běžných disků však nejsou u přenosných počítačů výjimkou. Je tak nutné také počítat s náklady, jež jsou spojené s výměnou disků, obnovou dat apod. Nesporná výhoda SSD v odolnosti proti otřesům dává jasně najevo jejich ideální využití právě zde. Vyšší cena může některé uživatele odradit, ale pro vedoucí pracovníky a pracovníky na služebních cestách, může být záruka toho, že po pádu počítače na zem nepřijdou o data, jedním z faktorů při rozhodování zda SSD využít. Společnost Samsung dokonce vytvořila kalkulátor, který po zadání údajů jako je počet přenosných počítačů ve firmě, cena, počet porouchaných disků, náklady na obnovení dat, náklady na opravu, vypočítá ušetřené náklady v případě použití SSD disků.[23] Následující tabulka 5 zobrazuje rozdíl v odolnosti mezi klasickým pevným diskem a SSD diskem.

Tabulka 5 - Odolnost SSD a HDD [24]

Parametr	SSD	HDD
Operating shock (G)	1 500	325
Operating vibration (G)	20	1,5
MTBF (hodiny)	2 000 000	500 000

Další neméně důležitou výhodou je velmi nízká spotřeba, mnohem nižší než u běžných pevných disků. Díky tomu tak disk méně vytěžuje akumulátor přenosného počítače a tím umožňuje pracovat bez externího zdroje napájení o poznání déle.

Vedle přínosů daných vyšší spolehlivostí nabízí SSD i významné benefity výkonnosti. Například čas potřebný pro start OS může být až poloviční a aplikace je možné spouštět mnohem rychleji. To, že váha a hluk počítače s SSD diskem je také o poznání nižší vše jen potvrzuje. Pro přenosné počítače mají SSD velký potenciál.

4.1.2 Pracovní stanice

Zde se jedná o patrně nejobtížnější prostředí, pokud jde o argumentaci a prosazení přinášených výhod. V tomto případě je velmi důležité zdůraznit přínosy v oblasti výkonu. Posouzení výkonnosti HDD versus SSD v běžných podmínkách (hlavně v kategoriích jako jsou multimédia, hraní her a vytváření digitálního obsahu) ukazuje, že mohou SSD disky mnohonásobně zvýšit výkon systému. Rovněž urychlí jak start operačního systému, tak otevírání aplikací, souborů nebo probuzení počítače z režimu spánku. SSD je v tomto případě ideální pro systémový, bootovací disk, kam zapisuje jen občas operační systém. Pak SSD může vydržet v provozu velmi dlouhou dobu. Pokud však jde o datové a odkládací disky je vhodný spíše disk klasický.

Příkladem může být práce vyvojáře webových aplikací. Vývojář má na svém PC nainstalované MySQL a Apache s PHP, kde denně při vytváření webů uloží zdrojový soubor obvykle 500-1000 krát (vždy se jde podívat, jak změna dopadla v jednotlivém prohlížeči), k tomu zapíše desítky nebo stovky záznamů do databáze. Navíc Apache a MySQL generují velká množství logů, webové prohlížeče si na disk ukládají cookies apod. V tomto případě je již na zvážení zda nepoužít raději mechanický disk, velká množství zápisu SSD, jak již bylo řečeno, nesvědčí. Vždy závisí, jakým způsobem bude pracovní stanice používána.

Hlavním formátem pro spotřebitelské SSD se stal formát mobilních pevných disků, což vychází z malých nároků na prostor. Není důvod, proč je vyrábět jako 3,5" zařízení a na to již delší dobu reagují také výrobci počítačových skříní, kteří nabízejí buď přímo pozice pro 2,5" SSD/HDD nebo také redukce, které typicky dokáží v jedné 3,5" pozici upevnit dvě 2,5" zařízení.

Obvyklou námitkou bude vždy nejpravděpodobněji cena, ta se stále pohybuje v řádech tisíců až desetitisíců, což není nijak málo. Nicméně výhody v podobě zvýšení výkonu spolu s vyšší odolností, spolehlivostí a úsporou energie mohou pomoci tuto investici podpořit a obhájit.

4.1.3 Servery

Nejzřetelnějším cílem pro SSD, kde vysoké ceny lze snadněji obhájit finančně vyjádřitelnými přínosy, je oblast serverů. Existuje spousta procesů pro servery, které jsou omezeny možnou kapacitou IOPS a které zpracovávají relativně malé objemy dat, k nimž se však přistupuje často. Tedy oblast databází, data warehouse a případně ukládání systémových metadat, je první oblastí, kde bude přínos nejviditelnější. Proti tomu samozřejmě půjde životnost SSD z hlediska množství zápisu, takže je nutné dobře zvážit celkové chování aplikace. Ale to by ostatně mělo být pravidlem vždy. Jako příklady použití lze uvést:

- Pomocné oddíly databáze – Oddíly (partitions) vytvořené na úložištích NAS/SAN výhradně jako místo pro stránkování určené pro konkrétní aplikace.
- E-mail – Pouze funkce zpracovávání, nikoli dlouhodobé uchovávání – obvykle oddělené procesy ve velkých podnicích sloužící pro scénáře vyrovnávání rovnoměrnosti zatížení.
- Hosting webových stránek
- E-commerce/bankovní transakce – Servery, které zpracovávají transakce nebo které mají velký počet často používaných databázových tabulek.
- Video on Demand – VoD může mít několik různých zdrojů a snaží se ke stejnému souboru přistupovat najednou na několika místech. Tradiční tok obrazových dat je tak rozčleněn a skládán z různě velkých kousků.
- Cloud computing – označuje souhrnně technologie a postupy používané v datových centrech a firmách pro zajištění snadné škálovatelnosti aplikací dodávaných přes Internet. [25]

Optimální nasazení v rámci serverů je také tam, kde externí diskové pole s velkým počtem disků nemá potřebu sdílet data více systémy, případně není potřeba vyšší operativnosti záloh (např. on-line záloha každou hodinu bez ovlivnění výkonu chodu vlastní aplikace apod.).

SSD zde navíc nepřinášejí jen výkonostní výhody. Výhoda může být i například v ušetřených nákladech. Jako příklad si lze představit fiktivní finanční instituci, která při provádění každodenních transakcí spoléhá na disková pole s velkým množstvím pevných disků a to z důvodu rychlé odezvy, ne z důvodu úložné kapacity. V takové případě by mohlo použití SSD, namísto HDD, vytvořit nezanedbatelnou úsporu. Ušetřené náklady by se projevily především v menších nárocích na užitnou plochu, celkových nákladech na vlastnictví a potřebném příkonu a chlazení.

Díky nižšímu zahřívání a tichému provozu je možné umístit diskové pole s SSD disky do míst, kde by normálně nebylo možno použít (kancelářské prostředí, špatné chlazení, apod.). Také delší doba běhu na záložní zdroje při výpadku elektřiny zvyšuje bezpečnost o další stupínek výše.

Navíc poskytovaný výkon by současně byl ještě vyšší. Jedním z výsledků ušetření užité plochy a potřebného příkonu, který není na první pohled tak zřejmý, je vytvoření možnosti uplatnit větší výpočetní výkon v rámci prostorových limitů daného datového centra.

Po implementaci SSD disků by se příkon související s ukládáním dat snížil a bylo by tedy možné využít další nové skříně a vytvořit příkonové rezervy, které by jinak mohly chybět.

Existují již reálné případy velkých společností, které využily výhod SSD. Podle tiskové zprávy serveru computerworld.com [26] hostingové zázemí webového portálu sociálních sítí MySpace zakoupilo a instalovalo SSD hardware za 2 miliony dolarů s prohlášením, že tuto investici lze ospravedlnit zvýšením výkonu a úsporou energie. Při velké zátěži MySpace, stejně jako jiné značně využívané databáze obsluhující například vyhledávače, skončí tak, že obsluhuje přímo z RAM. Kapacita IOPS u SSD disku IODrive Fusion, který si společnost MySpace vybrala, jí umožnila nahradit 8 jádrové servery o výšce 2U s pamětí o kapacitě 192 GB za jednovýškové servery v cenovém poměru lepším než jedna ku jedné, přičemž úspora spotřeby serverů bude více než 50%, vyhnou se obsluhování z nepermanentní RAM a ještě zkrátí dobu čekání na odezvu.

Disk IODrive Solo je SSD disk s rozhraním PCIe, který se vejde do standardního slotu a napájí se přes PCIe port. Vejde se na něj 320 GB SLC NAND za v té době přibližně

7000\$ a dokáže průběžně číst i zapisovat rychlostí přes 1 GB/s. Disk používá algoritmy pro vyrovnávání opotřebení (wear levelling) a smíšený zápis (write mixing) na profesionální úrovni vhodné pro podnikové použití. Výsledkem je jediná PCIe karta, která dosahuje udávaných 130 000 stálých IOPS při smíšených operacích čtení a zápisu o velikosti stránky 4 kB, s latencí pouhých 50 mikrosekund. Pro účely MySpace jde o řešení prakticky na stejné úrovni jako RAM. A to vše je možné díky PCIe, zatímco s rozhraním SATA by těchto výsledků nebylo možné dosáhnout.

Je tedy vcelku jasné, že pro použití serverů, kde je nutný vysoký výkon, se rozhraní SATA nehodí. Zde se přistupuje k dražším avšak mnohem výkonnějším typům využívající rozhraní PCIe. U takovýchto disků asi nikoho nepřekvapí časté použití flash paměti typu SLC. Paměti jsou sice dražší, ale zato však rychlejší, spolehlivější a s vyšší životností.

4.2 VZOROVÉ ŘEŠENÍ

4.2.1 Řešení pro pracovní stanice

Pro domácnosti, případně kanceláře, kde životnost a spolehlivost nehrají takovou roli jako u serverů, je nejdostupnější kategorie levnějších modelů SSD disků s čipy MLC. Nejčastějším rozhraním je tu SATA, proto nahrazení za dosud používaný pevný disk, by se mělo obejít bez problémů. Takovéto SSD disky se dnes pohybují v ceně od 3 do 20 tisíc Kč¹ v závislosti na výrobci a kapacitě. Běžně se pohybují kapacity těchto disků mezi 30-160 GB. Bohužel degradace výkonu disku je v některých případech velice znatelná a proto je vhodné použít disky s podporou TRIM. Je nutné si však dát pozor zda tuto funkci podporuje instalovaný operační systém.

¹ Květen 2010

Výběr správného SSD pro pracovní stanici musí splňovat několik kritérií určených na základě předchozích vlastností těchto zařízení. Jako kritéria byly vybrány:

- **Cena** – Stejně jako u každé jiné komponenty PC, tak i zde je důležitá cena. V případě SSD disků, kde se cena pohybuje ve vyšších částkách je o to důležitější. Maximální hranice pro SSD v pracovní stanici byla stanovena na 10 000 Kč.
- **Kapacita** – Kapacita disku patří mezi jeho základní parametry a mezi kritérii výběru nesmí chybět. Zde více znamená lépe. Minimální hranice byla stanovena na 60 GB.
- **Rychlost čtení** – To, jakou rychlostí se čtou data z SSD, je důležité z hlediska startování OS a aplikací na pracovní stanici. Zde tedy platí čím rychlejší, tím lepší. Jelikož dnešní výkonné pevné disky dosahují rychlostí 150MB/s byla minimální rychlost čtení stanovena na 200 MB/s.
- **Rychlost zápisu** – Rychlost jakou se na SSD zapisují data, v tomto případě není důležitá tak jako čtení. Při běžné práci na pracovní stanici se data spíše čtou, než zapisují.
- **NCQ** – Přítomnost funkce řazení požadavků.
- **TRIM** – Aby se výkon disku po čase nezhoršil, je posledním z vybraných kritérií přítomnost funkce Trim.

Výběr byl dále omezen na SSD s levnější MLC flash pamětí a rozhraním SATA. SLC flash paměti jsou dražší a vhodné spíše pro serverová řešení. Příloha 1 obsahuje tabulku čtrnácti dnes běžně dostupných SSD disků, z kterých bylo vybíráno. Z výběru mohly být vyřazeny červeně označené modely, které jsou hluboko pod hranicí některého z kritérií. Intel X25-V 40 GB a Kingston SSDNow V 30 GB mají rychlost zápisu nižší než mnoho dnešních pevných disků. Výhodou těchto disků je snad jen jejich cena. Vhodné budou tedy spíše do přenosných počítačů, kde i jejich nižší kapacita, kterou disponují, nemusí být tak nutná. Třetím, červeně označeným, modelem je RunCore Pro IV a to z důvodu nepřítomnosti funkce TRIM, která by v žádném SSD disku dnes již neměla chybět.

Podle výše zmíněných kritérií byly nakonec vybrány následující čtyři (v příloze 5 zeleně označené) modely:

1. OCZ Agility 128GB, OCZSSD2-1AGT120G
2. Kingston SSDNow V+ 128 GB, SNVP325-S2/128GB
3. Intel X25-M 80GB 34nm
4. Transcend TS60GSSD25D-M

Tabulka 6 - Parametry vybraných disků²

SSD disk	Kapacita (GB)	Čtení (MB/s)	Zápis (MB/s)	NCQ	TRIM	Průměrná cena (Kč) (květen 2010)
OCZ Agility	128	230	135	Ano	Ano	9 300
Kingston SSDNow V+	128	230	180	Ano	Ano	8 000
Intel X25-M	80	250	70	Ano	Ano	5 500
Transcend	60	230	180	ne	Ano	4 800

Tabulka 6 ukazuje některé z parametrů vybraných disků, které udává jejich výrobce. Z pohledu kapacity jsou nejlákavější první dva modely. Bohužel jejich cena již tak lákavá není. Jelikož pro běžnou práci na pracovní stanici je nejdůležitější rychlost čtení (start OS, nahrávání aplikací apod.), zaměřím se nejdříve na tento parametr. V tabulce mají všechny vybrané typy přibližně stejnou rychlost čtení, navíc výrobce často udává jen rychlost sekvenčního čtení/zápisu, které je mnohem rychlejší než náhodný přístup používaný častěji. Testy provedené pomocí aplikace PCMark Vantage (<http://www.futuremark.com>) a IOMeter [27], které simulují aplikace a podmínky pro testy, podle [28, 29] přinesly následující hodnoty:

Tabulka 7 - Srovnání vybraných disků - čtení

SSD disk	Nahrávání aplikací (MB/s)	Start OS (MB/s)	Hry (MB/s)	Windows Media Player (MB/s)
OCZ Agility	59,5	116,1	131,1	87,2
Kingston SSDNow V+	65	131,1	148,6	101,4
Intel X25-M	130,1	200	193	146,4
Transcend	54,6	109,6	123,3	78,7

² Parametry a ceny získány ze serverů czc.cz, alza.cz a mironet.cz (květen 2010)

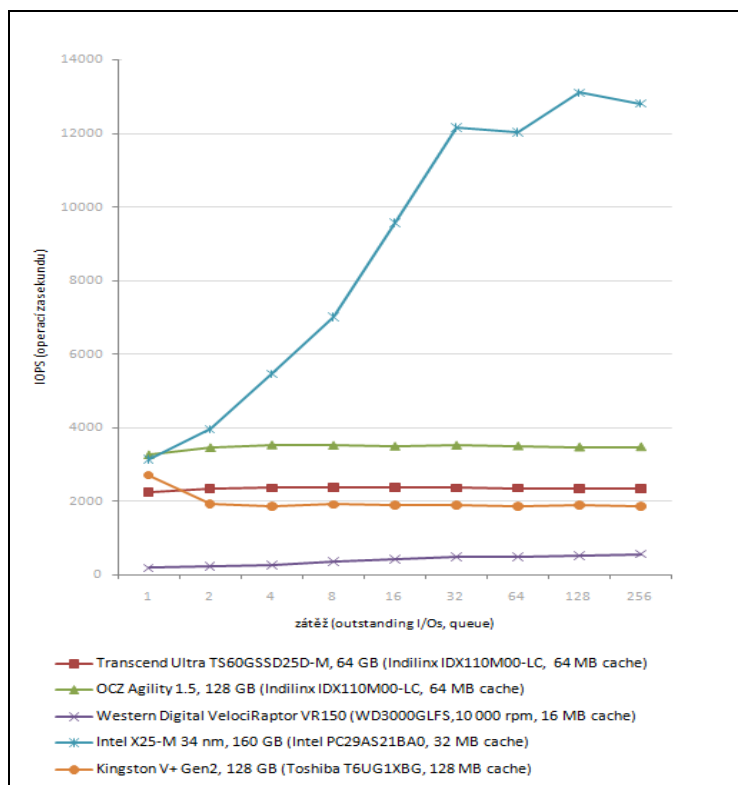
Vybrány byly naměřené údaje, které nejvíce vypovídají o rychlosti čtení při práci na pracovní stanici. Tedy start operačního systému, nahrávání aplikací a rychlost načítání u počítačových her. Je vidět, že mezi všemy vybranými SSD disky vyniká právě disk společnosti Intel.

V případě rychlosti zápisu je na tom Intel podle [28, 29] o něco hůře než ostatní modely (tabulka 8). Avšak jen u sekvenčního zápisu. Zde vyniká model společnosti Kingston. Pokud jde o čtení menších bloků dat, pak si X25-M proti ostatním vybraným modelům nevede špatně.

Tabulka 8 - Srovnání vybraných disků – zápis

SSD disk	Sekvenční zápis (MB/s)	Zápis 512KB bloků (MB/s)	Zápis 4KB bloků (MB/s)
OCZ Agility	133,6	123,6	11,76
Kingston SSDNow V+	181,2	119,2	19,32
Intel X25-M	88,3	67,3	61,4
Transcend	95,1	104,7	8,34

Pro srovnání je tu ještě graf 4 zobrazující závislost IOPS na zátěži (fronta čekajících I/O operací) pro jednotlivé disky a to při běžné práci na pracovní stanici.



Graf 4 - Srovnání výkonu SSD na pracovní stanici [28]

Graf jednoznačně ukazuje, že X-25M nechává ostatní daleko za sebou a ve své kategorii je nejlepší v poměru cena/výkon. Zajímavý je také výsledek výkonného pevného disku VelociRaptor VR150, který zaostává za všemy SSD disky.

80 GB verze modelu Intel X25-M (viz příloha 2) je jednou z nejlepších voleb při výběru SSD disku do pracovní stanice. Hlavním přínosem je rychlost čtení přesahující 200 MB/s. I přes relativně pomalejší zápis 70 MB/s, je čtení mnohem důležitějším faktorem pro rychlost práce na počítači. Z vybraných modelů navíc patří k těm levnějším. Jeho velice nízká váha a velikost 2,5" je ideálním řešením i do přenosných počítačů, které často obsahují pevné disky s rychlostí pouhých 5 400 ot./min.

Díky zapůjčenému 80 GB modelu Intel X25-M, jsem měl možnost zkusit si, jaký je rozdíl při práci na PC s běžným pevným diskem a s diskem SSD. Z důvodu nutnosti vrátit SSD disk zpět v co nejlepším stavu, nebylo možné použít některé z aplikací pro testování [27], které tato zařízení zbytečně opotřebovávají díky častým zápisům. Bylo nutné se tedy spokojit s dojmů, které byly získány při běžné práci na PC. Touto běžnou prací se zde rozumí instalace a spouštění aplikací, antivirová kontrola, komprimační programy, vyhledávání souborů apod. V pracovní stanici s procesorem AMD Athlon A64 X2 4850e, 4 GB operační paměti a OS Windows XP SP3 jsem tak nahradil původní mechanický disk Seagate Baraccuda 160 GB, ST3160815AS s 7 200 ot./min. tímto novým SSD diskem. Aby bylo možné disky porovnat, použil jsem stejný obraz (image)³ disku na každý z nich. Během testu bylo dosaženo následujících výsledků:

- S původním diskem bylo PC po naběhnutí OS ještě přibližně jednu minutu omezeně použitelné, jelikož na pozadí startovalo poměrně hodně aplikací jako antivir, firewall, monitoring PC, miniaplikace, skype, apod. Nyní, s použitím SSD, se tato doba zkrátila na přibližně 5 sekund, což je příjemná změna.
- Rychlost nabíhání aplikací je téměř okamžitá oproti rychlosti s mechanickým diskem.
- Rychlost instalací je o přibližně o 1/3 rychlejší.

³ Použita trial verze programu Acronis True Image Home

- Rychlost načítání her a uložených pozic je podstatně rychlejší, a to od 20% do 80% původního času.

Z testů bylo jednoznačně vidět zrychlení úloh, které mají vysoké požadavky na čtení dat z disku. Nezanedbatelnou výhodou je také nulová hlučnost SSD disku. Pevný disk byl v tomto případě, při plnění náročných úloh, znatelně slyšet.

Nejdůležitějším faktorem zda použít SSD disk v pracovní stanici tak stále zůstává pořizovací cena. Ta se aktuálně pohybuje okolo 5500 Kč, což tento SSD disk nezařazuje mezi nejlevnější, avšak svými parametry zasahuje mezi ty nejlepší. Nevýhodou v tomto případě je také menší kapacita proti původnímu pevnému disku.

Pokud jde o výhodu takovéto investice je nutné se podívat kde bude pracovní stanice s tímto SSD diskem použita. V případě použití v domácnosti jde spíše o individuální požadavky na datové úložiště. Z pohledu vedení společnosti však mohou být rozhodující i jiné faktory. Například v případě pořízení nových disků do pracovních stanic nějakého vývojového centra, kde je zapotřebí výkonných pracovních stanic je důležité zvážit, zda není finančně výhodnější použití SSD disku než klasického pevného disku. Návratnost takovéto investice může být totiž lepší. Jelikož je načítání dat u dnešních SSD disků rychlejší než u pevných disků, budou některé operace vykonány rychleji. Tím dojde k ušetření cenného času a tím pádem i nákladů. V tomto případě lze vypočítat také návratnost investice ROI (Return Of Investments) podle následujícího vzorce:

$$ROI = \frac{Zr - IN}{IN} \cdot 100 \quad (1)$$

Doba návratnosti (DN) se pak počítá podle vzorce:

$$DN = \frac{IN}{Zr} \quad (2)$$

Kde jsou:

Zr - průměrný roční čistý zisk plynoucí z investice.

IN - náklady na investici.

Tabulka 9 – Návrtnost investice

Cena za hodinu (Kč)*	Průměrný čistý zisk za rok (52 týdnů)	ROI (%)	DN (roky)
50	2600	-52,73	2,12
100	5200	-5,45	1,06
150	7800	41,82	0,71
200	10400	89,09	0,53

Tabulka 9 ukazuje jak by mohla vypadat návratnost investice v závislosti na tom kolik společnost stojí daný expert za hodinu práce. Předpokládá se že díky SSD disku bude za jeden týden ušetřena jedna hodina práce.

Z tabulky 9 je vidět, že při hodinové ceně 200 Kč bude roční návratnost investice téměř 90% a doba za kterou se investice vrátí bude přibližně půl roku. V tomto ohledu se zdá investice do SSD disku velice výhodná.

Další nespornou výhodou investice do SSD disku bude určitě menší poruchovost a tím i menší náklady na případné opravy a obnovu ztracených dat. Posledním faktorem je tu pak úspora nákladů v rámci spotřeby energie, a to hlavně v případě investice do většího množství SSD disků do pracovních stanic.

Alternativní řešení

Je vhodné se také podívat na jiné řešení datového úložiště v pracovní stanici, než je SSD disk. Tím může být samozřejmě některý z pevných disků. Jako první příklad byl vybrán model WD VelociRaptor WD1500HLFS s rychlostí otáčení 10 000 ot./min. Tento disk patří mezi výkonné pevné disky a díky vysoké rychlosti otáček dosahuje přístupové doby přibližně 5,5 ms (další údaje viz tabulka 9). Tento disk sice nedosáhne z pohledu výkonu takových výsledků jako Intel X-25M, ale má však jinou výhodu. Oproti variantě s SSD diskem lze za nižší cenu získat téměř dvojnásobnou kapacitu. Velice příjemná je i spotřeba, která díky 2,5" plotnám je dokonce menší než u klasických 3,5" disků se 7 200 ot./min. Nevýhodou je, že data nejsou nijak zabezpečena proti případné poruše disku.

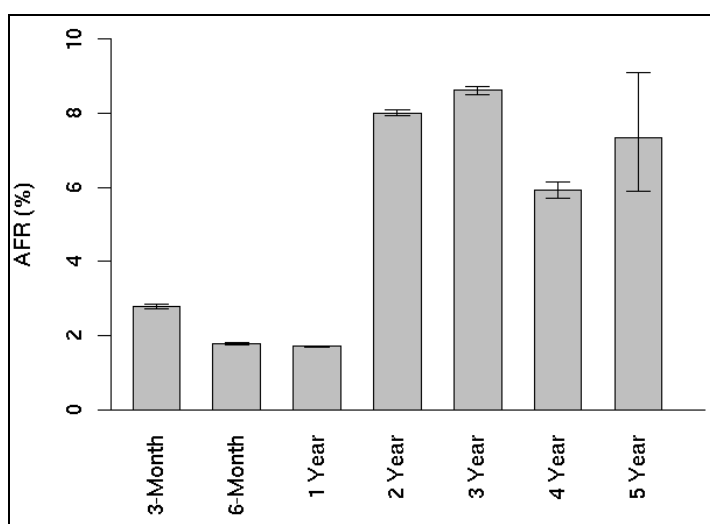
Druhou alternativou je použití dvou pevných disků v diskovém poli RAID 1. Zde byl vybrán disk Seagate Barracuda s rychlostí otáčení 7 200 ot./min. Tento disk s kapacitou 1 TB dnes stojí „pouhých“ 2 000 Kč. Zapojení dvou takovýchto disků do pole RAID 1 způsobí to, že data se při načítání budou číst z obou disků najednou a tím pádem zvýší výkon pracovní stanice. Kapacita bude sice díky zrcadlení dat jen 1 TB místo možných 2 TB, i to je však

mnohem více než varianta s diskem SSD. Data jsou zde navíc zabezpečena proti případné poruše jednoho z disků. Nevýhodou tohoto řešení bude jednoznačně spotřeba energie a hlučnost. Následující tabulka 10 ukazuje rozdíly mezi řešením s SSD diskem a uvedenými alternativami v podobě pevných disků.

Tabulka 10 - Porovnání variant

	Varianta SSD	Alternativa 1	Alternativa 2
Model	Intel X25-M	WD VelociRaptor	Seagate Barracuda
Typ	SSD	HDD	2xHDD (RAID 1)
Modelové označení	SSDSA2M080G2GC	WD1500HLFS	ST31000528AS
Rychlost otáčení ploten (ot./min.)	-	10 000	7 200
Kapacita (GB)	80	150	1 000
Přístupová doba (ms)	0,085	5,5	8,5
Spotřeba při zátěži (W)	0,15	6,08	2x11,6
Rozměr	2,5"	2,5"	3,5"
Cena (Kč)	5 500	4 250	2x2 000

Z tabulky 10 je vidět, že nejlevnější variantou je ta s dvěma disky v poli RAID 1. Za ní těsně následuje alternativa s jedním výkonným pevným diskem. Z pohledu ceny a kapacity se tak mohou zdát tyto varianty nejvýhodnější, je však nutné uvažovat i další okolnosti. Varianty s pevným diskem spotřebují více energie, jsou hlučnější a mají vyšší poruchovost z důvodu mechanických částí. Následující graf 5 udává pravděpodobnost, že pevný disk daného stáří selže během jednoho roku.



Graf 5 - Pravděpodobnost poruchy pevného disku [30]

4.2.2 Řešení pro servery

Databázový server

V případě, že na serveru je provozována SQL databáze, na které je prováděno statisíce dotazů select, delete, update denně, může být řešení formou mechanických disků v diskovém poli nedostačující nebo ekonomicky velice náročné.

V dnešní době taková situace není neobvyklá a setkává se s ní čím dál tím více společností. Čím více se připojuje na server uživatelů, tím více se zhoršuje jeho odezva. Častou reakcí na tento problém bývá:

- **Zvýšení kapacity operační paměti** – Pokud je doplněna operační paměť, výkon serveru se tím zpravidla zvýší. Je vyšší pravděpodobnost, že data s nimiž se pracuje budou nacházet právě v operační paměti.
- **Analýza výkonu serveru a procesoru** – Když výkon klesá a je dosaženo maximální možné operační paměti, jedna z prvních věcí, která je často aplikována je přidání dalších procesorů či přidání serveru do serverové farmy.
- **Analýza SQL příkazu** – Společnosti často investují statisíce za zlepšení efektivity jejich SQL dotazů.

Tato řešení však nemusí v některých případech pomoci. Přidání dalšího procesoru bude mít minimální dopad na výkon serveru v případě, že server musí čekat na pomalejší datové úložiště.

Ani efektivnější SQL dotaz o moc nezlepší výkon serveru, pokud jej bude datové úložiště zdržovat. Pokud se systémový administrátor podívá na datové úložiště, často se přikloní k následujícím řešením:

- **Zvýšení počtu disků** – z disků vytvoří pole RAID a tím rozloží zátěž I/O databáze na všechna fyzická zařízení.
- **Přesunutí nejžádanějších souborů na vlastní disk** – tímto přístupem získáme veškerý výkon disku jen pro tato data. Zde je však omezení v samotném výkonu disku.

A právě zde přichází na řadu SSD disk. V případě, že nejžádanějším datům přiřadím velice rychlý SSD disk, který dokáže obsluhovat velké množství požadavků na I/O operace, výkon databáze závratně vzroste.

Je tedy nutné dále určit, která data jsou ta nejžádanější. U databází to mohou být následující objekty:

- **Transakční logy** – Jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující výkon databáze při zapisování dat. Kdykoli je do databáze zapsáno, SQL server vytvoří transakční log.
- **Temporary database** – Dočasná databáze (nebo také temporary tablespace) se používá pro komplexní sql dotazy, tvorbu indexů apod.
- **Indexy** – Datová struktura, která urychluje přístup k záznamům v tabulkách.
- **Nejpoužívanější tabulky** – Někdy se v databázi přistupuje jen určité skupině tabulek a ostatní jsou používány jen zřídka.

Hodnota IOPS se může ve špičce pohybovat v tisících, v závislosti na počtu uživatelů a jejich prováděných transakcích. Příkladem budiž provoz ERP systém SAP R/3 nad SQL databází. To, jaké budou požadavky na hardware, se určuje pomocí aplikace SAP Quicksizer poskytované právě dodavatelem SAP. Ta tyto požadavky určí v závislosti na počtu uživatelů a dalších požadavků, jako je počet a velikost vytvářených dokumentů ve špičce, mimo špičku apod.

Pro zjednodušení je brána v úvahu referenční instalace SAP R/3 od IBM, která definuje na jednoho uživatele 4 IOPS za předpokladu, že systém pracuje s 8kB bloky a poměr mezi čtením a zápisem je 7:3. Předpokládaná kapacita databáze je 2TB. [31, 32]

V případě, že SAP obsahuje 5 000 účtů a za předpokladu, že ve špičce bude najednou pracovat maximálně polovina (tedy 2 500), bude požadováno asi 10 000 IOPS. Dnes tyto požadavky řeší pole, které by muselo obsahovat mnoho mechanických disků, aby dosáhlo požadovaných IOPS. V tomto případě přibližně 70 disků Seagate Savvio, 147GB s 15 000 ot./min. v poli RAID 10 dosáhne požadovaných 10 000 IOPS. [33, 34]

Dnes takovýto disk stojí kolem 8 000 Kč (červen 2010), což znamená, že nákup těchto disků by stál přibližně 560 000 Kč. Za tuto cenu bude k dispozici úložný prostor o kapacitě

přibližně 4,7 TB, což je více jak dvojnásobek požadované hodnoty. S takovým počtem disků je však nutné počítat i s velkým prostorem, značnou spotřebou a nutným chlazením. V mnoha případech se také může stát, jako například i zde, že kapacita jednotlivých disků bude využita jen z malé části.

Pokud však bude použit jeden z výkonných SSD disků, bude situace jiná. Je nutné hledat SSD disk, který dosáhne požadované IOPS a je natolik spolehlivý, aby mohl být použit v oblasti databází. Zde tedy přichází v úvahu SSD disk s SLC čipy a rozhraním PCIe.

Mezi takováto zařízení patří i v ČR dostupný OCZ Z-Drive e84 (viz příloha 3). Tento disk využívá velmi rychlých paměťových čipů SLC, které dosahují vysoké rychlosti čtení přes 800 MB/s a zápis 750 MB/s (IOPS je až 16 000). Disk je určený slotu PCIe x8, který dovoluje disk použít jako bootovací nebo datový disk. Výhodou je i zabudovaný RAID 0, takže v případě potřeby ještě větších výkonů, stačí koupit další disk. Kapacita 512 GB samozřejmě nenahradí kapacitu všech mechanických disků, ale SSD disk se použije jen pro nejžádanější data (tabulky, indexy apod.). Celou situaci shrnuje následující tabulka 11.

Tabulka 11 - Porovnání variant

	Varianta č. 1 (HDD)	Varianta č. 2 (SSD+HDD)
Počet HDD*	70 (RAID10)	22 (RAID 1)
Počet SSD**	0	1
Požadovaná kapacita (TB)	2	2
Skutečná kapacita (TB)	4,7	2
IOPS	10 000	16 000
Cena (Kč)	560 000	416 000
Spotřeba (W)	700	240

*Seagate Savvio, 147GB (<http://www.seagate.com>)

**OCZ Z-Drive e84, 512GB (<http://www.ocztechnology.com>)

Je vidět, že varianta s kombinací SSD a HDD je o více jak 100 000 Kč levnější. Jelikož databázový server musí běžet nepřetržitě, bude spotřeba 70 pevných disků (průměrně 10W na disk) u první varianty mnohem větší (až trojnásobná), než u varianty kde je použit jeden SSD disk (20W) a 22 pevných disků. Při ceně 4,53 Kč za 1 kWh pro firmy a podnikatele (www.cez.cz, pro rok 2010) to znamená ušetření 18 254 Kč za rok. Kalkulaci spotřeby zobrazuje tabulka 12. Do spotřeby není započítána energie za chlazení, díky které by rozdíl mezi variantami ještě více narostl.

Tabulka 12 - Kalkulace spotřeby

	Varianta č.1	Varianta č.2
Spotřeba za den (kWh)*	16,8	5,76
Spotřeba za rok (kWh)	6 132	2 102,4
Cena za rok (Kč)**	27 777,96	9 523,87

*předpokládá se nepřetržitý provoz 24 hodin denně

**při ceně 4,53 Kč za 1kWh pro rok 2010 (www.cez.cz)

V případě, že se požadavky na výkon zvětší, pak u první varianty nezbyvá než dokoupit další disky. Druhá varianta je na toto připravena. Zvládne až 16 000 IOPS, a to právě díky SSD disku. Návržnost takovéto investice bude v tomto případě značně záviset na tom do jaké míry budou zkvalitněny firemní procesy díky kterým dojde k snížení nákladů. V oblasti ERP systému to může být zkvalitnění logistické podpory, traceability, podpora interních procesů apod.

Lze si samozřejmě představit, že do databáze bude přistupovat mnohem větší množství uživatelů. Příkladem může být dnes velice rychle se rozvíjející trh počítačových her hraných online. Zde v jednu chvíli může hrát několik desítek tisíc uživatelů a požadavky na I/O operace za vteřinu se mohou vyšplhat až na statisíce. V tomto případě je na zvážení, zda nepoužít některou z variant RAM SSD. Tyto zařízení jsou sice nejdražší variantou, zato však ještě výkonější a nevýhoda životnosti jako u flash pamětí tu neexistuje. RAM SSD tak může být použit i na ty nejnáročnější operace zápisu.

Video On Demand

Video on demand (VoD), neboli video na vyžádání lze chápat jako službu nabízející doručení filmu nebo filmového klipu v kvalitě úměrné cílovému zařízení s tím, že vyžádání filmu probíhá nejčastěji přes Internet. Při této možnosti může současně přistupovat mnoho lidí k jednomu souboru a přitom má každý kontrolu nad vlastním přehráváním. Každý uživatel může pozastavit, rychle přehrát, vrátit zpět nebo přehrát od začátku dané médium jak chce.

Služba media serverů se v dnešní době velice rozšiřuje a úspěšné servery tak mohou v jednu chvíli zpracovávat požadavky několika tisíců uživatelů najednou. Společnosti provozující takovéto servery se snaží nalákat co největší množství zákazníků a proto jejich nabídka v podobě filmů a klipů musí být co největší. Takovéto množství dat spolu nese i nutnost provozovat velká datová úložiště. Dnešní pevné disky v diskovém poli tento problém hravě vyřeší. Jiný problém však může nastat, pokud například stejný film bude chtít sledovat více

uživatelů najednou. Disková pole toto řeší rozdělením zátěže na více disků. Existuje ale také řešení v podobě SSD.

V případě tohoto řešení je vhodné uvažovat tyto faktory:

- **Rychlost čtení** – Datové úložiště bude obsahovat víceméně statická data, tedy data, která se jednou na disk uloží a dále se jen budou číst. Z tohoto důvodu je pro tento disk podstatná hlavně rychlost čtení.
- **Kapacita** – Celková kapacita úložiště by měla být co největší. Filmy v digitální podobě zabírají i několik GB dat, v závislosti na kvalitě videa.
- **Zpracování požadavků uskutečněných v jeden okamžik** - předpokládá se velké množství požadavků na čtení často sledovaných filmů, novinek apod. Z tohoto důvodu by mělo mít datové úložiště dostatečnou hodnotu IOPS.

Z důvodu kapacity se může zdát, že SSD v tomto případě vhodné nebude. Jelikož však sledování videa znamená v podstatě pouhé čtení těchto dat, nemusí se v tomto případě vůbec uvažovat o rychlosti zápisu. Z pohledu životnosti buněk flash pamětí lze uvažovat pouze nad zápisem při ukládání videa na server a to jen jeho provozovatelem. K těmto účelům by tedy mohla být použita levnější verze SSD disku s MLC čipy. Zde je situace podstatně lepší v oblasti nabízených kapacit a také cen.

Mezi SSD disky s největší dostupnou kapacitou u nás patří Z-Drive R2 p88 od společnosti OCZ (viz příloha 5). Ten obsahuje několik samotných a vyměnitelných MLC NAND flash pamětí zapojených v režimu RAID 0, díky kterému se celková rychlost čtení a zápisu v případě největšího 2TB modelu pohybuje kolem hranice 1,4 GB/s. Jeho využití by mělo být hlavně pro nejžádanější data (nejsledovanější videa) a tím zajistit, že server dostatečně rychle obslouží všechny požadavky na čtení. Nízká latence SSD disku umožní rychlé přepínání mezi datovými toky a dokáže tak obsloužit značné množství požadavků na čtení dat. V případě ukládání videa na server by se jednalo o zápis statických dat, která by se neměla ve své podstatě měnit. Menší životnost MLC by v tomto případě nehrála takovou roli a v případě nutnosti tu vždy existuje možnost vyměnit paměť za zcela novou. Vysoké požadavky tedy budou pokryty tímto SSD diskem a ostatní data, která nejsou požadována v takové míře (filmové archivy) mohou být uložena na klasických pevných discích, které jsou výhodnější

z pohledu ceny a kapacity. Díky tomu může takový archiv dosahovat kapacity v řádech desítek TB. Za předpokladu, že na serveru se budou vyskytovat filmy v kvalitě MPEG-4 (velikost do 1GB), pak na tento SSD disk se umístí přibližně 2000 filmů. Pro aktuální novinky a nejsledovanější filmy by tato kapacita měla být dostatečná a v případě nutnosti je možné dokoupit další disk.

Návratnost takové investice bude záviset na počtu uživatelů využívajících službu VoD. Tabulka 13 ukazuje, jak by mohla vypadat návratnost investice podle počtu shlédnutí filmů za jeden den za předpokladu že čistý zisk z jednoho shlédnutí bude 5 Kč. K výpočtu ROI a DN byly použity již uvedené vzorce (1) a (2).

Tabulka 13 – Návratnost investice

Průměrný počet shlédnutí za den	Průměrný čistý zisk za rok (Kč)	ROI (%)	DN (roky)
10	18 250	-92,70	13,70
50	91 250	-63,50	2,74
100	182 500	-27,00	1,37
150	273 750	9,50	0,91
200	365 000	46,00	0,68
500	912 500	265,00	0,27

Z tabulky 13 je vidět, že pokud by měla být investice splacena nejdéle do jednoho roku je nutné, aby denně shlédly průměrně 150 filmů. Záruční doba tohoto modelu SSD je tři roky (Czc.cz) a proto by návratnost investice neměla přesáhnout tuto dobu. Podle tabulky 13 by v tomto případě minimální průměrný počet shlednutých filmů za den měl být přibližně 50.

Alternativou by samozřejmě mohlo být diskové pole složené z výkoných disků s velkou kapacitou. Příkladem může být použití 10 pevných disků WESTERN DIGITAL VelociRaptor 600GB v poli RAID 5. Tyto disky mají rychlost 10 000 ot./min. a jejich průměrná přístupová doba je 5,5 ms. Použitelná kapacita takového pole bude 5,4 TB (poslední disk je použit jako kontrolní) a rychlost čtení bude teoretických 1,3 GB/s. Následující tabulka 14 zobrazuje rozdíly v řešení s SSD diskem a řešení s pevnými disky.

Tabulka 14 - Porovnání variant⁴

	SSD řešení	Alternativa
Počet HDD	0	10 (RAID 5)
Počet SSD	1	0
Kapacita (TB)	2	5,4
Čtení (Gb/s)	1,4	1,3
Spotřeba (W)	20	62
Cena (Kč)	250 000	72 000
IOPS	29 000	1 300

Data na pevných discích budou rozložena tak, že při mnoha požadavcích na čtení, což u VoD je běžné, bude zátěž rozprostřena mezi všechny disky a sníží se tak doba čekání serveru na datové úložiště.

Cena řešení s pevnými disky je více jak třikrát nižší než řešení s SSD diskem. Pokud však dojde k tomu, že bude více filmů sledovat například 200 uživatelů najednou, nemusí již pevné disky stačit takovéto požadavky obsloužit. Takové množství dat se do operační paměti najednou nedostane a server tak musí často přistupovat na disky. Z tohoto pohledu bude výhodnější použití právě SSD disku.

⁴ Parametry a ceny získány ze serveru czc.cz

ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo posoudit, zda jsou SSD disky vhodné pro použití v pracovních stanicích a serverech. Určit jejich spolehlivost a bezpečnost, zda mají tato zařízení šanci částečně nebo dokonce plně nahradit stávající pevné disky a najít jejich případné alternativy.

V prvních kapitolách byla popsána technologie flash pamětí na kterou navázal popis toho jaké výhody či nevýhody přináší tyto paměti v oblasti trvalého ukládání dat. Ukázalo se, že SSD disky díky tomu, že neobsahují žádné pohyblivé části dosahují mnohonásobně vyšších rychlostí než běžné pevné disky. Bohužel mají i jednu podstatnou nevýhodu, kterou je omezená životnost paměťových čipů. Snaha je však tuto nevýhodu alepoň minimalizovat pomocí strategií pro řízení zápisu na SSD disk. Lze tak očekávat, že časem bude tento problém zanedbatelný.

V poslední části pak hodnotím SSD v praktickém použití, a to jak pro uživatele a jejich pracovní stanice, tak i pro serverová řešení. Pro jednotlivé oblasti jsem našel způsoby uplatnění a výhody, které by zde SSD disky měly přinést. Dále jsem navrhl řešení pro pracovní stanice, kde se jako nejvhodnější ukázal model Intel X25-M 34nm v 80GB verzi. Svoji cenou dnes sice nepatří mezi ty nejlevnější, ale výkonem se řadí mezi špičkové modely. Jako řešením pro servery jsem navrhl použití modelu Z-Drive e84, který by měl být schopen posloužit jako výkonné datové úložiště nejžádanějších dat databáze. Toto řešení se ukázalo jako levnější alternativa rozsáhlých diskových polí.

Lze říci, že SSD disky si dokázaly najít cestu i mezi zařízení pro ukládání dat a začínají se prosazovat jako konkurence elektromagnetických pevných disků. Kapacita většiny dnešních zařízení sice není plně dostačující pro ukládání obrovských datových objemů, ale jejich výkon je posunuje v žebříčku nejpomalejší komponenty v počítači z poslední příčky směrem nahoru. Vzhledem k tomu, že SSD jsou ve fázi velmi rychlého vývoje a zdokonalování jejich technologií, lze očekávat další nárůst rychlostí, kapacit a úměrný pád cen. Také díky tomu, že jsou založeny na paměťových čipech, lze je integrovat do různých komponent. Velmi dobře si lze například představit, že SSD disk bude ve skutečnosti už přímo součástí základní desky počítače, což může vést k dalším úsporám při jejich nákupu.

SEZNAM ZKRATEK

AFR	Annualized Failure Rate. Procentuelní poruchovost za určitý časový úsek.
AHCI	Advanced Host Controller Interface. Univerzální rozhraní pro komunikaci se SATA řadiči.
DRAM	Dynamic Random Access Memory. Dynamická paměť s přímým přístupem.
ECC	Error Correctings Codes. Korekce chyb.
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. Elektricky mazatelná, programovatelná paměť typu ROM.
ERP	Enterprise Resource Planning. Informační systém, který integruje a automatizuje velké množství procesů souvisejících s produkčními činnostmi podniku.
exFAT	Extended File Allocation Table. Souborový systém vhodný hlavně pro flash paměti.
HDD	Hard Disk Drive. Pevný disk.
I/O	Input/Output operations. Vstupní a výstupní operace.
IOPS	Input/Output Operations Per Second. Počet vstupních a výstupních operací za vteřinu.
JFFS2	Journalling Flash File System version 2.
LogFS	Log-structured File System.
MLC	Multi-Level Cell. Víceúrovňová buňka.
MPEG-2	Motion Pictures Experts Group. Je komprimační datový formát, který slouží ke snížení datového toku a tím i velikosti výsledného souboru u digitálně zpracovávaných videozáznamů.
MTBF	Mean Time Between Failures. Střední doba v hodinách, po kterou se očekává, že zařízení bude bezchybně pracovat.

NAS	Network attached storage. Datové úložiště připojené k síti.
NCQ	Native Command Queuing. Řazení požadavků.
OS	Operační systém.
PC	Personal computer. Osobní počítač.
PCIe	Peripheral Component Interconnect Express. Sběrnice PCI-Express.
PHP	Hypertext Preprocessor. Skriptovací programovací jazyk.
RAID	Redundant Array of Independent Disks. Diskové pole.
RAM	Random-access memory. Paměť s přímým přístupem.
ROI	Return Of Investments. Návratnost investice.
SAN	Storage area network. Vyhrazená datová síť pro připojení zařízení na ukládání dat.
SATA	Serial ATA.
SLC	Single-layer cell. Jednoúrovňová buňka.
SSD	Solid State Drive. Disk bez pohyblivých částí.
SQL	Structured Query Language. Strukturovaný dotazovací jazyk.
VoD	Video On Demand. Video na vyžádání.
VTL	Virtual Tape Library.
XIP	Execute In Place.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] JAROSLAV HORÁK: *Hardware učebnice pro pokročilé, 3. aktualizované vydání*, Computer Press, 2005, ISBN 80-251-0647-0.
- [2] HANS-PETER MESSMER, KLAUS DEMBOWKI: *Velká kniha hardware*, Computer Press, 2005
- [3] PETR BROŽA, MARTIN KUCHARŤ, MIREK JAHODA: *Bible Hardwaru*, B4U Publishing, 2009
- [4] *Pctuning.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-01] RAM disk. Dostupný z WWW: <http://pctuning.tyden.cz/software/ladeni-windows/11165-ram_disk-operacni_pamet_nebo_pevny_disk>
- [5] *Superspeed.com* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.superspeed.com/desktop/ramdisk.php>>
- [6] *Nvidia.com* [online]. 2007 [cit. 2010-05-14]. Technical Brief. Dostupný z WWW: <http://www.nvidia.com/docs/IO/57327/TB-01760-001_v03.pdf>
- [7] Alan R. Olson & Denis J. Langlois : *Solid State Drives* [online]. 2008 [cit. 2010-05-07], Dostupný z WWW: <<http://www.imation.com/PageFiles/83/SSD-Reliability-Lifetime-White-Paper.pdf>>
- [8] *Pctuning.cz* [online]. Výkon SSD disku proti HDD. 2009 [cit. 2010-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://pctuning.tyden.cz/hardware/disky-cd-dvd-br/15788-vykon-ssd-disku-proti-klasickym-hdd-v-realnem-provozu?start=2>>
- [9] DR. SETH P. BATES: *Silicon Wafer Processing*. 2000 [cit. 2010-03-24]. Dostupný z WWW: <http://www.iisme.org/etp/silicon_wafer_processing.pdf>
- [10] *Root.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-05-02]. Technologie flash paměti a způsoby jejich využití. Dostupný z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/technologie-flash-pameti-a-zpusoby-jejich-vyuziti/>>
- [11] Jiří Šádek: *Technologie flash pamětí* [online]. [cit. 2010-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://eldar.cz/manasek/felbox/36nm/flash/links.htm>>

- [12] *Toshiba.com* [online]. [cit. 2010-05-12]. NAND flash applications design guide. Dostupný z WWW:
<http://www.toshiba.com/taec/components/Generic/nand_design/nand_design_guide.pdf>
- [13] *Toshiba.com* [online]. 2005 [cit. 2010-05-12]. NAND vs. NOR Flash Memory. Dostupný z WWW:<http://maltiel-consulting.com/NAND_vs_NOR_Flash_Memory_Technology_Overview_Read_Write_Erase_speed_for_SLC_MLC_semiconductor_consulting_expert.pdf>
- [14] *Supertalent.com* [online]. [cit. 2010-05-10] SLC vs. MLC: An Analysis of Flash Memory. Dostupný z WWW: <http://www.supertalent.com/datasheets/SLC_vs_MLC%20whitepaper.pdf>
- [15] *Spansion.com* [online]. 2007 [cit. 2010-05-12]. Types of ECC Used on Flash. Dostupný z WWW: <http://www.spansion.com/Support/AppNotes/Types_of_ECC_Used_on_Flash_AN_01_e.pdf>
- [16] *CHIP.cz* [online] [cit. 2010-06-07]. Optimalizace SSD. Dostupný z WWW:
<<http://www.chip.cz/clanky/trendy/2009/11/optimalizace-windows-pro-ssd-disky>>
- [17] *Corsair.com* [online]. [cit. 2010-06-01]. Flash Wear Leveling. Dostupný z WWW:
<http://www.corsair.com/_faq/FAQ_flash_drive_wear_leveling.pdf>
- [18] *Computerworld.com* [online]. Hard disk vs. solid-state drive [online], 2009 [cit. 2009-06-11], Dostupný z WWW:
<<http://www.computerworld.com/action/article.do?command=viewArticleBasic&articleId=9134468>>
- [19] *Svethardware.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-06-05]. SSD: Je důležité mít TRIM? Dostupný z WWW: <http://www.svethardware.cz/art_doc-5CDA05BFB48A4CA8C125772800448546.html>
- [20] *Abclinuxu.cz* [online] [cit. 2010-06-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.abclinuxu.cz/clanky/system/do-nbsp-zaznamu-strukturovane-souborove-systemy-v-kazdem-ssd-je-jeden>>
- [21] *Storagesearch.com* [online] [cit. 2010-05-12]. RAM Based SSDs. Dostupný z WWW:
<<http://www.storagesearch.com/ssd-ram.html>>
- [22] *IntelRaid.com* [online]. SAS Performance. Dostupný z WWW:
<http://www.intelraid.com/uploads/6G_SAS_Performance_1_0.pdf>

- [23] *Samsung.com* [online]. Flash SSD calculator. 2009 [cit. 2010-05-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.samsung.com/global/business/semiconductor/products/flash/ssd/2008/calculator/calculator.html>>
- [24] *SanDisk.com* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.sandisk.com/business-solutions/ssd/movie-6-ssd-or-hdd-which-storage-device---solid-state-drives-tutorials>>
- [25] *Root.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-06-01]. Cloud computing. Dostupný z WWW: <<http://zdrojak.root.cz/clanky/cloud-computing-jiny-pohled-na-aplikace/>>
- [26] *Computerworld.com* [online] [cit. 2010-06-13]. Dostupný z WWW: <http://www.computerworld.com/s/article/9139280/MySpace_replaces_all_server_hard_disks_with_flash_drives>
- [27] *Iometer.org* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.iometer.org/doc/downloads.html>>
- [28] *Extrahardware.cz* [online] [cit. 2010-06-11]. Dostupný z WWW: <<http://extrahardware.cnews.cz/transcend-s-indilinxem-vs-dalsi-ssd-pod-windows-7?page=0,2>>
- [29] *Extrahardware.cz* [online]. [cit. 2010-06-08]. Dostupný z WWW: <<http://extrahardware.cnews.cz/transcend-s-indilinxem-vs-dalsi-ssd-pod-windows-7?page=0,4>>
- [30] *Google.com* [online]. Disk failures. Dostupný z WWW: <http://static.googleusercontent.com/external_content/untrusted_dlcp/labs.google.com/cs/papers/disk_failures.pdf>
- [31] *Sap.com* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.sap.com/solutions/benchmark/measuring/index.epx>>
- [32] *Ibm.com* [online]. Dostupný z WWW: <http://www-03.ibm.com/systems/resources/storage_solutions_pdf_xiv_sap.pdf?CACHEID=4b3022004e454ceb91c6f3901a2417e7>
- [33] *Microsoft.com* [online]. Determine resource requirements. Dostupný z WWW: <<http://technet.microsoft.com/en-us/library/bb897498.aspx>>
- [34] *Datacore.com* [online]. RAID spindle calculator. Dostupný z WWW: <http://www.datacore.com/forum/attachments/2112009223731_RAID_spindle_calculator.xls>
- [35] JAN SEDLÁK: *Megatest 19 SSD a HDD disků*. Computer, roč. 09, č.5, str.72-80, CPress Media, 12. března 2009

Příloha 1 - SSD disky

Model	Modelové označení	Kapacita (GB)	Čtení (MB/s)	Zápis (MB/s)	NCQ	TRIM	SMART	Cena (Kč) (květen 2010)
A-Data 2.5" SATAII SSD S592	AS592S-32G-C	30	230	150	ano	ano	ano	2 500
Intel X25-M 160 GB	SSDSA2M160G2GC	160	250	70	ano	ano	ano	11 400
Intel X25-M 80 GB	SSDSA2M080G2GC	80	250	70	ano	ano	ano	5 500
Intel X25-V 40 GB	SSDSA2M040G2GC	40	170	35	ano	ano	ano	3 100
Kingston SSDNow V	SNV125-S2BD/30GB	30	180	50	ne	ano	ano	2 100
Kingston SSDNow V+	SNVP325-S2B/128GB	128	230	180	ne	ano	ano	8 000
OCZ Vertex Series 30 GB	OCZSSD2-1VTX30G	30	200	160	ano	ano	ano	3 600
OCZ Agility Series	OCZSSD2-1AGT120G	128	230	135	ano	ano	ano	9 300
OCZ Agility 2 Series 100GB	OCZSSD2-2AGT100G	100	285	275	ano	ano	ano	12 000
Patriot PS-100	PS32GS25SSDR	32	210	150	ne	ano	ne	2 600
Patriot Zephyr 128GB	PZ128GS25SSDR	128	240	145	ano	ano	ano	9 143
RunCore Pro IV	RCP-IV-S2528-C	128	210	100	ano	ne	ano	12 000
Transcend TS60GSSD25D-M	TS60GSSD25D-M	60	230	180	ano	ano	ano	4 800
Western Digital SiliconEdge Blue	SSC-D0256SC-2100	256	250	170	ano	ano	ano	20 000

zdroj: Alza.cz, Czc.cz, Mironet.cz

Příloha 2 - Intel X-18M, X-25M datasheet

- Available in 1.8" and 2.5" Form Factors
- Capacity: 80 GB and 160 GB
- Uses Intel NAND flash memory Multi-Level Cell (MLC) components
- Read and Write IOPS Specifications (Iometer* Queue Depth 32)
 - Random 4 KB Reads: Up to 35 K IOPS
 - Random 4 KB Writes:
 - 80 GB - Up to 6.6 K IOPS
 - 160 GB - Up to 8.6 K IOPS
- Bandwidth Performance Specifications
 - Sustained Sequential Read: Up to 250 MB/s
 - Sustained Sequential Write:
 - 80 GB - Up to 70 MB/s
 - 160 GB - Up to 100 MB/s
- Latency Specifications:
 - Read: 65 μ s
 - Write: 85 μ s
- Compatibility
 - Intel® SSD ToolBox
 - Intel® SSD Optimizer
 - Intel® Matrix Storage Manager
 - SATA Revision 2.6 compliant, compatible with SATA 1.5 Gb/s and 3 Gb/s interface rates
 - ATA/ATAPI-7 Compliant
 - SSD Enhanced S.M.A.R.T. ATA feature set
 - Native Command Queuing (NCQ) command set
- Certifications and Declarations
 - UL*
 - CE*
 - C-Tick*
 - BSMI*
 - KCC*
 - Microsoft* WHQL
 - VCCI*
 - SATA-IO*
- Power Management
 - 3.3 V (1.8") or 5 V (2.5") SATA Supply Rail
 - SATA Interface Power Management
 - OS-Aware Hot Plug/Removal
- Power Specifications
 - Active: 150 mW (TYP)
(MobileMark* 2007 Workload)
 - Idle: 75 mW (TYP)
- Temperature
 - Operating: 0° C to 70° C
 - Non-Operating: -55° C to 95° C
- Reliability
 - Read Error Rate (BER):
1 sector per 10^{16} bits read
 - Mean Time Between Failures (MTBF):
1,200,000 hours
- Shock, Operating and Non-operating:
1,500 G/0.5 msec
- Vibration
 - Operating: 2.17 G_{RMS} (5-700 Hz)
 - Non-operating: 3.13 G_{RMS} (5-800 Hz)
- Weight
 - 1.8" 5 mm Form Factor: 35 +/-2 grams
 - 2.5" 7 mm Form Factor: 76 +/-2 grams
 - 2.5" 9.5 mm Form Factor: 80 +/-2 grams
- Product Ecological Compliance
 - EU RoHS*
 - Halogen-free
- Data Set Management Command
 - Trim Attribute



zdroj: *Intel.com* [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.intel.com/design/flash/nand/mainstream/index.htm>>

Příloha 3 - OCZ Z-Drive e84 datasheet

Description

Specifications

- » Available in 256GB and 512GB capacities
- » NAND Flash: Single Level (SLC)
- » 256MB Local Cache
- » 4 x SATA controllers
- » Onboard RAID Controller
- » PCI-Express interface(x8)
- » For use as primary boot drive or data storage
- » 195mm x 32mm x 127mm (L x W x H)
- » Weight: 500g
- » Operating Temp: +5°C ~ +55°C
- » Storage Temp: -20°C ~ +80°C
- » MTBF: 1,200,000 hours
- » 3-Year Warranty
- » Compatible with Windows XP32/64, Vista 32/64, Windows 7 32/64, Linux

256GB Max Performance

- » Read: Up to 800 MB/s
- » Write: Up to 750 MB/s
- » Max IOPS (4k random): 16,000

512GB Max Performance

- » Read: 800+ MB/s
- » Write: 750+ MB/s
- » Max IOPS (4k random): 16,000



zdroj: *Ocztechnology.com* [online]. Dostupný z WWW:

<http://www.ocztechnology.com/products/solid_state_drives/ocz_z_drive_e84_pci_express_ssd>

Příloha 4 - RamSan-440 datasheet

OVERVIEW | PRODUCT HIGHLIGHTS

TECHNICAL SPECS

I/Os Per Second

600,000

Capacity

256-512 GB

Bandwidth

4.5 GB per second

Latency

Less than 15 microseconds

Fibre Channel Connection

- 4-Gigabit Fibre Channel (2-Gigabit capable)
- 2 ports standard; up to 8 ports available
- Supports point-to-point, arbitrated loop, and switched fabric topologies
- Interoperable with Fibre Channel Host Bus Adaptors, switches, and operating systems

Management

- Browser-enabled system monitoring, management, and configuration
- SNMP supported
- Telnet management capability
- Front panel displays system status and provides basic management functionality
- Optional Email home feature

LUN Support

- 1 to 1024 LUNs with variable capacity per LUN
- Flexible assignment of LUNs to ports
- Hardware LUN masking

Data Retention

- Non-volatile solid state disk
- Redundant internal batteries (N+1) power the system for 25 minutes after power loss
- Automatically backs up data to Flash memory modules at 1.4 GB/sec

Size

7" (4U) x 24"

Power Consumption (peak)

650 Watts

Weight (maximum)



zdroj: *Ramsan.com* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.ramsan.com/products/ramsan-440.htm>>

Příloha 5 - OCZ Z-Drive R2 p88 datasheet

Description

Specifications

- » Available in 512GB, 1TB, and 2TB capacities
- » 512MB Local Cache
- » Onboard RAID Controller
- » Optimized for background Garbage Collection
- » PCI-Express interface (x8)
- » 8 x SATA Controllers
- » For use in enterprise storage environments
- » Weight: 500g
- » Operating Temp: 0°C ~ 70°
- » Storage Temp: -45°C ~ +85°C
- » MTBF: 1,000,000 hours
- » [3-Year Warranty](#)
- » Compatible with Windows 7, XP, Vista, Linux
- » *Coming Soon!* Mac OSX support

512GB Max Performance

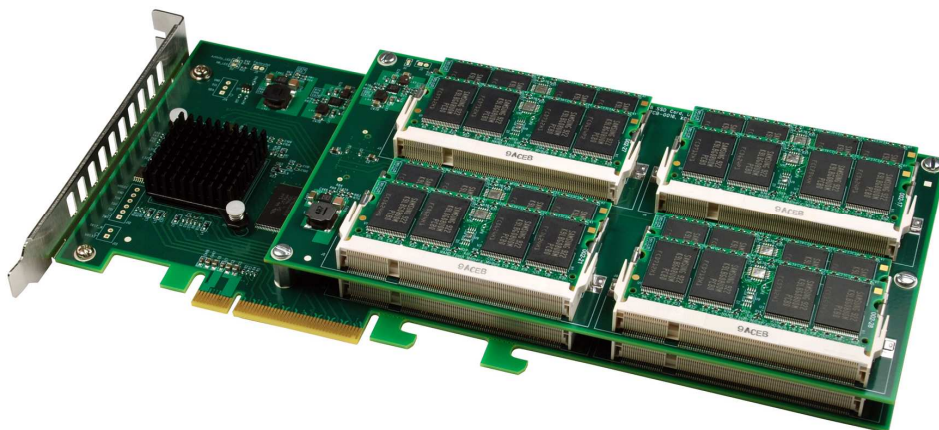
- » Read: Up to 1.3GB/s
- » Write: Up to 1GB/s
- » Sustained Write: Up to 550 MB/s

1TB-2TB Max Performance

- » Read: Up to 1.4GB/s
- » Write: Up to 1.4GB/s
- » Sustained Write: Up to 950 MB/s

Part Numbers

- » 512GB - OCZSSDPX-ZD2P88512G
- » 1TB - OCZSSDPX-ZD2P881T
- » 2TB - OCZSSDPX-ZD2P882T



zdroj: *Ocztechnology.com* [online]. Dostupný z WWW:

<<http://www.ocztechnology.com/products/solid-state-drives/pci-express/z-drive-r2/mlc-performance-series/ocz-z-drive-r2-p88-pci-express-ssd.html>>