



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

SOUBOROVÉ SYSTÉMY NA RŮZNÝCH TYPECH PAMĚŤOVÝCH MÉDIÍ

VARIOUS FILE SYSTEMS USED ON DIFFERENT STORAGE DEVICES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

PAVLÍNA BORTLOVÁ

Ing. JAKUB LOJDA

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav počítačových systémů

Akademický rok 2015/2016

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Bortlová Pavlína**

Obor: Informační technologie

Téma: **Souborové systémy na různých typech paměťových médií**
Various File Systems Used on Different Storage Devices

Kategorie: Počítačová architektura

Pokyny:

1. Seznamte se s problematikou ukládání dat na různá paměťová média, jako jsou SD karty, flash disky, HDD, SSD.
2. Seznamte se se souborovými systémy používanými na paměťových médiích různého typu jako jsou FAT, NTFS, XFS, ext4, btrfs, exFAT, JFFS, F2FS.
3. Proveďte a zdokumentujte měření rychlosti čtení a zápisu vybraných kombinací paměťové médium - souborový systém.
4. Pokuste se identifikovat vhodné souborové systémy pro každé ze zvolených paměťových médií s ohledem na způsob použití.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Bez požadavků.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Lojda Jakub, Ing.**, UPSY FIT VUT

Datum zadání: 1. listopadu 2015

Datum odevzdání: 18. května 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav počítačových systémů a sítí
602 00 Brno, Božetěchova 2



doc. Ing. Zdeněk Kotásek, CSc.
vedoucí ústavu

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou ukádání dat na různá paměťová média, konkrétně na HDD, SSD, flash disky a SD karty. V teoretické části práce jsou rozebrány principy funkce paměťových médií a struktura ukládání dat prostřednictvím různých souborových systémů. V praktické části byla měřena rychlost čtení a zápisu vybraných kombinací souborových systémů (FAT, NTFS, XFS, ext4, btrfs, exFAT, JFFS, F2FS) a paměťových médií (HDD, SSD, flash disk, sd karta).

Abstract

The bachelor thesis deals with storing data on various storage devices, namely on the HDD, SSD, flash drives, SD cards. In the theoretical part are discussed principles of functions storage media and data storage structure through various file system. In the practical part was measured read and write speeds selected combinations of file systems (FAT, NTFS, XFS, ext4, btrfs, exFAT, JFFS, F2FS) and storage devices (HDD, SSD, flash drive, sd card).

Klíčová slova

BTRFS, NTFS, ext4, XFS, FAT, exFAT, JFFS, F2FS, souborový systém, paměťové médium, SSD, HDD, USB flash disk, SD karta

Keywords

BTRFS, NTFS, ext4, XFS, FAT, exFAT, JFFS, F2FS, file system, storage devices, SSD, HDD, USB flash disk, SD card

Citace

BORTLOVÁ, Pavlína. *Souborové systémy na různých typech paměťových médií*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Lojda Jakub.

Souborové systémy na různých typech paměťových médií

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jakuba Lojdy. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Pavλίna Bortlová
25. května 2016

Poděkování

Poděkování patří hlavně mému vedoucímu práce Ing. Jakubovi Lojdovi, který mě svou trpělivostí, ochotou poradit a vést mé myšlenky tím správným směrem, dokázal motivovat a dovést až do zdárného cíle.

© Pavλίna Bortlová, 2016.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	3
2	Technologie úložišť	4
2.1	Diskové paměti	4
2.1.1	Princip magnetického záznamu	4
2.2	Flash paměti	6
2.2.1	NOR	6
2.2.2	NAND	7
2.2.3	Princip záznamu v pamětech flash	7
3	Úložiště	9
3.1	První typy úložišť	9
3.2	Pevný disk HDD	10
3.2.1	Historie a vývoj	10
3.2.2	Stavba a struktura	11
3.2.3	Kapacita	14
3.2.4	Rychlost	14
3.2.5	Spolehlivost	14
3.2.6	Použití	14
3.3	Pevný disk SSD	15
3.3.1	Historie a vývoj	15
3.3.2	Stavba a struktura	15
3.3.3	Kapacita	16
3.3.4	Rychlost	16
3.3.5	Spolehlivost	17
3.3.6	Použití	17
3.4	SD karta	17
3.4.1	Historie a vývoj	17
3.4.2	Stavba a struktura	17
3.4.3	Kapacita	18
3.4.4	Rychlost	19
3.4.5	Spolehlivost	19
3.4.6	Použití	20
3.5	USB flash disk	20
3.5.1	Historie a vývoj	20
3.5.2	Stavba a struktura	20
3.5.3	Kapacita	21
3.5.4	Rychlost	21

3.5.5	Spolehlivost	22
3.5.6	Použití	22
4	Souborové systémy	23
4.1	FAT	23
4.2	NTFS	24
4.3	exFAT	24
4.4	XFS	25
4.5	ext4	25
4.6	BTRFS	26
4.7	JFFS	26
4.8	F2FS	26
5	Testování souborových systémů	28
5.1	Způsob testování	28
5.1.1	Použitý software	28
5.1.2	Hardwarové vybavení	29
5.1.3	Postup	30
5.2	Výsledky testování	31
5.2.1	Pevný disk HDD	31
5.2.2	Pevný disk SSD	34
5.2.3	SD karta	36
5.2.4	USB flash disk	39
5.3	Zhodnocení	42
6	Závěr	43
	Literatura	44
	Přílohy	49
	Seznam příloh	50
A	Obsah CD	51

Kapitola 1

Úvod

Paměťová média jsou nedílnou součástí počítače, používáme je pro zaznamenávání a udržování dat při běhu a také po vypnutí počítače. Paměťová média jako HDD nebo SSD mohou být přenositelná a nebo nepřenositelná, za to USB flash disk a SD karta jsou jen přenositelná média. Souborový systém je používán k organizaci dat do souborů na paměťovém médiu. V této bakalářské práci se budeme zabývat testování souborových systémů na čtyřech typech paměťových médií, a to na HDD, SSD, USB flash disku a na SD kartě. Pro každé paměťové médium vybereme souborové systémy, které budou testovány. Nejvíce se budeme zajímat o rychlost sekvenčního zápisu, sekvenčního čtení, náhodného zápisu a náhodného čtení. Následně vybereme podle výsledných dat nejlépe hodící se souborový systém pro každé paměťové médium.

Secondary Storage



floppy disk



hard disk



memory cards



USB flash drive



DVD



CD



Kapitola 2

Technologie úložišť

V této kapitole se budeme zabývat dvěma typy technologií úložišť. První bude technologie diskových pamětí a druhá technologie flash pamětí. V první kapitole se zaměříme na princip magnetického záznamu a jeho metody. U flash pamětí se nejříve zmíníme o dvou typech paměťových buněk NOR a NAND a následně popíšeme, jak probíhá čtení záznamu dat a jaké jsou náležitosti před zápisem dat. Od tohoto místa budeme v textu slovo „paměť“ chápat jako nevolatilní paměť nebo také úložiště.

2.1 Diskové paměti

Diskové paměti jsou paměti, které se skládají alespoň z jedné rotující plotny disku. Existují tři hlavní druhy diskových pamětí, které se dělí podle způsobu záznamu, jsou to:

- magnetický,
- optický,
- magneticko-optický.

2.1.1 Princip magnetického záznamu

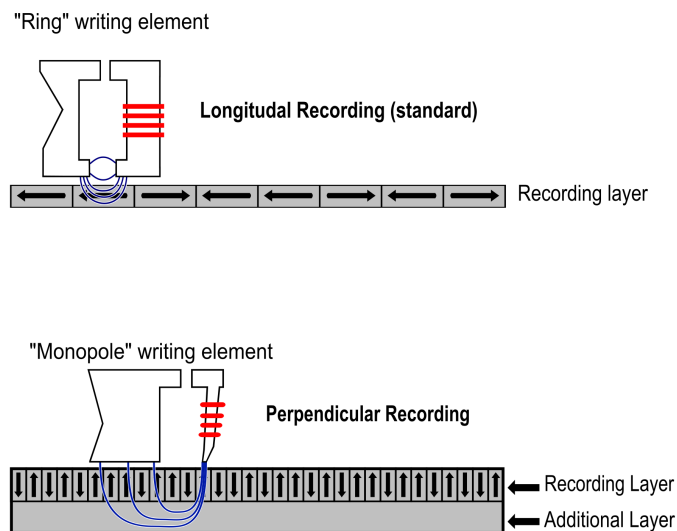
Jednou z metod pro čtení a zápis dat je metoda magnetického záznamu. Tato metoda se používá u magnetických médií. Princip metody spočívá v převedení bitů na magnetické impulzy, které se zaznamenají na zmagnetizovaný povrch ploten [8]. Postupem času se, pro rozpoznání bitů informací z impulzů zapsaných na povrchu disků, vyvinuly tyto typy metod:

- podélný záznam LMR (Longitudal Magnetic Recording),
- kolmý záznam PRM (Perpendicular Magnetic Recording),
- šindelový záznam SMR (Shingled Magnetic Recording).

Nejstarším typem záznamu byl podélný záznam (LMR)[55], který se objevil s prvními magnetickými médii. Bity byly ukládány podélně na stopu a horizontálně k točícímu se disku. První metodou podélného záznamu byla metoda FM, která při zápisu bitu 1 měnila magnetický tok, naopak u zápisu bitu 0 se magnetický tok neměnil. Pro rozeznání jednotlivých bitů se používal speciální synchronizační impulz. Největší možnou hustotou záznamu bylo 150 GB/in².

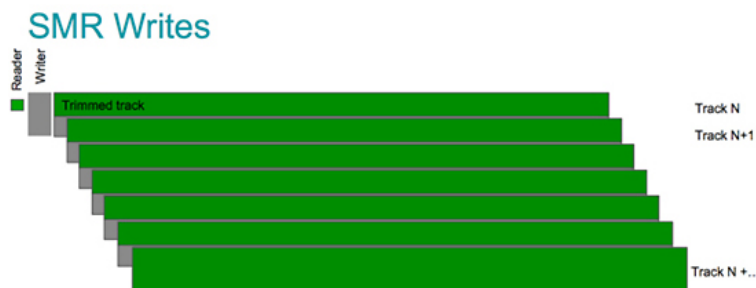
Donedávna nejpoužívanějším typem záznamu byl kolmý záznam (PRM), který byl poprvé představen v roce 2005 firmou Toshiba [52, 51] a umožnil zvýšit hustotu záznamu až na 900 GB/in². Oproti předešlému typu záznamu vzrostla kapacita pevného disku trojnásobně. Záznamy se zapisovaly vertikálně k točícímu se disku.

Na obrázku 2.1 je zobrazen rozdíl mezi podélným a kolmým typem záznamu. Šipkami na záznamové vrstvě je znázorněna polarita magnetického zápisu bitů. I když není poměr velikosti obrázků stejný, je zde vidět, že na povrch média s kolmým záznamem lze uložit více záznamových bitů. Z obrázku si můžeme všimnout rozdílnosti čtecích/zápisových hlav.



Obrázek 2.1: Princip podélného a kolmého magnetického záznamu

Třetím a nejnovějším typem je šindelový záznam (SMR) [25, 54], který umožňuje zvětšit kapacitu disku o 25%. V roce 2013 firma Seagate odhalila pevné disky s šindelovým záznamem. Na obrázku 2.2 je ukázán rozdíl šířky čtecí a zápisové hlavy. Tento rozdíl umožnil překrývání dat, které je také na obrázku znázorněno. Ovšem pokud byla nutná oprava dat, musely se data, od místa kde se pravovalo až do konce disku, znovu zapsat. Tento typ záznamu rozdělil stopy do pásů, které umožnily šindelový nebo nešindelový záznam. Šindelový záznam byl výhodný pro sekvenční záznam, ale naopak byl problémový pro náhodný záznam dat.



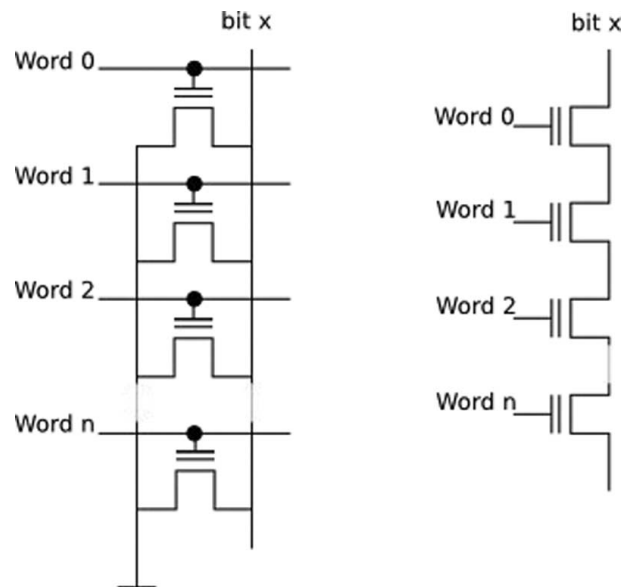
Obrázek 2.2: Ukázka šířky čtecí a zápisové hlavy a překrývání pásů dat

2.2 Flash paměti

Flash paměť je tvořena stránkami, bloky a rovinami (plane) [41]. Rovina je obvykle složena z 1024 bloků. Počet stránek v jednom bloku se liší podle technologie buněk. Stránku tvoří paměťové buňky, které jsou tvořeny tranzistory. K flash paměti je připojen řadič, který umožňuje komunikaci a práci s flash pamětí. Flash paměti mohou být tvořeny jednou ze dvou hlavních technologií flash:

- NOR,
- NAND.

Na obrázku 2.3 vidíme rozdíl uspořádání tranzistorů těchto dvou technologií. Vlevo je zobrazena část NOR buňky a vpravo část NAND buňky.



Obrázek 2.3: Uspořádání paměti flash typu NOR a NAND

2.2.1 NOR

Čip s technologií NOR [40] je tvořen buňkami, které jsou k sobě paralelně připojeny, což umožňuje náhodný přístup k datům. Čtení nahodných dat je tudíž rychlejší. NOR flash paměť je vhodná pro aplikace, která využívají vysokorychlostní čtení dat, ale nepotřebuje uložit velké množství dat do paměti. Nejčastěji se NOR flash paměť používá pro uložení kódu a dat, která se často mění. NOR čipy můžeme rozdělit do dvou hlavních kategorií, podle jejich rozhraní [27]:

- seriový NOR flash,
- paralelní NOR flash.

Seriový NOR flash je díky vysokorychlostnímu sekvenčnímu čtení v paměťovém poli a malé velikosti prepisovatelných bloků na míru navržen pro aplikace, které používají programový kód nebo ukládají data různých velikostí. Dalšími výhodami jsou malá velikost čipu a malý počet pinů, které se využívá například u aplikací pro počítače, servery a modemy/routery.

Paralelní NOR flash je oproti seriovému NOR flash rozměrově větší a má více pinů. Tento druh čipu je vhodný pro aplikace, které využívají rychlý start systému a používají vysokorychlostní XIP operace¹ s rychlou odezvou.

2.2.2 NAND

Druhou technologií je technologie NAND. Čipy NAND flash jsou taktéž tvořeny buňkami, které jsou však zapojeny v sérii. Toto zapojení umožnilo zmenšit velikost buněk, ale zpomalilo čtení náhodných dat a znemožnilo přístupu k jednotlivým bitům informací. Technologie NAND přispěla ke zvětšení kapacity a díky větší hustotě záznamu umožnila snížit cenu za bit paměti na úkor snížení životnosti paměti. V porovnání s NOR povoluje NAND systém rychlejší mazání a zapisování v bloku dat. NAND paměti se používají k ukládání dat a kódu. Čipy NAND můžeme rozdělit do dvou kategorií:

- Raw NAND,
- Fully managed NAND.

Raw NAND vyžaduje externí management, ale je to NAND flash paměť s nejnižší cenou za GB. Do této skupiny se zařazují NAND flash paměti s různým uspořádáním buněk, jakou jsou:

- SLC (Single-level cell),
- MLC (Multi-level cell),
- TLC (Triple-level cell).

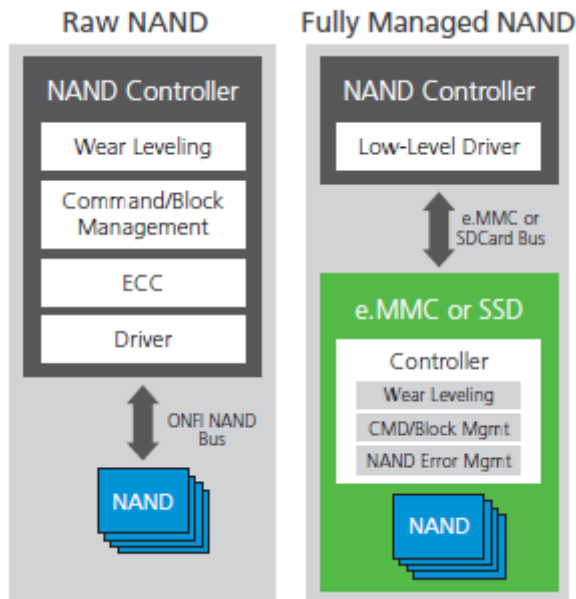
Fully managed NAND obsahuje paměťový management uvnitř NAND čipu. Do této kategorie patří NAND čipy, které se například používají v SSD discích. Na obrázku 2.4 je znázorněn rozdíl v umístění managementu paměti na čipu NAND.

2.2.3 Princip záznamu v pamětech flash

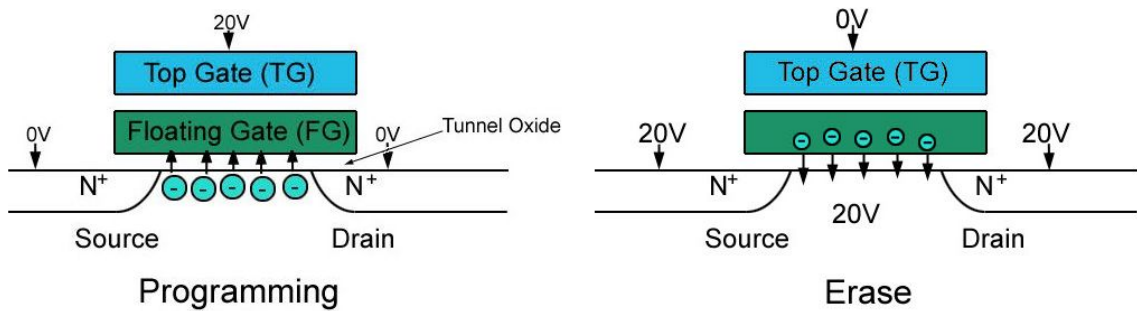
V této části se zaměříme na zaznamenávání na média jako jsou SSD pevné disky, SD karty a USB flash disky. Každý z těchto typů zařízení může být založen na jiné technologii flash. Technologie flash zapisuje data pomocí elektrických impulzů do tranzistoru, který dokáže udržet informaci i po odpojení napájení paměti, což je definicí nevolatilní paměti. Určitá informace je zapsána podle úrovně napětí v tranzistoru. Podle typu buňky je určen počet stavů, kterých může buňka nabývat. Buňka může například nabývat stavů „0“ a „1“. Stav „0“ znamená, že je buňka nabitá a je do ní zapsaná informace. Druhý stav „1“ znamená, že je buňka vybitá a nenesou žádnou informaci. Před každým zapsáním do buňky se musí provést vymazání (vybití) buňky [58]. Na obrázku 2.5 je zobrazení buňky SLC a jeho programování (zápis) a mazání dat.

Jelikož je u NOR čipu buňka samostatně adresovatelná, můžeme číst a zapisovat informace bit po bitu. Oproti NOR čipu je nejmenší adresovatelnou jednotkou u NAND čipu stránka. Tudíž čtení a zápis u NAND čipu probíhá po stránkách. Mazání buněk se u čipů NOR a NAND provádí po blocích. Pokud je buňka/stránka vymazána jde do ní jednoduše zapisovat. U NAND čipu se zápis do nevymazané buňky komplikuje. Jestliže není stránka u NAND čipu smazaná, následuje kopírování dat z bloku do vyrovnávací paměti (buffer).

¹eXecute In Place - operace, která před spuštěním nepotřebuje překopírovat do operační paměti



Obrázek 2.4: Rozdělení na Raw a Managed NAND flash paměti



Obrázek 2.5: Zápis a mazání SLC NAND paměťové buňky

Poté se provede vymazání celého bloku dat z paměti flash, na bufferu se provede operace zápisu celé stránky a nakonec se kompletní blok zapíše zpátky do flash paměti.

Kapitola 3

Úložiště

Proč je důležitá paměť? Už od nepaměti jsou vzpomínky uloženy v paměti nejdůležitější částí lidského života. Vzpomínky, taktéž i informace, které usnadňují a urychlují rozhodování v situacích, ve kterých se člověk už někdy ocitl. Jelikož lidská paměť není nekonečná, velice často se stává, že člověk i přes dobrou paměť zapomene informace, které se naučil. Z tohoto důvodu se začaly používat pomůcky, například papír a tužka, které napomáhaly k uložení informací mimo lidský mozek. S začátkem doby počítačů si lidé uvědomili, že díky paměti si mohou práci ulehčit. V této kapitole se budeme zabývat nevolatilními pamětmi, které uchovávají data (informace) i po odpojení zdroje napájení. Tyto paměti se nazývají „storage“, česky přeložené jako úložiště.

3.1 První typy úložišť

Za první typ automatizovaného úložiště považujeme děrný štítek, který byl vynalezen na přelomu 18. a 19. století jako nástroj pro zaznamenávání informací o textilním a oděvním průmyslu. Jako počátek využití děrného štítku, ve smyslu úložiště dat, které jsou využitelné pro elektronické zařízení, můžeme považovat rok 1880. V tomto roce ho americký statistik Herman Hollerith použil při vytvoření mechanismu, který dokázal z děrného štítku získat data a následně z nich na svém prototypu přístroje vytvořit statistiku [12]. Nejpoužívanější formát vytvořila firma IBM [5] a byl tvořen 80 sloupci a 24 řádky. Na obrázku 3.1 je znázorněn děrný štítek s příkladem znaků, které na něm mohou být zapsány.

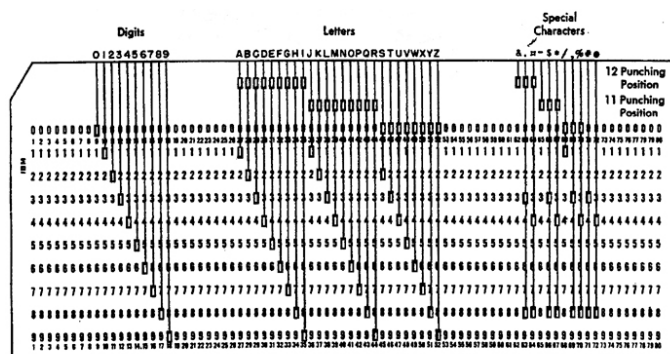


Figure 2. Punching Positions in Card

Obrázek 3.1: Děrný štítek¹

S přechodem na elektronické přístroje se zjistilo, že tyto přístroje dokázaly zpracovávat

informace mnohem rychleji, než je bylo možné číst z dřevěného štítku. Nástupcem dřevěného štítku se stala magnetická páska [6], která pomocí technologie magnetického záznamu umožňovala mnohonásobně zrychlit zápis a čtení informací. První zmínka o magnetické pásce se datovala do roku 1951, kdy byla poprvé použita v počítači UNIVAC I pro ukládání dat. Zápisování a čtení probíhalo pomocí převíjení pásky, navinuté na dvě cívky, z jedné strany na druhou. Sekvenční zápis způsobil problémy při náhodném přístupu k datům, protože se část pásky muselo převíjet. Z počátku byla doba přístupu k datům velmi dlouhá a při větších rychlostech se při zastavování páska přetrhávala. Rychlost převíjení bylo možné zvětšit, pokud se magnetická páska uschovala ve vakuu, ale i tento pokus o zkrácení doby přístupu k datům nebyl dostačující. Proto byla magnetická páska nahrazena magnetickým diskem. Dnes se stále používá jako nástroj pro zálohování dat.

Jednou z výhod magnetického disku byl efektivnější přístup k náhodným datům. Zásadní výhodou však byla možnost zvýšení hustoty záznamu, čímž se snížila cena za objem dat na disku. Magnetický disk se stal součástí moderních úložných systémů, jako byl pevný disk a disketa.

3.2 Pevný disk HDD

V této části nastíníme historii pevného disku od počátku až do dnešní doby. Následně si popíšeme stavbu disku a zaměříme se na nejdůležitější vlastnosti jako je kapacita, rychlost pevného disku HDD, spolehlivost a jeho použití.

3.2.1 Historie a vývoj

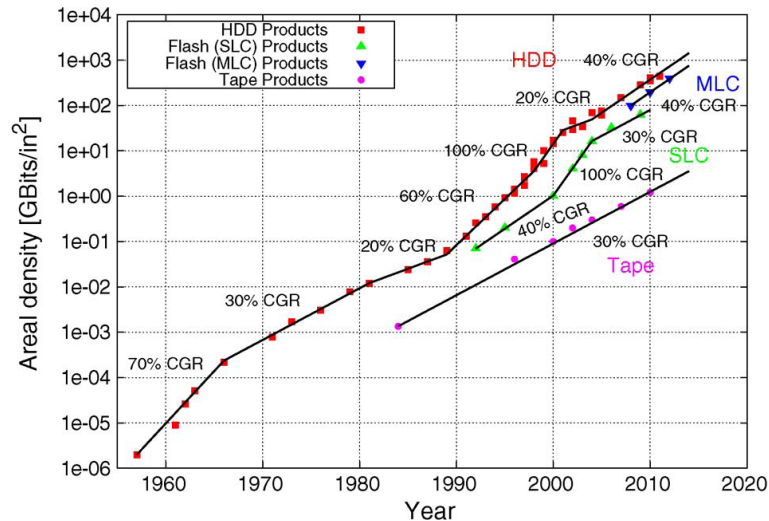
První pevný disk, IBM 350 Disk File, byl sestaven firmou IBM a představen v roce 1956 jako součást počítače IBM 305 RAMAC. Tento disk měl kapacitu 5 MB z nichž použitelných bylo 3,75 MB. Tvořilo ho 50 magnetických ploten strukturovaných po 24 *in* na plotnu a maximální rychlost rotace ploten byla 1200 otáček za minutu. Každá strana plotny obsahovala 100 nahrávacích stop a pro přístup se používaly dvě čtecí hlavy, které byly upevněné na ramenech. Pohyb ramen umožňoval servomotor, který přesunoval hlavy nad plotnami.

IBM 1301 Disk Storage Unit, z roku 1961, měl oproti IBM 350 jedno pohyblivé rameno, na kterém byly upevněny všechny hlavy. Tyto hlavy se pohybovaly společně nad plotnami, což přispělo ke kratší vyhledávací době. Postupem času se rozměry pevného disku zmenšovaly a jeho kapacita rostla. Firma Toshiba 24. února 2015 pšišla na trh s zařízením o kapacitě 3 TB a s průměrem disku 2,5 *in*, dosáhla hustoty záznamu 1 TB/in^2 , čímž se zvýšila hustota záznamu o 40% u klientského pevného disku [7].

Na obrázku 3.2 je znázorněn vývoj hustoty záznamu pevného disku (HDD) v porovnání s páskami (Tape) a Flash technologiemi od roku 1956 do současnosti. Hustota záznamu je znázorněna v jednotkách $GBit/in^2$. Každý bod na grafu určuje hustotu záznamu, která byla v daném roce použita. Text „30% CGR“ nad grafy určuje složenou míru růstu, která pochází z CARG (Compound annual growth rate) [22, 50], která je zkratkou pro složenou roční míru růstu.

V současnosti se klade důraz na zrychlení disku a zvětšení kapacity. Aby se toho mohlo dosáhnout, zkoumají se nové metody záznamů s menšími změnami magnetizace a pracuje se na vývoji nových lepších záznamových vrstev disku.

¹<http://www.columbia.edu/cu/computinghistory/026-card.jpg>



Obrázek 3.2: Vývoj hustoty záznamu od prvního pevného disku až do současnosti

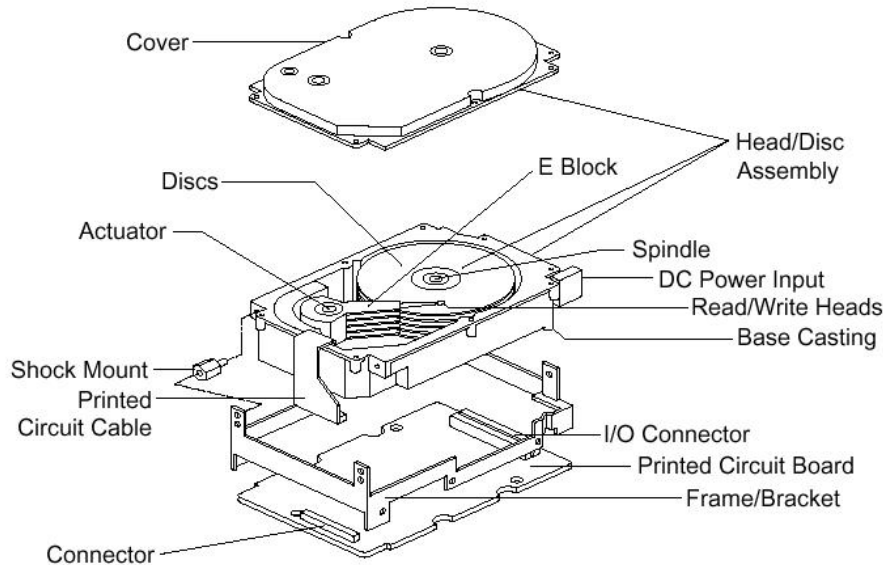
3.2.2 Stavba a struktura

Na obrázku 3.3 vidíme z čeho se skládá pevný disk. Celé zařízení je uloženo v pevném krytu, který zamezuje přístupu prachových částic, vzduchu a chrání ho před mechanickým poškozením. Pro připojení disku k počítači slouží konektor, který je připojen na rozhraní disku. Postupem času se používaly různé typy rozhraní, podle kterých také můžeme disky rozdělit [20]:

- rozhraní ST506/412,
- rozhraní ESDI,
- rozhraní IDE (ATA),
- rozhraní SCSI,
- rozhraní SATA,
- rozhraní eSATA,
- rozhraní FireWire,
- rozhraní USB.

První dva typy rozhraní ST506/412 a ESDI jsou už zastaralé a nepoužívané. Rozhraní ST506/412 neobsahovalo řadič disku, řadič byl umístěn na konci konektoru systémové sběrnice [21]. Rozhraní ST506/412 používalo stejně jako rozhraní ESDI 34 pinový kabel pro napájení a 20 pinový kabel pro data, ale společně nejsou nijak kompatibilní, jelikož první ze zmiňovaných rozhraní pracovalo paralelně a druhé sériově. Nástupcem ST506/412 bylo paralelní rozhraní IDE, které mělo řadič přesunutý do samotného pevného disku a pracovalo digitálně oproti ST506/412. Nástupcem rozhraní ESDI se stalo SCSI, které se používá především u výkonných počítačů a serverů. Jelikož cena pevného disku s SCSI je mnohem vyšší než s IDE, jeho použití u běžných počítačů je minimální. U sériových rozhraní, jako je SATA, je výhodou větší přenosová rychlost, protože zřejmě největší přenosová rychlost

u paralelních rozhraní je 133 MB/s a tuto rychlost již není možné navyšovat. Narozdíl od paralelních rozhraní je u seriových SATA a eSATA největší prozatimní rychlost 6 Gb/s [45]. Jedno z externích rozhraní pro disky je rozhraní FireWire, jeho maximální přenosová rychlost je 800 MB/s. Dnes nejpoužívanější rozhraní pro externí disky je rozhraní USB 3.0 s maximální přenosovou rychlostí 5 Gb/s.



Obrázek 3.3: Složení pevného disku

Nejdůležitější části disku jsou plotny s daty a čtecí/zápisové hlavy, které dokáží pracovat s magnetickými impulzy na povrchu ploten. Od spuštění disku jsou plotny udržovány neustále v pohybu pomocí motoru, který je umístěn ve středu ploten. Abychom získali nebo zapsali data, musí se čtecí/zápisové hlavy přesunout nad plotny, což umožňuje vystavovací mechanismus, který se skládá z ramena a pohonu. Hlavy jsou umístěny velice blízko povrchu, což zvětšuje přesnost čtení a zápisu, protože je hlava citlivější na magnetické impulzy zapsané na povrchu plotny. Jak funguje čtení a zápis je vysvětleno v sekci 2.1.1.

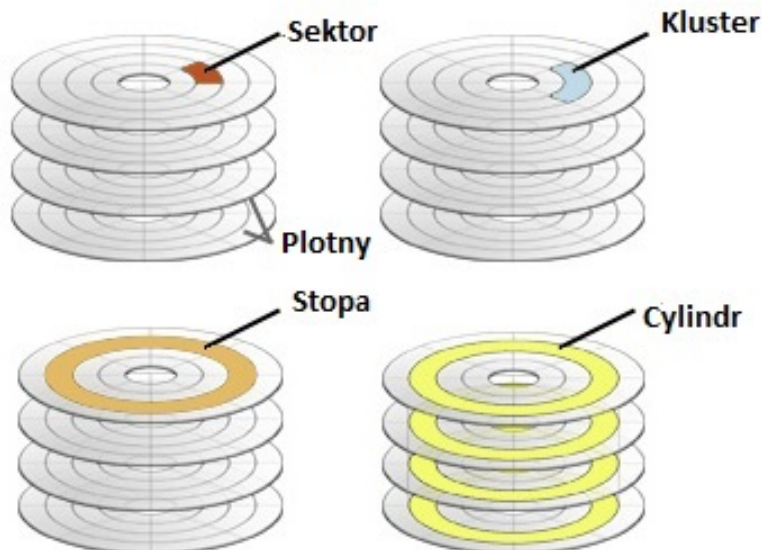
Pro bezproblémové použití pevného disku je nutné mít ho správně naformátovaný. Existují 3 druhy formátování, a jsou to:

- nízkourovňové formátování,
- rozdělení pevného disku a vytvoření diskových oddílů,
- formátování pevného disku.

Nízkourovňové formátování se používá k zablokování poškozených částí disku, které vznikly při jeho výrobě, a také k vytvoření stop a sektorů. Na obrázku 3.4 jsou pro představu znázorněny části, které tvoří pevný disk. Disk je rozdělen do soustředných kružnic, které se nazývají **stopy** [53]. Jednu stopu, znázorněnou oranžovou barvou, tvoří množina sektorů. **Sektor**, na obrázku znázorněn červenou barvou, je nejmenší možná část plotny, do které můžeme uložit data. Obvykle má velikost 512 bajtů. Modrou barvou je zvýrazněný **klastr**, který je tvořen dva a více sektory. Velmi důležitým pojmem je **cylindr**, označen žlutou barvou, který se skládá ze stop ležících nad sebou na jednotlivých plotnách. Cylindr se využívá k rychlejší práci disku, jelikož díky němu čtecí/zápisové hlavy nemusejí měnit polohu

při čtení/ukládání dat, což zkrátí dobu před prací s daty o dobu vystavení hlav na další stopu na jedné plotně. Nízkoúrovňové formátování není nutné provádět po koupi nového zařízení, jelikož je předem provedeno výrobcem pevného disku. Opětovné formátování se používá až v krajních případech jako je nakažení speciálním typem virů a nebo když se disk používal v jiném počítači jiným než obvyklým způsobem. Ovšem tehdy může vzniknout problém při blokaci sektorů, které se poškodily až při běhu disku. Nízkoúrovňové formátování nemůže zaručit blokaci všech poškozených sektorů a to vede k budoucí ztrátě dat.

Jak jsme se dozvěděli, disk je rozdělen na plotny. Plotny jsou složeny ze stop a stopy ze sektorů. Pomocí těchto částí jsou adresována místa pro ukládání dat. Nejprve byly sektory na jedné stopě číslovány vzestupně od 1 až po poslední sektor. Tento přístup nebyl zrovna efektivní, jelikož zpracování načtených dat z vyrovnávací paměti bylo pomalejší než doba, kdy se hlava přesunula na následující sektor, který měl být načten. Muselo se tudíž čekat na další otáčku pro načtení dat ze sektoru a to samé se opakovalo u dalšího potřebného sektoru. Proto se vyvinula technika s názvem faktor prokládání, která tento problém řešila. Posun číslování sektorů byl přizpůsoben rychlosti zpracování dat z vyrovnávací paměti. Pro každé zařízení se podle rychlosti řadiče správně nastavilo prokládání v určitém poměru. Dnes se faktor prokládání už nepoužívá, protože rychlosti řadičů jsou dostačující. Dalším zpomalujícím elementem je přepínání mezi čtecími hlavami, které pracují s jednou plotnou, a přepínání mezi cylindry, při kterém se musí čtecí hlavy nastavit na další stopu. Proto se využívá posunutí číslování sektorů mezi povrchy plotny (head skew) a také mezi cylindry (cylinder skew).



Obrázek 3.4: Struktura záznamového média

Po nízkoúrovňovém formátování lze pomocí metody vytváření diskových oddílů vytvořit logické diskové jednotky. Ty se z uživatelského pohledu tváří jako více pevných disků. Způsob, jak vytváříme diskové oddíly a způsob formátování je určen souborovým systémem, který je pro daný pevný disk použit. O souborových systémech bude zmínka v kapitole 4.

3.2.3 Kapacita

První vlastností podle, které si lidé vybírají pevný disk je kapacita. S kapacitou disku roste i cena, která je závislá například na použité technologii pevného disku. Kapacita se odvíjí od hustoty záznamu na plotnách a na počtu ploten umístěných v pevném disku. Největší aktuální kapacita 10 TB byla použita u pevného disku Ultrastar He^{10} [15] firmy Hitachi Global Storage Technologies. Můžeme ji spočítat pomocí vzorce 3.1:

$$\begin{aligned} \text{kapacita pevného disku} &= \text{počet cylindrů} * \text{počet hlaviček} * \\ &\quad \text{počet sektorů na stopu} * \text{počet bajtů na sektor} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Tento vzorec je pro mnoho lidí nepoužitelný, jelikož parametry nejsou vždy dostupné a proto musíme věřit výrobci, že udávaná kapacita odpovídá danému zařízení.

3.2.4 Rychlost

Rychlost disku závisí na mnoha dvou faktorech. V rovnici 3.2 vidíme vztah rotační zpoždění, které se vypočítá z jednotky otáčky za minutu (RPM), použitím doby otočení o polovinu disku. Pokud přičteme k rotačnímu zpoždění vystavovací dobu, která trvá tak dlouho než se čtecí/zápisová hlava nastaví na určitý sektor, získáme tím vybavovací dobu. Vystavovací doba reflektuje dobu, po kterou čekáme na vyřízení požadované operace (čtení nebo zápis).

$$\text{vybavovací doba} = \text{rotační zpoždění} + \text{vystavovací doba} \quad (3.2)$$

Největší dosažená rychlost otáčení disku se dneska pohybuje okolo 15000 RPM. Nejlepší v poměru cena výkon je disk s rychlosti 7200 RPM [56].

3.2.5 Spolehlivost

Pevné disky jsou mezi dnešními paměťovými médii nejvíce náchylné k chybám, jelikož obsahují mechanické části, které se opotřebovávají. Nikdy nelze přesně určit jaký disk je spolehlivější. Parametrem, který nám může pomoci při rozhodování o spolehlivosti při výběru disku, je *střední doba mezi poruchami* (MTBF). MTBF je hodnota měřena v hodinách, která určuje nejmenší možnou dobu mezi poruchami. Pro monitorování chybovosti pevného disku je do něj implementovaná funkce S.M.A.R.T., která vyhodnocuje aktuální stav a potenciální pravděpodobnost selhání disku. V některých případech je možné chyby opravit, a to tehdy pokud jsou sektory poškozeny při běhu disku. Proto tento případ se zde používá opravný kód (Error Correction Code), pomocí kterého je možné data z poškozené části zpětně získat a zapsat je do funkčního sektoru. Následně se problémový sektor zablokuje a jeho číslo se zapíše do seznamu i s číslem sektoru, kam se data obnovila. Pokud však při používání pevného disku dojde poškození povrchu ploten nebo mechaniky, je pravděpodobné, že data už nezachráníme. Proto bychom měli dbát na správné používání disku.

3.2.6 Použití

Pevné disky můžeme dle použití rozdělit do kategorií:

- interní vs. externí,
- podle druhu zařízení, s kterým ho budeme používat,
- podle typu rozhraní a konektorů.

Při rozhodování jaký disk si koupit musíme popřemyslet nad účelem použití. Pokud bude stačit disk, který budeme používat pro jeden počítač, tak si určitě vybereme interní disk. Ale pokud budeme chtít větší množství dat přenášet mezi počítači, naše volba padne na externí typ zařízení. Interní disky jsou většinou nevzhledné krabičky, které jsou vybaveny úchyty pro připevnění k počítači nebo k serverovým skříním. Zato kryty externích disků jsou designově vymyšleny, aby byly nejprůvětivější k přenášení. To zahrnuje i váhu, která je menší než u interních disků.

U externích disků je jednoduché rozhodnout, u jakého zařízení je lze použít. U všech, které disponují stejným konektorem jako má pevný disk. Avšak u interních disků musíme zvážit, jestli ho budeme instalovat do stolního počítače nebo na příklad do notebooku. Interní disky se vyrábějí v různých rozměrech. Které rozměry jsou vhodné pro jaké počítače, se můžeme dočíst v parametrech u prodejce disku.

Když si vybíráme disk, musíme se ujistit, jestli bude připojitelný k počítači. Pevné disky jsou připojitelné různými druhy konektorů, ale vnitřní rozhraní, které definuje rychlost přenosu dat, se může lišit. U interních disků se nejčastěji používá rozhraní paralelní ATA a SATA, které mají stejnojmenné konektory. Pro externí disky je mnohem víc možností připojení. Z méně známých je to například FireWire 800 [45]. Další možností je rozhraní eSATA, které můžeme považovat za externí formu rozhraní SATA, avšak s rozdílným konektorem. Nejznámějším typem rozhraní pro externí disky je rozhraní USB. USB má tři známé konfigurace, a to USB 1.0/1.1, USB 2.0 a USB 3.0. USB 3.0 je nejnovější a nabízí největší přenosovou rychlost. Je také kompatibilní s předchozím rozhraním, ale při připojení je možné přenášet data jen rychlostí pomalejšího rozhraní.

3.3 Pevný disk SSD

Pevné disky SSD nemají zhora nic společného s pevnými disky HDD, i když bychom si to ze začátku mohli podle názvu myslet. SSD disk je tvořen flash pamětmi, které jsou popsány v části flash paměti 2.2. Dále se zaměříme na důležité vlastnosti jako kapacita, rychlost zařízení, spolehlivost a způsob použití SSD disků.

3.3.1 Historie a vývoj

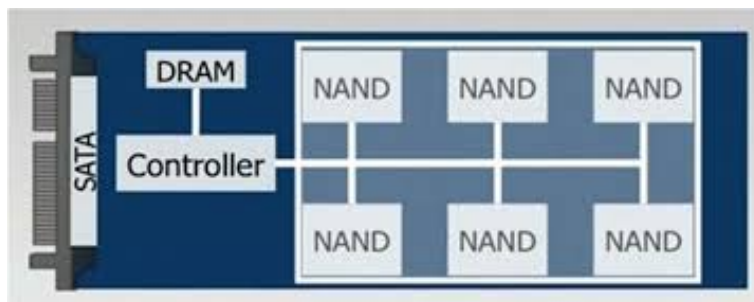
První předchůdcem dnešního SSD disku byl Bulk Core [9], který byl představen roku 1976 a umožnil uložit až 2 MB. V roce 1988 představila firma Digipro prototyp prvního SSD disku, který se skládal z paměťových čipů NOR flash. Na začátku nebyly SSD disky, tvořené flash pamětmi, tolik využívané, jelikož nemohly konkurovat SSD diskům na bázi RAM paměti. První předlohou pro dnešní SSD s flash pamětí se stal v roce 1995 Fast Flash Disk (FFD-350), který se prodával s kapacitami od 16 MB do 896 MB. Jako jedna z prvních, vydala firma Samsung v roce 2006 SSD disk s flash technologií o velikosti 2,5 palce s kapacitou 32 GB a s rozhraním PATA. Díky nové technologii bylo už v roce 2006 dosaženo většímu počtu přepisů paměti, které napomohlo k pomalému nahrazování pevných disků disky SSD. Dnes není vývoji SSD disků zdaleka konec, vyvíjejí se stále rychlejší SSD disky a není opomíjeno ani jejich zvětšování kapacity.

3.3.2 Stavba a struktura

Při prvním pohledu na HDD disk a SSD disk jsou tyto zařízení téměř nerozeznatelné. Obě totiž jsou uschovány v pevném krytu a nelze do nich nahlédnout. Uvnitř SSD disku je však

stavba odlišná od HDD disku, jelikož SSD disk není složen z mechanických součástí, ale z flash pamětí, které jsou rozebrány v 2.2. Pro stavbu SSD disků se nejčastěji používají čipy NAND, které jsou uzpůsobeny k ukládání většího množství dat při stejné cenové relaci, než jak je tomu u čipů NOR. Na obrázku 3.5 vidíme vnitřní strukturu SSD disku, který je tvořen paměťovými čipy typu NAND flash a tyto čipy jsou propojeny s řadičem flash pamětí, který využívá vyrovnávací paměť cache [23, 39]. Řadič přetváří data z flash čipů, aby vypadala a jednala stejně jako data z pevného disku HDD. Pro propojení flash čipů s řadičem se používají moduly FIM (Flash interface module). Pro připojení SSD disku k počítači je zde použito rozhraní SATA, ale existují i další rozhraní, které se pro SSD disk používají a jsou to tyto [57]:

- SAS,
- SATA,
- PCI Express,
- Fibre Channel,
- USB,
- PATA,
- paralelní SCSI.



Obrázek 3.5: Stavba SSD disku

3.3.3 Kapacita

Kapacita SSD disků je nižší než je tomu u pevným disků HDD, a HDD disk zatím nemá určenou maximální hranici kapacity. Kapacita u SSD disků závisí na technologii čipů, která může být buď NOR a nebo NAND. SSD využívá technologie NAND, která na stejně velkém čipu umožňuje uložit větší množství dat než technologie NOR. SSD disk s zatím největší kapacitou představila firma Samsung v roce 2016, jednalo se o SSD disk PM1633a s kapacitou 15,36 TB [11].

3.3.4 Rychlost

Rychlost celého SSD zařízení závisí na rychlosti použitého rozhraní a typu technologie 2.2, které určují rychlost mazání dat, zápisu a čas přístupu k datům (čtení). Zatím nejrychlejším rozhraním je PCI Express, které dosahuje rychlosti sekvenčního čtení až 2400 MB/s a

sekvenčního zápisu až 1200 MB/s u SSD disku Intel SSD 750 [33]. Přístupový čas je výrazně kratší než u pevných disků HDD.

3.3.5 Spolehlivost

Jelikož SSD disk neobsahuje pohyblivé části, není tolik náchylný k mechanickým chybám. Avšak jeho životnost je omezena počtem zápisových cyklů, které se vztahují k použitém typu technologie flash 2.2.

3.3.6 Použití

SSD disky se využívají jako úložiště dat, které umožňují přistupovat k datům rychleji než disky HDD. Jako dříve zmíněné disky HDD jsou vyráběny pro externí a interní použití.

3.4 SD karta

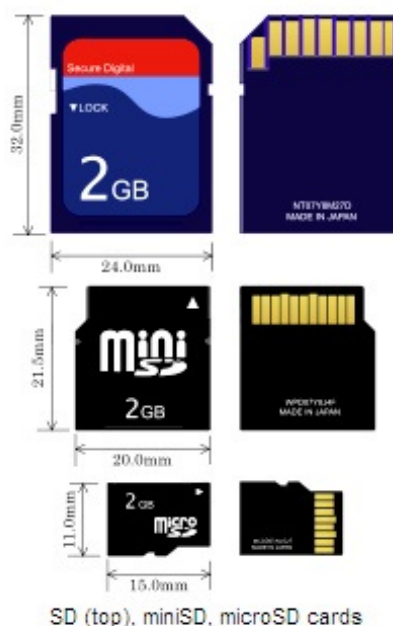
V této části se zaměříme na paměťové karty pro ukládání dat, které spadají pod standard společnosti SD Asociace. SD standard určuje typy paměťových karet podle kapacity, rychlostních tříd a velikostí [37]. Existují i jiné druhy paměťových karet jako je Compact Flash (CF), Memory Stick, MultiMediaCard (MMC) nebo Smart Media, ale SD paměťové karty jsou na trhu nejvíce používané. SD asociace se nezaměřuje jen na čisté paměťové karty, ale vytvořila i karty s kombinací úložiště a speciálními funkcemi, nebo karty s vstup-výstupními funkcemi.

3.4.1 Historie a vývoj

V roce 2000 byla firmami Panasonic, SanDisk Corporation a Toshiba Corporation založena asociace Secure Digital, která vyvíjí standardy paměťových karet. V témže roce byla představena první SD paměťová karta. Na počátku byl jeden typ karet s názvem SD, který měl jeden určený typ rozměrů a standardní rychlost. Jelikož se zvyšovala rychlost všech zařízení, tak ani SD karty nezaostávaly a postupně byly vytvořeny standardy pro rychlostní třídy, které zmíníme v 3.4.4. S trendem zmenšování elektronických součástek se zmenšovaly rozměry SD karet a vznikly další dvě velikosti karet miniSD a microSD. Největší důraz se však klade na již zmíněnou rychlost a také na kapacitu, která dnes má maximální hranici 2 TB.

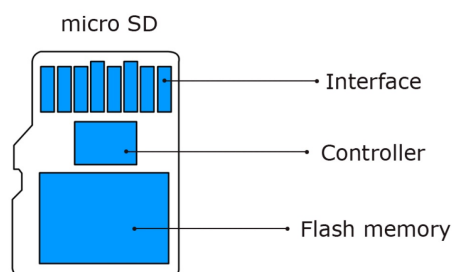
3.4.2 Stavba a struktura

SD asociace rozlišuje tři rozměry paměťových karet: SD, miniSD, microSD. Na obrázku 3.6 jsou znázorněny tři typy SD karet s jejich rozměry. První kartou, ve vrchní části obrázku, je karta SD, která má tloušťku 2,1 mm. Tato karta má rozhraní s 9 piny, které umožňují komunikaci a navíc má spínač, který umožňuje kartu zablokovat proti přepsání. Pod SD kartou se nachází menší verze s názvem miniSD, která má ovšem rozhraní s 11 piny pro komunikaci a její tloušťka je 1,4 mm. Posledním typem je karta microSD s tloušťkou 1.0 mm, která má rozhraní s 8 piny a je ze všech typů SD karet nejmenší. Počet pinů na kartách se může lišit podle standardu pro rychlost rozhraní. Námi zmíněné piny jsou používané u rozhraní pro „Normal speed“, „High speed“ a „UHS-I“.



Obrázek 3.6: Rozlišení velikostí SD karet²

SD karta se skládá z rozhraní, řadiče a paměti flash. Na obrázku 3.7 je jako příklad zobrazena micro SD karta, jež se skládá z paměti NAND flash, která je již zmíněna v 2.2. Flash paměť je připojena ke kontroléru a ten je následně připojen na rozhraní SD karty.



Obrázek 3.7: Složení microSD karty³

3.4.3 Kapacita

Každá SD karta má vyznačenu kapacitu v GB na svém plastovém krytu. S kapacitou se pojí standardy paměťových karet SD, SDHC nebo SDXC [36]. Tyto standardy určují typ souborového systému, který se na dané paměťové kartě používá a rozmezí kapacity paměťové karty. Prvními kartami byly karty s označím SD, které měly kapacitu do 2 GB a využívaly souborový systém FAT 12 nebo FAT 16. Dalším typem je paměťová karta

²http://www.bobatkins.com/photography/digital/compact_flash_memory_cards.html

³<http://blog.acelaboratory.com/pc-3000-flash-circuit-board-and-msd-card-preparing-and-soldering.html>

označená jako SDHC (high capacity). Tato karta pracuje se souborovým systémem FAT 32 a má kapacitu větší než 2 GB a dosahuje kapacity až 32 GB. Zatím nejnovějším typem je karta se standardem SDXC (eXtended capacity), která se objevila na trhu v roce 2009 a používá souborový systém exFAT. Její nejmenší kapacita začíná na maximální kapacitě předešlé karty SDHC a pokračuje až do 2 TB.

3.4.4 Rychlost

Rychlost je určena rychlostními třídami, které zahrnují specifické rychlostní protokoly [38]. V dnešní době jsou dostupné tři rychlostní protokoly:

- Speed class,
- UHS Speed class,
- Video Speed class.

Na obrázku 3.8 jsou v druhém, třetím a čtvrtém sloupci znázorněny symboly pro rychlostní třídy, které spadají pod rychlostní protokoly. Protokol Speed class, který je nejstarším protokolem, zahrnuje čtyři třídy (C2, C4, C6 a C10), protokol UHS Speed class zase obsahuje dvě třídy (UHS-I a UHS-II) a nový protokol Video Speed Class je zastoupen pěti třídami (V6, V10, V30, V60 a V90). Rychlostní třída Video Speed class byla nedávno představena při vydání nového protokolu SD 5.0. Pro každou rychlostní třídu máme v prvním sloupci vypsány minimální rychlosti zápisu dat. Zde vidíme, jak se rychlosti zápisu dat zvětšují. Nejrychlejší paměťová karta spadá pod rychlostní třídu V90.

Minimum Sequential Write Speed	Speed Classes			Corresponding Video Format
	Speed Class	UHS Speed Class	Video Speed Class (New)	
90 MB/sec			V90	8k Video
60 MB/sec			V60	
30 MB/sec		U3	V30	4k Video
10 MB/sec	C10	U1	V10	
6 MB/sec	C6		V6	Full HD / HD Video
4 MB/sec	C4			
2 MB/sec	C2			

Obrázek 3.8: Rychlostní třída a rozhraní

3.4.5 Spolehlivost

Paměťové karty jsou stejně jako SSD disky postaveny na bázi NAND flash paměti, a tudíž výskyt chyb není tak markantní jako u HDD disku. Ačkoliv jsou paměťové karty bez mechanických součástí, bývají často mechanicky poškozeny na konektorech (rozhraní). Dalším

rizikem pro paměťové karty může být zkrat, který způsobí zničení karty [48]. Mohou však nastat i méně závažnější chyby, které způsobí ztrátu dat uložených na kartě. Obnovení dat je možné pomocí speciálních programů, které jsou vytvořené pro toto použití. Abychom zachovali kartu co nejdéle použitelnou, měli bychom dbát na zásady jejího správného použití. Neméně důležitou vlastností karet je jako u SSD disků životnost, která je určena počtem zápisových cyklů a jejich počet závisí na typu technologie flash 2.2.

3.4.6 Použití

Paměťové karty se obecně využívají k ukládání jakýchkoliv dat. Ale díky možnosti zvolit si rozměry karty, je možné je použít u většího množství zařízení. Nezáleží jen na velikosti karty, ale také na rychlosti zapisování dat na kartu. Rychlost zápisu může rozlišovat typ zařízení, které bude kartu používat. Například je vytvořen nový protokol „Video Speed Class“, který uzpůsobil své rychlosti zápisu potřebám zařízení pro záznam videa, což můžeme vidět na obrázku 3.8. Některé počítače nemají čtecí zařízení pro SD karty nebo mají čtecí zařízení pro menší velikosti SD karet. K tomu abychom SD karty mohli používat všude, je ke každé kartě s menšími rozměry přiložen adaptér a pokud ani to nepomůže ke kompatibilitě, je možné dokoupit externí čtečku, která se připojí přes USB konektor k počítači nebo ostatním zařízením.

3.5 USB flash disk

V této části se budeme zabývat USB flash disky, jelikož jsou nejpoužívanějšími přenositelnými zařízeními typu flash disk. USB disk je typ přenosného média, které můžeme přirovnat k SD kartě. Obě média ukládají data na NAND flash čip, avšak USB disk je mnohem rychlejší v zapisování a čtení dat a pro připojení k počítači si vystačíme s USB konektorem, kdežto u paměťových karet musíme mít pro komunikaci čtečku. Rozdíl mezi SD kartou a USB flash diskem je v rozhraní, tvaru a způsobu použití.

3.5.1 Historie a vývoj

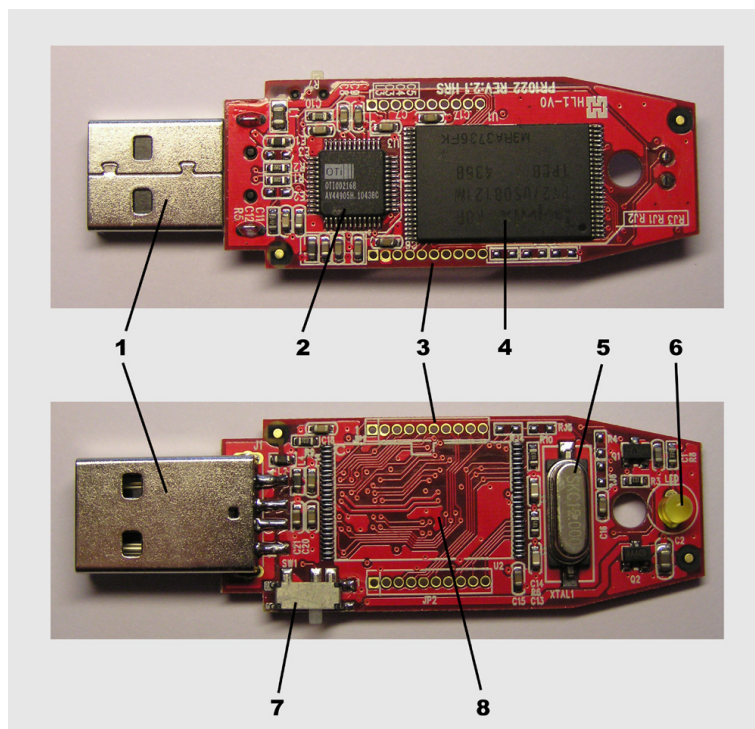
Za počátkem vývoje USB flash disku můžeme považovat sestavení první sběrnice USB 1.0, která měla připojovat periferní zařízení k počítači. První USB flash disk s kapacitou 8 MB byl představen v roce 2000 firmou Trek Technology. Toto paměťové médium mělo nahradit stávající Floppy disky a optická média, poněvadž kapacita Floppy disku byla pouhých 1,44 MB a největší kapacita optického média byla u DVD 4,7 GB, což však postupem doby nebylo dostačující. Důležitými vlastnostmi, které ovlivnily upřednostnění USB flash disku před ostatními přenositelnými médii byly kapacita, typ rozhraní, rychlost, odolnost vůči magnetickým vlivům a snadná přenositelnost bez poničení média.

Vývoj média ovlivňuje rychlost rozhraní a možnosti kapacity. Nejprve byly představeny USB flash disky s rozhraním USB 1.0, v dalších fázích vývoje se objevily USB flash disky s USB 2.0 a USB 3.0. Poslední nejnovější rozhraní je USB 3.1. První USB flash disk měl kapacitu 8 MB a dnes je největší dosažená kapacita 1 TB [17].

3.5.2 Stavba a struktura

Na obrázku 3.9 je zobrazena vnitřní struktura USB flash disku [4], který je složen z USB konektoru (1), řadiče (2), testovacích bodů (3), NAND flash čipu (4), krystalického oscilátoru (5), LED diody (6), přepínače pro ochranu proti přepsání (7) a místa pro další flash

čip (8). Tento obrázek je jen příklad struktury USB flash disku a některé součástky nejsou povinné [46]. Struktura NAND flash čipu je popsána v 2.2.2.



Obrázek 3.9: Stavba USB flash disku

Tvary a rozměry zařízení jsou libovolné podle výrobce, jelikož je toto externí zařízení připojené USB konektorem. Můžeme se setkat s USB flash disky vyrobenými z různých materiálů jako je kov, plast nebo guma.

3.5.3 Kapacita

Z obrázku 3.9 jsme zjistili, že maximální počet čipů na jednom USB flash disku jsou dva, které jsou umístěny každý z jedné strany flash disku. Pokud je počet flash čipů omezen, jediná možnost ovlivnění kapacity spočívá v hustotě záznamu na flash čipu. Hustota záznamu se odvíjí od použití flash technologie paměti 2.2. První USB flash disky disponovaly kapacitou 8 MB, což je pro dnešní dobu malá kapacita, kterou můžeme zaplnit například dvěma skladbami formátu mp3. Nejprodávánější flash disky v roce 2016 byly flash disky s kapacitou od 8 GB do 256 GB. I přesto, že jsou na trhu flash disky s kapacitou 512 GB a 1 TB. Je to dáno skutečností, že flash disky s větší kapacitou jsou technologicky náročnější a jejich pořizovací cena je vyšší než u flash disku s běžnější kapacitou.

3.5.4 Rychlost

Rychlost je ovlivnitelná dvěma faktory, a to rychlostí rozhraní a rychlostí technologie čtení a zápisu. Začneme prvním faktorem, můžeme rozhraní rozdělit na standardy:

- USB 1.1,
- USB 2.0,

- USB 3.0,
- USB 3.1.

Rozhraní USB 1.1, které bylo uvedeno na trh v roce 1998, se dělilo na pomalá (Low-Speed) a rychlá zařízení (Full-Speed). Maximální rychlost pro první ze zařízení bylo 1,5 Mbit/s a pro druhé to bylo 12 Mbit/s. Nejpoužívanějším typem rozhraní je rozhraní USB 2.0, které se začlo používat v roce 2000. Maximální rychlost tohoto rozhraní se pohybuje okolo 480 Mbit/s a je několikanásobně vyšší než je tomu u USB 1.1. U USB 2.0 byla zachována kompatibilita s předešlou verzí USB 1.1. I u standardu USB 3.0 je zachována kompatibilita s předešlými rozhraními. Toto rozhraní bylo představeno po dlouhé odmlce v roce 2010 a jeho rychlost je skoro desetkrát větší než je to u předešlého USB 2.0. Důležitou odlišností, podle které poznáme USB 3.0, je modrá barva konektoru. Dnes hojně využívané rozhraní USB 3.0 dokáže přenášet data rychlostí přibližující se 5 Gbit/s. Dnes nejnovější standard USB 3.1 s udávanou maximální rychlostí 10 Gbit/s, který je použitelný s konektorem USB-C, je zpětně nekompatibilní s ostatními standardy.

NAND technologie čipů, která je použita u USB disků stejně jako u SSD disku a SD karty, ovlivňuje rychlost čtení a zápisu. Tato technologie je zmíněna v předešlém textu [2.2.2](#).

3.5.5 Spolehlivost

Spolehlivost a výskyt chyb se nijak závratně neliší od předešlých zařízení SSD disku nebo paměťové karty, jelikož je pro ukládání dat použita stejná technologie flash čipů. Nejčastější výskyt chyb je při nesprávném používání flash disku. Například při odpojení pracujícího flash disku je možné poškodit souborový systém.

3.5.6 Použití

Flash disky jsou nejčastěji používány pro přenos dat, ale také jsou hojně využívány jako instalační zařízení operačních systémů nebo jako nástroje pro aktualizaci programů. USB flash disk je také základem pro audio přehrávače nebo je velice často využíván pro propagaci firem a produktů. Další použití může být například jako přenosné médium s certifikátem, pro přístup k šifrovaným souborům.

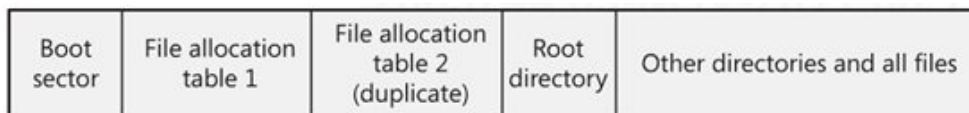
Kapitola 4

Souborové systémy

Co to vlastně je souborový systém? Souborový systém můžeme chápat, jako metodu nebo také datovou strukturu, která je využívána pro záznam souborů na disk nebo na oddíl disku [16]. Souborové systémy můžeme rozdělit podle operačních systémů (UNIX, Microsoft Windows, apod.), pro které jsou určeny, podle organizace souborů v souborovém systému (i-uzely, B+ stromy, extenty, FAT tabulka apod.), podle způsobu ukládání souborů (žurnálování, „copy-on-write“, „log-structured“, apod.) nebo podle typů úložišť, které budeme používat pro ukládání souborů (diskové, síťové, virtuální, apod.) [42]. V této kapitole se budeme zabývat diskovými souborovými systémy FAT, NTFS, exFAT, XFS, ext4, BTRFS, JFFS a F2FS. Většina z těchto souborových systémů byla vytvořena pro UNIXové systémy, ale jsou podporované i dalšími operačními systémy. Důležitý pojem u souborových systémů je klastr, který je nejmenší částí disku, která může být alokována pro soubor.

4.1 FAT

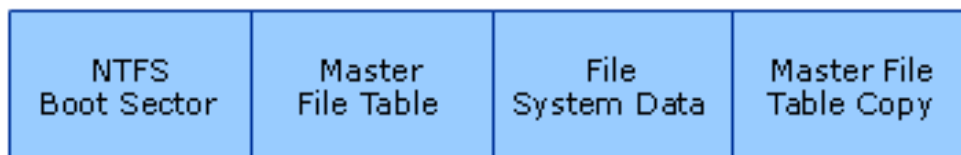
V této sekci se budeme zabývat souborovými systémy FAT16 a FAT32. Souborový systém FAT dostal název podle tabulky FAT (File allocation table), která je součástí struktury tohoto systému. FAT systém byl navržen pro disky s malou kapacitou a s jednoduchou strukturou složek. Na obrázku 4.1 je zobrazena struktura souborového systému FAT. Na začátku souborového systému se nachází bootovací sektor o velikosti 512 B, který nese informace o souborovém systému a specifikuje počet sektorů v úložišti, počet FAT tabulek, počet sektorů v jednom klastru a hlavně je to nejdůležitější sektor pro start operačního systému. Následuje blok FAT tabulka, která obsahuje záznamy o souborech a složkách. Tato FAT tabulka je duplikovaná kvůli možnosti opravy poškozených souborů a složek. Rozdíl v souborových systémech FAT16 a FAT32 je ve velikosti záznamů ve FAT tabulce, kde u FAT16 je to 16 bitů a u FAT32 32 bitů. U FAT16 následuje kořenový adresář, který nese informace o složkách a souborech v kořenovém adresáři, avšak u FAT32 je kořenový adresář součástí následujícího datového bloku. Datový blok obsahuje aktuální soubory a složky [2, 28, 47]. FAT16 umožňuje uložit soubory o maximální velikosti 4 GB a limit maximální kapacity svazku je taktéž 4 GB [29]. U FAT32 se zůstává maximální velikost souboru stejná jako u FAT16, ale maximální kapacita se zvýšila na 32 GB. FAT16 a FAT32 podporují oproti FAT12 dlouhé názvy souborů.



Obrázek 4.1: Struktura souborového systému FAT

4.2 NTFS

Souborový systém NTFS byl vytvořen v roce 1993 firmou Microsoft. Tento souborový systém je oproti FAT souborovému systému značně vylepšen. Podporuje dlouhé názvy souborů, také záznam metadat o souborech a složkách s čím souvisí použití žurnálování a umožňuje zabezpečení přístupu k souborům a složkám přes ACL (access control list). Již zmíněné žurnálování je způsob zaznamenávání metadat před zápisem na disk. Žurnálování vytváří atomické operace práce se soubory a složkami, které tvoří transakce. Tyto transakce mají dva možné výsledky, a to úspěch všech dílčích operací nebo neúspěch. Tímto způsobem práce s daty a metadaty žurnálování napomáhá k rychlému a spolehlivému návratu do konzistentního stavu po vzniku chyb. Na obrázku 4.2 vidíme strukturu souborového systému NTFS, která se skládá z bootovacího sektoru, tabulky MFT (master file table), sektoru pro data a z kopie tabulky MFT [30]. Bootovací sektor udržuje informace o rozložení diskové jednotky, o struktuře souborového systému a také bootovací kód na nastartování systému. MFT je tabulka, která obsahuje data o souborech, složkách a metadatech. Každý záznam v tabulce je řádek a vlastnosti jsou uloženy jako sloupce (název souboru, datum vytvoření, velikost, ACL, atd.). Obsah souboru je umístěn buď přímo v záznamu MFT nebo je rozdělen na extenty, které se odkazují z tohoto záznamu nebo z pomocných MFT záznamů. Sektor „File System Data“ obsahuje souborová data, která neobsahuje MFT tabulka. Poslední sektor je kopií MFT tabulky pro případné opravy. NTFS má omezenou velikost souboru na 16 EB a maximální kapacitu svazku 16 EB.

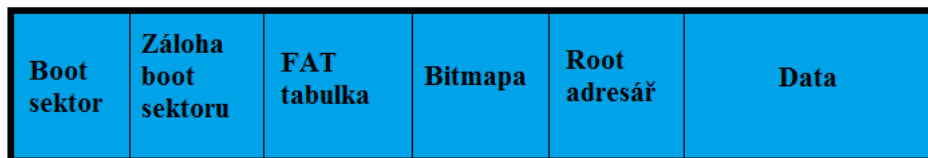


Obrázek 4.2: Struktura souborového systému NTFS

4.3 exFAT

Nástupcem FAT a NTFS na operačních systémech firmy Microsoft se stal souborový systém exFAT (extended FAT), který byl představen v roce 2006. Nástupcem byl proto, že se začala více používat přenosná média a FAT souborový systém nebyl ideální, kvůli nemožnosti omezení počtu zápisů. NTFS byl oproti FAT vyspělejší, jelikož zahrnoval bezpečnostní prvky a metadata. Avšak tato metadata zabírala velké množství místa a tudíž nevyhovovala pro přenosná média. V roce 2009 byl SD Asociací jako implicitním souborovým systémem pro karty se standardem SDXC určen exFAT. Omezení velikosti svazku bylo nastaveno na 64 ZB a omezení velikosti souboru bylo 64 ZB, ale v obou případech je doporučená velikost 512 TB. Struktura exFAT je zobrazena na obrázku 4.3 a je složena z šesti částí. První částí

je bootovací sektor, druhá je záloha bootovacího sektoru, za nimi následuje FAT tabulka, pak tabulka bitmapy, předposlední částí je kořenový adresář a v poslední části jsou uložena data [13].



Obrázek 4.3: Struktura souborového systému exFAT

4.4 XFS

XFS je 64 bitový souborový systém, vytvořený v roce 1993 pro systém IRIX. Od roku 2000 je použitelný na Linuxových systémech a operačních systémech na bázi Linuxového jádra. Tento souborový systém byl navržen pro počítačové systémy s větším počtem CPU a velkými diskovými poli. Jako každý UNIXový systém využívá XFS i-uzly jako svou datovou strukturu pro popis souboru. Pro organizaci souborů v XFS se využívají B+stromy namísto lineární struktury. XFS soubory jsou rozděleny do oblastí nazývaných Allocation groups (AG), které využívají B+ stromy. Žurnálování 4.2 použité v XFS přispívá k rychlému zotavení ze softwarových chyb. Kromě softwarových chyb mohou vzniknout i hardwarové chyby. Abychom předešli hardwarovým chybám, XFS používá offline kontrolu souborů. Pokud však nastanou, je možné využít nástroj `xfs_repair` k opravě hardwarových chyb. Dalším nástrojem je ACL, které se používá k ošetření přístupu k souborům. Velmi důležité informace jsou maximální velikost souboru a souborového svazku, podle kterých je možno vybrat správný souborový systém pro naše paměťové médium. U XFS je maximální velikost souboru a taktéž svazku 8 EB [14].

4.5 ext4

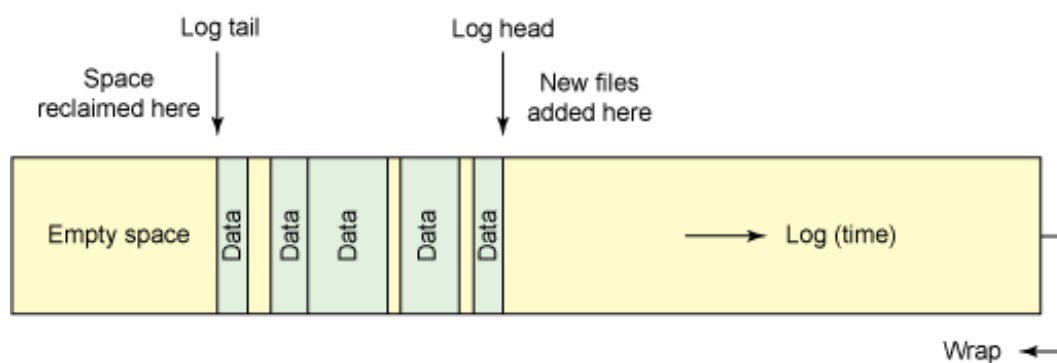
ext4 je linuxový souborový systém, který je zpětně kompatibilní s ext3 a ext2. Struktura ext4 je založena na extentech, což jsou shluky na sebe navazujících fyzických bloků. Extenty zvětšují výkonnost a snižují fragmentaci souborového systému při používání velkých souborů. Bloky souborového systému jsou adresovány 48 bity. Tento souborový systém pracuje s žurnálováním jako XFS nebo NTFS. Jednou z vlastností ext4 je „multiblock“ alokace, která umožňuje alokování více bloků, což urychluje práci s velkými soubory. Další výhodnou vlastností je odložená alokace, při níž se místo pro data alokuje až v poslední možnou chvíli, což umožňuje uložit soubory v celku a tím se zlepšuje fragmentace souborového systému a to napomáhá lepšímu výkonu. Lepšímu výkonu napomáhá také online defragmentace, která umožňuje defragmentovat souborový systém za běhu pomocí nástroje `e4defrag`. Omezení velikosti souboru je nastaveno na 16 TB avšak celý svazek může nabývat kapacity až 1 EB [26].

4.6 BTRFS

V roce 2007 byl představen Linuxový open-source souborový systém BTRFS. Tento souborový systém je postaven na základě B+stromu a využívá technologie „Copy-on-write“, která nejprve zapisuje nová data a metadata na disk a pak je teprve zpřístupní. Pro zefektivnění BTRFS se používají různé metody jako komprese, kolonování, online defragmentace a snímkování. Abychom zajistili integritu dat, používá se kontrolní součet, nebo také duplikace dat a již zmíněná metoda „Copy-on-write“. Systém obsahuje také kontrolu přístupu k datům pomocí POSIXu. Tento souborový systém byl navržen, tak aby mohl být využíván různými typy zařízení od serverů až po mobilní telefony. V neposlední řadě je BTRFS omezen maximální velikostí souboru až 16 EB a maximální velikostí svazku taktéž 16 EB [34, 43].

4.7 JFFS

JFFS je souborový systém vytvořený firmou Axis Communications AB speciálně pro flash zařízení. Tento souborový systém má dvě verze JFFS a JFFS2, které jsou použitelné na Linuxovém jádře od verze 2.4.0. JFFS2 byl představen v roce 2001 a byl navrhnout kvůli potřebě komprese. Návrh souborového systému je určen flash technologií a předpokládaným zařízením, které bude souborový systém využívat. JFFS je „Log-structured“ souborový systém, u kterého uzel obsahuje data a metadata a je uložen sekvenčně na flash čipu. „Log“ je sekvenční struktura, do které se zapisují data. Tato struktura zvětšuje výkonnost zápisu, eliminuje skoro všechny vyhledávací doby a sekvenčnost také napomáhá rychlejší opravě dat po chybách. Na obrázku 4.4 je zobrazena struktura „logu“. Zápis probíhá zapsáním uzlu na konec logu (log tail). Nejstarší uzly s daty jsou na začátku logu (log head). Data se odstraňují pomocí „garbage collectoru“, který maže data ze začátku „logu“. Jedním z technik, které používá JFFS je „wear-leveling“, který prodlužuje životnost mazatelným médiím. Dalšími technikami jsou komprese a „hard links“, které jsou podporovány až v JFFS2. JFFS2 pracuje s více typy uzlů oproti jednomu typu uzlu u JFFS [49, 35].



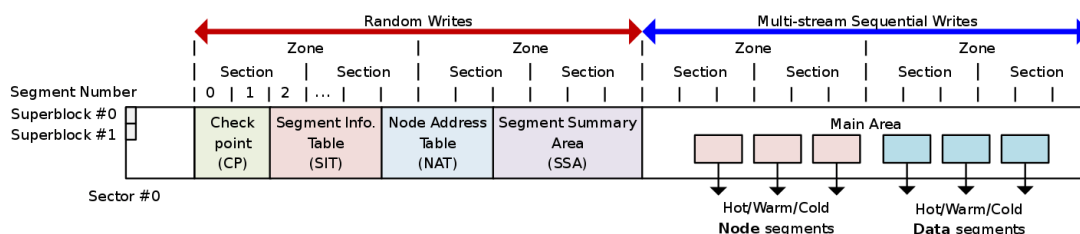
Obrázek 4.4: Struktura „logu“¹

4.8 F2FS

Firma Samsung vytvořila UNIXový F2FS souborový systém a v roce 2013 byl zveřejněn s linuxovým jádrem. F2FS je jedním z typu „Log-structured“ souborových systémů, který byl

¹<https://qph.is.quoracdn.net/main-qimg-a492417210262d19601c2158f5154d0a>

navrhnout pro použití na paměťových mediích s flash technologií. Byl vyvinut s myšlenkou optimalizovat výkon a životnost flash paměti. Už podle názvu Log-structured souborový systém lze vyvodit, že „log“ je základní datovou strukturou těchto systémů. „Log“ obsahuje datové bloky a metadata. Základní jednotkou F2FS je segment, který se využívá pro určení rozložení metadat v souborovém systému. Po sobě jdoucí segmenty tvoří sekce a řada sekcí tvoří zónu. Svazek F2FS se dělí na šest oblastí, které jsou zobrazeny na obrázku 4.5. První oblast tvoří dva „superbloky“, ve kterých jsou uloženy informace o oddílech a parametry F2FS. Následuje oblast „checkpoint“, která udržuje informace o souborovém systému pomocí bitmap a o stavech systému určené pro obnovení do stabilního stavu. Další oblastí je „Segment information table“, ve které se ukládají počty validních bloků a bitmapy, které určují platnost bloků v datové části. Čtvrtou oblastí je „Node Address Table“, která ukládá adresu uzlů. v předposlední oblasti se ukládají informace o uzlech a blocích v datové části. V poslední oblasti jsou uloženy soubory. F2FS má maximální velikost souboru omezenou na 3,94 TB a velikost svazku může nabývat nejvíce 16 TB [24, 3].



Obrázek 4.5: Struktura souborového systému F2FS

Kapitola 5

Testování souborových systémů

V této kapitole budeme rozebírat způsob testování souborových systémů, z kapitoly 4, na paměťových úložištích, které jsme zmínili v 3. Parametry úložišť budou popsány v kapitole 5.1.2. Také si v 5.1.1 představíme testovací program IOzone, který jsme na testování souborových systémů použili. V neposlední řadě popíšeme výsledky našeho testování a zhodnotíme, který typ souborového systému nejvíce vyhovuje každému z použitých paměťových medií.

5.1 Způsob testování

Testování bylo prováděno pomocí skriptů v jazyku bash. Byly vytvořeny skripty `testing.sh` a `jffs2.sh`, které připravují souborové systémy na jednotlivých médiích pro následné testování. Nejprve bude vysvětlen postup testování, pak bude představen používaný softwarový program a nakonec bude popsáno použité hardwarové vybavení.

5.1.1 Použitý software

Testování bylo prováděno na operačním systému Ubuntu 16.04 LTS. Pro testování souborových systémů byl vybrán testovací nástroj IOzone [31]. IOzone umožňuje generování souborů a měření různých souborových operací. Pro testování souborů se používají vstup-výstupní operace, naše testy byly zaměřeny na čtyři pro nás nejdůležitější operace:

- zápis - je měřena výkonnost zápisu nových souborů, rychlost testu zápisu se odvíjí od rychlosti zápisu souborů a metadat o souborech,
- náhodný zápis - je měřena výkonnost zápisu souboru na náhodné místo, výkonnost se odvíjí od velikosti mezipaměti operačního systému, počtu disků, zpoždění při vyhledávání dat a dalších,
- čtení - je měřena výkonnost při čtení existujících souborů,
- náhodné čtení - je měřena výkonnost čtení souboru z náhodného umístění, výkonnost se odvíjí od velikosti mezipaměti operačního systému, počtu disků, zpoždění při vyhledávání dat a dalších.

Pro naše testování budeme využívat tyto parametry:

- **-a** Využívá se pro výběr automatického módu, který určuje velikost záznamu od 4 kB do 16 MB a velikost souboru od 64 kB do 512 MB.

- **-b název souboru** Vytváří binární soubor ve formátu Exel souboru.
- **-g # jednotka** Nastavuje maximální velikost souboru pro automatický mód například 16k(kB), 16m(MB) nebo 16g(GB).
- **-i #** Využívá se pro specifikaci testu (0-zápis/přepis, 1-čtení/znovu načtení, 2-náhodné čtení/zápis).
- **-n # jednotka** Nastavuje minimální velikost souboru pro automatický mód například 16k(kB), 16m(MB) nebo 16g(GB).
- **-q # jednotka** Nastavuje maximální velikost záznamu pro automatický mód například 16k(kB), 16m(MB) nebo 16g(GB). Velikost záznamu je omezena velikostí vyrovnávací paměti.
- **-S # jednotka** Nastavuje velikost vyrovnávací paměti v Kb (1k). Užívá se pro vnitřní podporu vyrovnávací paměti a pro čistou funkcionalitu.
- **-y # jednotka** Nastavuje minimální velikost záznamu pro automatický mód například 16k(kB), 16m(MB) nebo 16g(GB).

5.1.2 Hardwarové vybavení

Pro testování byly využity čtyři paměťová média: pevný disk HDD, pevný disk SSD, USB flash disk a SD karta. K tomuto testování bylo využito výpočetní techniky, která byla umístěna ve školní laboratoři a ke které byly paměťová média připojena pomocí odpovídajících rozhraní. Pro testování byla použita základní deska ASUS H170M-PLUS [1], která má šest rozhraní SATA III s rychlostí 6 Gb/s a dvě rozhraní USB 3.0/2.0. Rozhraní SATA III využívají pevné disky HDD a SSD, které mají nižší nebo stejnou rychlost přenosu dat přes dané rozhraní. USB rozhraní základní desky využívá čtečka karet a USB flash disk. Čtečka karet Esperanza All in one [10] má šest slotů na paměťové karty, pracuje s rozhraním USB 2.0 a dosahuje rychlosti až 480 Mb/s.

Výčet použitých paměťových médií i s parametry:

- Interní pevný disk HDD Western Digital [44]:
 - název: WD RE2 WD7500AYYS,
 - kapacita: 750 GB, použitá kapacita 120 GB,
 - rozhraní: SATA II,
 - rychlost: až 3 Gb/s,
 - rozměry: d: 147 mm, š: 101,6 mm, v: 25,4 mm.
- Interní pevný disk SSD Patriot [32]:
 - název: Patriot Blast,
 - kapacita: 120 GB,
 - rozhraní: SATA III,
 - rychlost: až 6 Gb/s,
 - rozměry: d: 100 mm, š: 69,85 mm, v: 7 mm.

- USB flash disku Kingston [18]:
 - název: DataTraveler 100 G3,
 - kapacita: 32 GB,
 - rozhraní: USB 3.0,
 - rychlost: až 5 Gb/s,
 - rozměry: d: 60 mm, š: 21,2 mm, v: 10 mm.
- SD karta Kingston [19]:
 - název: microSDHC Card - Class 4,
 - kapacita: 8 GB,
 - rozhraní: USB 3.0,
 - rychlost: až 4 MB/s,
 - rozměry: d: 15 mm, š: 11 mm, v: 1 mm.

5.1.3 Postup

Před samotným testováním bylo nutné správně naformátovat paměťová média pomocí příkazu:

```
mkfs.<zkratka souborového systému> <umístění paměťového média>.
```

Jelikož média měla už před naším testováním naformatovaný souborový systém, tak se u formátování některých souborových systémů vyskytl problém s přepsáním souborového systému. U BTRFS a XFS jsme museli využít přepínače `-f`, který nám umožnil „násilné“ přepsání souborového systému. Při přeformátování na souborový systém ext4 bylo zase nutné souhlasit s přepsáním souborového systému po spuštění příkazu `mkfs`. Další problém nastal u prepisování na NTFS a FAT, jelikož tyto souborové systémy vyžadovaly znovupřerozdělení částí paměťového média pomocí příkazu `fdisk` a až pak bylo možné spustit formátování.

Nejkomplikovanější byla práce se souborovým systémem JFFS2, protože jsme nejprve museli vytvořit část paměťového média pomocí příkazu `fdisk` místo pro nahrání obrazu souborového systému JFFS2. Pak jsme na blokovém zařízení vytvořili modul a zavedli ho do jádra. Následně bylo nutné vytvořit obraz pomocí:

```
mkfs.jffs2 --output=/tmp/jffs.bin --pad=67108864 --root=/zdroj/slozka
--eraseblock=64
```

a pak ho nahrát na modul pomocí:

```
dd if=/tmp/jffs.bin of=/dev/mtd0.
```

Nakonec byl modul připojen k paměťovému médiu

```
mount -t jffs2 mtd0 /mnt/sd.
```

Jakmile bylo provedeno naformátování začalo se s testováním pomocí programu IOzone popsaného v 5.1.1. Testováno bylo zapisování, čtení, náhodné zapisování a náhodné čtení. K tomu nám posloužil parametr `-i`. Pokusným testováním jsme zjistili rozmezí velikosti souboru, které definovalo ne/použití vyrovnávací paměti, které ovlivňovalo rychlost čtení

a zápisu. Pro nastavení rozmezí velikostí souborů byly použity přepínače `-n` a `-g`. U SSD disku, HDD disku a USB flash disku byly použity rozmezí 512 MB – 4 GB, avšak u SD karty tyto rozmezí musely být sniženy pouze na 512 MB – 2 GB kvůli malé kapacitě karty a nízké rychlosti rozhraní. Dané výsledky byly zapisovány do souborů a následně byly porovnány souborové systémy na jednom typu paměťového média. Vzorový příkaz pro testování:

```
iozone -a -i 0 -i 1 -i 2 -S 1k -g 2g -n 512m -q 64k -y 16k -b file.xls
```

5.2 Výsledky testování

Prováděly se čtyři druhy testů: zápis, čtení, náhodné čtení a náhodný zápis. V každé části popíšeme tabulky s rychlostmi příslušných testů souborových systémů.

5.2.1 Pevný disk HDD

V tabulce 5.1 a tabulce 5.2 vidíme, jak se rychlost BTRFS mění v závislosti na velikosti zapisovaného souboru a na velikosti zapisovaného záznamu. Daná rychlost zápisu jak náhodného tak sekvenčního se s zvětšením velikosti souboru dvakrát zmenší.

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	5380019	5746535	5858220
	2 GB	193003	173352	173541
	4 GB	79836	74771	86582

Tabulka 5.1: BTRFS-HDD zápis

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	5025765	6396871	7450492
	2 GB	172497	172835	171978
	4 GB	83338	89265	89262

Tabulka 5.2: BTRFS-HDD náhodný zápis

V tabulce 5.3 a 5.4 jsou znázorněny rychlosti nejprve sekvenčního a následně náhodného zápisu. U souborového systému exFAT jsme zjistili, že vyrovnávací paměť přestala vypomáhat u souborů o velikosti 2 GB.

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	645181	2134697	2066008
	2 GB	165706	167657	167797
	4 GB	88299	89096	87776

Tabulka 5.3: exFAT-HDD zápis

V tabulce 5.5 a 5.6 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému ext4. Zde je vidět, že u souborů s velikostí 1 GB zasahovala do rychlosti vyrovnávací paměť.

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	56054	109841	212445
	2 GB	29889	59070	97960
	4 GB	15538	30933	51055

Tabulka 5.4: exFAT-HDD náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	3026263	3089598	2927372
	2 GB	139856	135904	141520
	4 GB	83804	82463	82190

Tabulka 5.5: ext4-HDD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	5141113	5515740	5717482
	2 GB	72994	87080	106144
	4 GB	26791	38036	51678

Tabulka 5.6: ext4-HDD náhodný zápis

V tabulce 5.7 a 5.8 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému F2FS. Zde je vidět, že u souborů s velikostí 1 GB zasahovala do rychlosti vyrovnávací paměť. U F2FS lze z tabulky vyčíst, že nezáleží zda zapisujeme náhodně nebo sekvenčně, rychlost je totiž velice podobná.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	2614857	2650321	2633422
	2 GB	164205	162868	161415
	4 GB	84849	82525	81340

Tabulka 5.7: F2FS-HDD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	4255912	4515889	4549947
	2 GB	158938	165141	158189
	4 GB	82550	81854	78897

Tabulka 5.8: F2FS-HDD náhodný zápis

V tabulce 5.9 a 5.10 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému FAT. Zde jsme testovali soubory o velikosti 512 MB, 1 GB, 2 GB, protože doporučená velikost souboru je 2 GB.

V tabulce 5.11 a 5.12 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému NTFS. V NTFS vidíme, že se na rychlosti zápisu nepodílela vyrovnávací paměť.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	1897663	2028890	2036640
	1 GB	67929	192149	193770
	2 GB	87537	86732	87063

Tabulka 5.9: FAT-HDD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	4093789	4442329	4672253
	1 GB	4048633	4417959	4592455
	2 GB	71272	91989	111879

Tabulka 5.10: FAT-HDD náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	242216	255969	265814
	2 GB	133749	126429	133608
	4 GB	82408	79235	80530

Tabulka 5.11: NTFS-HDD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	324710	344404	354784
	2 GB	172246	91867	109089
	4 GB	27143	39008	51296

Tabulka 5.12: NTFS-HDD náhodný zápis

V tabulce 5.13 a 5.14 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému XFS. Je zde vidět, že rychlost náhodného zápisu zaostává za sekvenčním.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	3688352	3886866	4043482
	2 GB	163518	145167	162994
	4 GB	88481	88500	88600

Tabulka 5.13: XFS-HDD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	5402409	6375137	6982447
	2 GB	79726	103309	123760
	4 GB	27961	40053	53133

Tabulka 5.14: XFS-HDD náhodný zápis

5.2.2 Pevný disk SSD

V tabulce 5.15 a 5.16 jsou znázorněny rychlosti nejprve sekvenčního a následně náhodného zápisu BTRFS. Zde vidíme, že se rychlosti zápisu při změně velikosti záznamu jsou téměř konstatní. Zajímavé je, že je rychlost u sekvenčního zápisu a rychlost náhodného zápisu srovnatelná.

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	5420146	5716962	5866097
	2 GB	143938	7131240	154664
	4 GB	70561	69195	67446

Tabulka 5.15: BTRFS-SSD zápis

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	5061452	6404808	7251557
	2 GB	131682	143099	129874
	4 GB	67594	67218	67967

Tabulka 5.16: BTRFS-SSD náhodný zápis

V tabulce 5.17 a 5.18 jsou znázorněny rychlosti nejprve sekvenčního a následně náhodného zápisu exFAT. Jak lze zjistit z tabulky, tak ExFAT je optimalizován spíše na sekvenční zápis.

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	1384293	2111187	1991321
	2 GB	331742	133630	174160
	4 GB	70033	66274	66814

Tabulka 5.17: exFAT-SSD zápis

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	55672	108779	213139
	2 GB	29617	58593	85682
	4 GB	15396	30843	51837

Tabulka 5.18: exFAT-SSD náhodný zápis

V tabulce 5.19 a 5.20 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému ext4. Jako u ExFATu je souborový systém ext4 navržen pro náhodný zápis na médium. U tohoto systému se rychlost náhodného zápisu zvyšuje při použití záznamu o větší velikosti.

V tabulce 5.21 a 5.22 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému F2FS. U tohoto souborového systému můžeme vidět, že byl při jeho návrhu kladen důraz na srovnatelné rychlosti sekvenčního zápisu a náhodného zápisu.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	3151355	3163591	3176416
	2 GB	121146	118854	115204
	4 GB	69038	64953	63908

Tabulka 5.19: ext4-SSD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	5199098	5535052	5786303
	2 GB	84352	108679	109037
	4 GB	36250	44385	52455

Tabulka 5.20: ext4-SSD náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	2639195	2608293	2664281
	2 GB	124659	128512	136818
	4 GB	65183	64658	64902

Tabulka 5.21: F2FS-SSD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	4340291	4421218	4626796
	2 GB	114544	130226	139695
	4 GB	62008	67592	65619

Tabulka 5.22: F2FS-SSD náhodný zápis

V tabulce 5.23 a 5.24 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému FAT. Zde jsme testovali soubory o velikosti 512 MB, 1 GB, 2 GB, protože doporučená velikost souboru je 2 GB.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	1937337	1968595	1983287
	1 GB	50988	56399	47658
	2 GB	47889	51100	64246

Tabulka 5.23: FAT-SSD zápis

V tabulce 5.25 a 5.26 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému NTFS. U NTFS vidíme, že se na rychlosti zápisu se většinou nepodílela vyrovnávací paměť.

V tabulce 5.27 a 5.28 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému XFS. Rychlost sekvenčního zápisu je vyšší než náhodného.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	4053126	4403041	4614040
	1 GB	4025550	4379046	4627901
	2 GB	102910	116559	139166

Tabulka 5.24: FAT-SSD náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	237960	245306	269793
	2 GB	223003	101179	117454
	4 GB	64786	65891	73417

Tabulka 5.25: NTFS-SSD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	318999	343320	347670
	2 GB	80297	94429	101889
	4 GB	37494	45714	54511

Tabulka 5.26: NTFS-SSD náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	3682016	3924004	4067953
	2 GB	258545	118269	135837
	4 GB	69539	71486	68152

Tabulka 5.27: XFS-SSD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	5367347	6352778	6980496
	2 GB	85342	100565	113973
	4 GB	38121	46630	55527

Tabulka 5.28: XFS-SSD náhodný zápis

5.2.3 SD karta

Nejprve jsme začali testovat velikosti souborů 1 GB, 2 GB a 4 GB, ale protože byla námi testovaná karta velmi pomalá a měla malou kapacitu. Tudíž jsme si museli změnit testované velikosti souborů na 512 MB, 1 GB a 2 GB. Poslední velikost souboru jsme vybrali 2 GB, jelikož to byla kapacita, při které bylo zřejmé, že vyrovnávací paměť nepomáhá při zápisu dat. U některých souborových systému nebyly naměřeny všechny hodnoty z důvodů velké latence.

V tabulce 5.29 a 5.30 jsou znázorněny rychlosti nejprve sekvenčního a následně náhodného zápisu BTRFS.

V tabulce 5.31 a 5.32 jsou znázorněny rychlosti nejprve sekvenčního a následně náhod-

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	5435459	5572432	58522427
	2 GB	11329	11453	11455
	4 GB	6080	0	0

Tabulka 5.29: BTRFS-SD zápis

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	4074	4404	7100760
	2 GB	3718	3639	4215
	4 GB	0	0	0

Tabulka 5.30: BTRFS-SD náhodný zápis

ného zápisu exFAT. Jak lze zjistit z tabulky, tak ExFAT je optimalizován spíše na náhodný zápis.

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	512 MB	1333723	2013162	1917511
	1 GB	171008	1999988	1970867
	2 GB	12257	12248	12239

Tabulka 5.31: exFAT-SD zápis

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	512 MB	29993	59841	119037
	1 GB	15702	31327	62206
	2 GB	6779	7875	8642

Tabulka 5.32: exFAT-SD náhodný zápis

V tabulce 5.33 a 5.34 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému ext4. Jako u ExFATu je souborový systém ext4 navržen pro sekvenční zápis na médium. U tohoto systému se rychlost zvyšuje při použití záznamu o větší velikosti

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	3223651	3214994	3234548
	1 GB	2277840	3196039	3228403
	2 GB	10941	10996	11164

Tabulka 5.33: ext4-SD zápis

V tabulce 5.35 a 5.36 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému F2FS. U tohoto souborového systému můžeme vidět, že byl při jeho návrhu kladen důraz na srovnatelné rychlosti sekvenčního zápisu a náhodného zápisu.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	10941	10996	11164
	2 GB	5190300	5549460	5764000
	4 GB	8637	8719	8683

Tabulka 5.34: ext4-SD náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	2794398	2833808	2819752
	1 GB	2769453	2797791	2799868
	2 GB	12304	12049	12528

Tabulka 5.35: F2FS-SD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	4553599	4764391	4842897
	1 GB	122809	1124882	4783673
	2 GB	11818	12164	11949

Tabulka 5.36: F2FS-SD náhodný zápis

V tabulce 5.37 a 5.38 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému FAT. Zde jsme testovali soubory o velikosti 512 MB, 1 GB, 2 GB, protože doporučená velikost souboru je 2 GB.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	1149043	1152859	1154646
	1 GB	4947	4968	4971
	2 GB	5037	9951	10116

Tabulka 5.37: FAT-SD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	4124874	4459599	4670755
	1 GB	4077585	4442777	4675774
	2 GB	7169	7680	8001

Tabulka 5.38: FAT-SD náhodný zápis

V tabulce 5.39 a 5.40 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému NTFS. V NTFS vidíme, že se na rychlosti zápisu většinou podílela vyrovnávací paměť, protože maximální rychlost sběrnice SD karty je 4 MB/s.

V tabulce 5.41 a 5.42 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému XFS.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	241499	266500	275399
	1 GB	246175	269449	273578
	2 GB	12185	12204	12185

Tabulka 5.39: NTFS-SD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	319016	350605	358876
	1 GB	322456	344746	347486
	2 GB	9341	9406	9430

Tabulka 5.40: NTFS-SD náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	3618827	3862300	4007369
	1 GB	3710395	3956861	4109241
	2 GB	11789	11872	11815

Tabulka 5.41: XFS-SD zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	5466347	6407115	7027052
	1 GB	5451933	6427263	7072078
	2 GB	9438	9595	9584

Tabulka 5.42: XFS-SD náhodný zápis

5.2.4 USB flash disk

V tabulce 5.43 a 5.44 jsou znázorněny rychlosti nejprve sekvenčního a následně náhodného zápisu BTRFS. Rychlosti u sekvenčního a náhodného zápisu se velmi neliší.

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	5344694	5684596	5881063
	2 GB	36284	37137	34170
	4 GB	19307	19320	19184

Tabulka 5.43: BTRFS-USB zápis

V tabulce 5.45 a 5.46 jsou znázorněny rychlosti nejprve sekvenčního a následně náhodného zápisu exFAT. Jak lze zjistit z tabulky, tak ExFAT je optimalizován spíše na sekvenční zápis.

V tabulce 5.47 a 5.48 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému ext4. Jako u ExFATu je souborový systém ext4 navržen pro sekvenční zápis na médium. U tohoto systému se rychlost náhodného zápisu zvyšuje při použití záznamu o větší velikosti.

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	5070040	6365651	7419459
	2 GB	14069	20211	35827
	4 GB	12154	12293	18399

Tabulka 5.44: BTRFS-USB náhodný zápis

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	482758	1958915	1895774
	2 GB	41774	36853	35766
	4 GB	18412	19179	19271

Tabulka 5.45: exFAT-USB zápis

		velikost záznamu		
		32 kB	64 kB	128 kB
velikost souboru	1 GB	15421	30678	61467
	2 GB	7835	15125	18254
	4 GB	3971	7714	8635

Tabulka 5.46: exFAT-USB náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	3169665	3206478	3227469
	2 GB	33347	34445	33634
	4 GB	18892	19034	19125

Tabulka 5.47: ext4-USB zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	5143229	5495251	5786813
	2 GB	21179	23514	22246
	4 GB	8440	9418	9601

Tabulka 5.48: ext4-USB náhodný zápis

V tabulce 5.49 a 5.50 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému F2FS. U tohoto souborového systému můžeme vidět, že byl při jeho návrhu kladen důraz na srovnatelné rychlosti sekvenčního zápisu a náhodného zápisu. U souboru o velikosti 1 GB je vidět použití vyrovnávací paměti pro zápis.

V tabulce 5.51 a 5.52 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému FAT. Zde jsme testovali soubory o velikosti 512 MB, 1 GB, 2 GB, protože maximální doporučená velikost souboru je 2 GB. Je zde vidět rozdíl v využití vyrovnávací paměti v sekvenčním a náhodném zápisu.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	2745222	2785529	2779842
	2 GB	36391	37760	38163
	4 GB	19856	19569	19816

Tabulka 5.49: F2FS-USB zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	402952	846325	4749265
	2 GB	38143	37738	38473
	4 GB	19481	19389	19809

Tabulka 5.50: F2FS-USB náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	939828	994674	996678
	1 GB	47531	53709	45357
	2 GB	22216	21828	21982

Tabulka 5.51: FAT-USB zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	512 MB	4054128	4422646	4647242
	1 GB	4010752	4428444	4619196
	2 GB	19168	19361	19774

Tabulka 5.52: FAT-USB náhodný zápis

V tabulce 5.53 a 5.54 vidíme rychlosti sekvenčního a náhodného zápisu u souborového systému NTFS. U NTFS vidíme, že se na rychlosti zápisu se většinou nepodílela vyrovnávací paměť. Jelikož USB flash disk používá USB 3.0 s rychlostí až 5 Gb/s a maximální naměřená rychlost je 2,89 Gb/s.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	241075	266121	276401
	2 GB	41421	33503	33924
	4 GB	18298	19064	19216

Tabulka 5.53: NTFS-USB zápis

V tabulce 5.55 a 5.56 vidíme rychlosti zápisů u souborového systému XFS. Rychlost sekvenčního zápisu je vyšší než náhodného zápisu. Pro soubor o velikosti 1 GB byla použita vyrovnávací paměť.

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	328383	346564	362291
	2 GB	25108	23463	22804
	4 GB	8814	10043	10044

Tabulka 5.54: NTFS-USB náhodný zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	3649913	3909868	4103260
	2 GB	41483	35850	34501
	4 GB	18165	19069	18790

Tabulka 5.55: XFS-USB zápis

		velikost záznamu		
		16 kB	32 kB	64 kB
velikost souboru	1 GB	5285746	6269320	6925819
	2 GB	27194	23934	25110
	4 GB	8751	9195	9543

Tabulka 5.56: XFS-USB náhodný zápis

5.3 Zhodnocení

Při testování došlo k zkrácení výsledů, jelikož samotnému médiu napomáhala vyrovnávací paměť. I po snaze vypnout nebo zmenšit kapacitu vyrovnávací paměti se nepodařilo u čtení a u náhodného čtení dojít k rychlostem, které by odpovídaly rychlosti přenosu dat u média. Proto byly pro hodnocení brány v potaz jen výsledné rychlosti zápisu a náhodného zápisu.

Při srovnání všech testovaných souborových systémů na pevném disku HDD vyšel souborový systém FAT jako nejrychlejší při porovnání rychlostí sekvenčního zápisu a náhodného zápisu. Když ale přihlídneme na možnost uložení dat pouze do velikosti 2 TB a omezení velikosti souborů na 2 GB, tak by pro pevný disk HDD byl výhodnější druhý nejrychlejší souborový systém BTRFS. Rychlost sekvenčního zápisu BTRFS byla 86582 kB/s a náhodný zápis dosahoval rychlosti 89265 kB/s.

Pevný disk SSD měl nejvyrovnanější výkon se souborovým systémem BTRFS. Tento souborový systém dosahoval srovnatelných rychlostí sekvenčního zápisu a náhodného zápisu. BTRFS měl rychlost sekvenčního zápisu 70561 kB/s a rychlost náhodného zápisu se u BTRFS pohybovala kolem 67967 kB/s. Výhodou u BTRFS je také maximální kapacita média a maximální velikost souboru, které jsou 16 EB.

Najoptimálnější souborový systém pro SD kartu je F2FS, jelikož jeho sekvenční i náhodná rychlost jsou srovnatelné a oproti ostatním souborovým systémům je rychlost náhodného zápisu větší. Rychlost sekvenčního zápisu F2FS je 12528 kB/S a rychlost náhodného zápisu je 12164 kB/s. Avšak reálná rychlost se nám nepodařila zjistit, jelikož nebylo možné úplně vypnout vyrovnávací paměť.

Pro USB flash disk se hodí nejlépe dva souborové systémy, a to F2FS a BTRFS. Rychlost sekvenčního čtení je u F2FS 19856 kB/s a u BTRFS 19320 kB/s. Rychlost náhodného zápisu je velice podobná. Tyto rychlosti byli vybrány pro příklad z testování 4 GB souboru.

Kapitola 6

Závěr

Cílem této práce bylo změřit rychlosti čtení a zápisu na různých typech paměťových médií s kombinací vybraných typů souborových systémů. Při měření rychlostí jsme zjistili, že rychlosti zápisu a čtení jsou ovlivněny rychlostí vyrovnávací paměti, která paměťovému médiu napomáhá. I přesto se povedlo daná média otestovat při nastavení právných parametrů měření rychlostí u programu IOzone.

Souborové systémy byli testovány na vybraných paměťových médiích několikrát pro dosažení správného vzorku dat. Což však nemůže být plně směrodatné, protože by bylo nutné dané měření několikrát ověřit a přesněji zjistit procentuální zapojení vyrovnávací paměti. Při testování jsme brali do úvahy měření rychlostí velkých souborů, protože na nich byla nejlépe vidět reálná rychlost paměťového média. Velikosti testovaných souborů byly v rozmezí 512 M až 4 GB. Porovnávání souborových systémů probíhalo pomocí rychlostí sekvencního a náhodného zápisu, jelikož pro tyto případy vyrovnávací paměť tolik neovlivňovala výsledek. Zjistili jsme, že souborové systémy BTRFS a F2FS mají širokou škálu použití a dokáží se přizpůsobit obecné náročnosti uživatele na jakémkoliv typu paměťového média. Tato práce by se dala rozšířit o měření rychlost zápisu a čtení v různých programech pro měření rychlostí např. Boniie++ a dalších.

Literatura

- [1] ASUSTeK Computer Inc. *H170M-PLUS* [online]. ASUSTeK Computer Inc., 2016-05-17 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <<https://www.asus.com/cz/Motherboards/H170M-PLUS/specifications/>>.
- [2] Brouwer, A. *FAT* [online]. 2014-08-20 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <<https://www.win.tue.nl/~aeb/linux/fs/fat/fat-1.html>>.
- [3] Buse, J. W. *Flash Friendly File System (F2FS)* [online]. Linux.org, 2013-08-22 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <<http://www.linux.org/threads/flash-friendly-file-system-f2fs.4477/>>.
- [4] Chýle, J. *Úložná zařízení s flash pamětí* (Bakalářská práce). Praha: Bankovní institut vysoká škola, a.s., 2014. 58 s. Vedoucí práce Bohuslav Růžička. Dostupné z: <https://is.bivs.cz/th/22233/bivs_b/BP_Zarizeni_s_pameti_flash_Chyle_Jan.pdf>.
- [5] Corp., I. B. M. *The IBM Punched Card* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <<http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/punchcard/>>.
- [6] Corp., I. B. M. *Magnetic Tape Storage* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <<http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/tapestorage/>>.
- [7] Corporation, T. *Toshiba Achieves World's Highest Areal Density in a 2.5-Inch Hard Disk Drive* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <<http://toshiba.semicon-storage.com/eu/company/news/2015/02/storage-20150224-4.html>>.
- [8] Dembowski, K. *Mistrovství v hardware : Nastavení, optimalizace a opravy počítačových komponent*. 1. vyd. Brno: Computer Press a.s., 2009. 712 s. ISBN 978-80-251-2310-2.
- [9] Edwards, B. *Evolution of the Solid-State Drive* [online]. PC World, 2012-01-17 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <<http://www.pcworld.com/article/246617/storage/evolution-of-the-solid-state-drive.html>>.
- [10] Esperanza sp. Jawna. *Esperanza all in one USB 2.0 card reader* [online]. Esperanza sp. Jawna, 2016-05-17 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <<http://esperanza.pl/esperanza-all-in-one-usb-2-0-card-reader,224,777.html>>.
- [11] Fagioli, B. *Samsung now shipping 15.36TB PM1633a SSD – world's largest capacity solid state drive* [online]. BetaNews,Inc., 2016-02 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <<http://betanews.com/2016/03/02/samsung-1536tb-pm1633a-ssd/>>.

- [12] Goda, K.; Kitsuregawa, M. The History of Storage Systems. *Proceedings of the IEEE* [online]. 13. května 2012, 100, Special Centennial Issue, 2012-05-10 [cit. 2016-03-23]. s. 1433-1440. Dostupné z: <<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.lib.vutbr.cz/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6182574>>. ISSN 0018-9219, 10.1109/JPROC.2012.2189787.
- [13] Hamm, J. *Extended FAT file system* [online]. Paradigm Solution, 2009-10-16 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <<https://paradigmsolutions.files.wordpress.com/2009/12/exfat-excerpt-1-4.pdf>>.
- [14] Hellwig, C. *XFS: the big storage file system for Linux* [online]. 2009-11-17 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <<http://oss.sgi.com/projects/xfs/papers/hellwig.pdf>>.
- [15] HGST, I. *Ultrastar He 10* [online]. Hitachi Global Storage Technologies, 2016-02 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <<http://www.hgst.com/sites/default/files/resources/Ultrastar-He10-DS.pdf>>.
- [16] Hogbin, E. J.; Komarinski, M.; Merrill, D. *Filesystems* [online]. Conectiva S.A., 2005-07-25 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <<http://www.tldp.org/LDP/sag/html/filesystems.html>>.
- [17] Ionescu, D. *Kingston's 1TB thumb drive packs massive storage capacity in tiny package* [online]. IDG Consumer & SMB, 2013-01-08 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <<http://www.pcworld.com/article/2024220/kingstons-1tb-thumb-drive-packs-massive-storage-capacity-in-tiny-package.html>>.
- [18] Kingston Technology Corporation. *DataTraveler 100 G3 Pen Drive - 8GB-128GB* [online]. Kingston Technology Corporation, 2016-05-17 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.kingston.com/en/usb/personal_business/dt100g3>.
- [19] Kingston Technology Corporation. *microSD Cards* [online]. Kingston Technology Corporation, 2016-05-17 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.kingston.com/en/flash/microsd_cards/sdc4>.
- [20] Kotásek, Z. *Charakteristiky pevného disku a jeho řadiče* [online]. FIT VUT v Brně, 2005-10-03 [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PZ2/public/TEXTY/hdd/hdd00.pdf>>.
- [21] Kotásek, Z. *Rozhraní diskových pamětí* [online]. FIT VUT v Brně, 2005-10-03 [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PZ2/public/TEXTY/hdd/hdd01.pdf>>.
- [22] Krejča, D. *Průměrná výnosová míra a CAGR* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <<http://www.klubinvestoru.com/cs/article/2191-prumerna-rocni-vynosova-mira-a-cagr>>.
- [23] Lalík, A. *SSD - co se skrývá uvnitř* [online]. notebook.cz, 2009-01-28 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <<http://notebook.cz/clanky/technologie/2009/ssd-disky>>.

- [24] Lee, C.; Sim, D.; Hwang, J.-Y.; aj. *F2FS: A New File System for Flash Storage* [online]. USENIX Association, 2016-02-21 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <<https://www.usenix.org/system/files/conference/fast15/fast15-paper-lee.pdf>>.
- [25] LLC, S. T. *Breaking Capacity Barriers With Seagate Shingled Magnetic Recording* [online]. Seagate, 2012-10-29 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <<http://www.seagate.com/gb/en/tech-insights/breaking-areal-density-barriers-with-seagate-smr-master-ti>>.
- [26] MediaWiki.org. *Ext4 Howto* [online]. 2016-03-23 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <https://ext4.wiki.kernel.org/index.php/Ext4_Howto>.
- [27] Micron Technology, Inc. *NOR / NAND Flash Guide: Selecting a Flash Memory Solution for Embedded Applications* [online]. Micron Technology, Inc., 2016-03-20 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <<https://www.micron.com/resource-details/b544f566-aa66-4f21-ac43-caf3e0a240e5>>.
- [28] Microsoft. *FAT File System* [online]. Microsoft, 2016-05-12 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <<https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc938438.aspx>>.
- [29] Microsoft. *How FAT Works* [online]. Microsoft, 2016-05-12 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <[https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc776720\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc776720(v=ws.10).aspx)>.
- [30] Microsoft. *How NTFS Works* [online]. Microsoft, 2016-05-12 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <[https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc781134\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc781134(v=ws.10).aspx)>.
- [31] Norcott, W. D.; Capps, D. *Iozone Filesystem Benchmark* [online]. <http://www.iozone.org>, 2012-05-08 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.iozone.org/docs/I0zone_msword_98.pdf>.
- [32] Patriot Memory. *Blast Solid State Drives* [online]. Patriot Memory, 2016-05-17 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <<https://patriotmemory.com/product/blast-solid-state-drives/>>.
- [33] Ramseyer, C. *Best SSDs* [online]. Tom's Hardware, 2016-04-16 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <<http://www.tomshardware.com/reviews/ssd-recommendation-benchmark,3269.html>>.
- [34] Rodeh, O.; Bacik, J.; Mason, C. *BTRFS: The Linux B-tree Filesystem* [online]. IBM, 2012-07-09 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <[http://domino.research.ibm.com/library/cyberdig.nsf/papers/6E1C5B6A1B6EDD9885257A38006B6130/\\$File/rj10501.pdf](http://domino.research.ibm.com/library/cyberdig.nsf/papers/6E1C5B6A1B6EDD9885257A38006B6130/$File/rj10501.pdf)>.
- [35] Rosenblum, M.; Ousterhout, J. K. : The Design and Implementation of a Log-structured File System. *ACM Trans. Comput. Syst.*, roč. 10, č. 1, Únor 1992: s 26–52, ISSN 0734-2071, 10.1145/146941.146943. Dostupné z: <<http://doi.acm.org/10.1145/146941.146943>>
- [36] SD Association. *Capacity (SD/SDHC/SDXC)* [online]. SD Association [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <<https://www.sdcard.org/developers/overview/capacity/index.html>>.

- [37] SD Association. *SD standards - Universal, Portable, Convenient Storage* [online]. SD Association, 2014-08-25 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://www.sdcard.org/consumers/pdf/2014SDA_brochure_eng.pdf>.
- [38] SD Association. *Speed Class* [online]. SD Association, 2016-02-24 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://www.sdcard.org/downloads/pls/latest_whitepapers/Video_Speed_Class-The_new_capture_protocol_of_SD_5.0.pdf>.
- [39] Thierolf, T.; Uriarte, J. *Solid State Drive Architecture* [online]. 2009-01-28 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <<http://meseec.ce.rit.edu/551-projects/fall2010/1-4.pdf>>.
- [40] Toshiba Corporation. *NAND vs. NOR Flash Memory* [online]. Toshiba, 2006-04-25 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://aturing.umcs.maine.edu/~meadow/courses/cos335/ToshibaNAND_vs_NOR_Flash_Memory_Technology_Overviewt.pdf>.
- [41] Šárka Vavrečková. *Flash paměti a SSD(Solid State Drive)* [online]. Slezská univerzita v Opavě, 2015-04-16 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://vavreckova.zam.slu.cz/obsahy/hwkom/04_SSD.pdf>.
- [42] Vojnar, T. *Správa souborů* [online]. Vysoké učení technické v Brně Fakulta informačních technologií, 2016-03-08 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <<https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/course-files-st.php/course/IOS-IT/lectures/ios-prednaska-04.pdf?cid=8006>>.
- [43] Vondrouš, O. *Moderní souborové systémy* [online]. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2013-09-16 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/153.pdf>.
- [44] Western Digital Technologies, Inc. *WD RE2* [online]. Western Digital Technologies, Inc., 2008-06-19 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <<http://www.wdc.com/en/library/sata/2879-701176.pdf>>.
- [45] Western Digital Technologies, Inc. *WD Hard Drive - Interface Guide* [online]. Western Digital, 2016-06 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <<http://www.wdc.com/wdproducts/library/other/2579-001151.pdf>>.
- [46] Wikimedia Foundation, Inc. *USB flash drive* [online]. Wikimedia Foundation, Inc., 2016-05-05 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/USB_flash_drive>.
- [47] Wikimedia Foundation, Inc. *Design of the FAT file system* [online]. Wikimedia Foundation, Inc., 2016-05-07 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Design_of_the_FAT_file_system>.
- [48] WinRecovery Software. *Solutions for Memory Card Error and Problems* [online]. WinRecovery Software [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://www.cardrecovery.com/photo-recovery/memory_card_error.asp>.
- [49] Woodhouse, D. *JFFS : The Journalling Flash File System* [online]. Red Hat, Inc., 2001-07-17 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <<https://www.kernel.org/doc/mirror/ols2001/jffs2.pdf>>.

- [50] WWW stránky. *Compound Annual Growth Rate - CAGR* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <<http://www.investopedia.com/terms/c/cagr.asp>>.
- [51] WWW stránky. *Perpendicular Magnetic Recording (PMR) - WD Addresses Hard Drive Capacity Challenge with PMR Technology* [online]. Western Digital, 2004-07-14 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <<http://www.wdc.com/wdproducts/library/other/2579-701185.pdf>>.
- [52] WWW stránky. *Toshiba Leads Industry in Bringing Perpendicular Data Recording to HDD—Sets New Record for Storage Capacity With Two New HDDs* [online]. Toshiba, 2004-12-14 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.toshiba.co.jp/about/press/2004_12/pr1401.htm>.
- [53] WWW stránky. *Hard disks* [online]. Conectiva S.A., 2005-03-04 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <<http://www.tldp.org/LDP/sag/html/hard-disk.html>>.
- [54] WWW stránky. *Seagate odhalil nástupce diskové technologie PMR* [online]. Svět Hardware, 2013-10-09 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <<http://www.svethardware.cz/seagate-odhalil-nastupce-diskove-technologie-pmr/38290>>.
- [55] WWW stránky. *Magnetický záznam* [online]. Fakulta informatiky Masarykovy univerzity v Brně, 2015-11-10 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <<http://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/Vyuka/PV094/Predn7/Prezent.pdf>>.
- [56] WWW stránky. *Hard Disk Speed - What Affects Hard Disk Performance?* [online]. buildcomputers.net, 2016-02 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <<http://www.buildcomputers.net/hard-disk-speed.html>>.
- [57] WWW stránky. *Solid-state drive* [online]. Wikimedia Foundation, Inc., 2016-04-24 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_drive>.
- [58] Yan, W.; Wang, X.; Yu, X. Design and implementation of an efficient flash-based SSD architecture. *2014 4th IEEE International Conference on Information Science and Technology*. 26.–28. Duben 2014, s. 79-83. Dostupné z: <<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.lib.vutbr.cz/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6920336>>. ISSN 2164-4357, 10.1109/ICIST.2014.6920336.

Přílohy

Seznam příloh

A Obsah CD

51

Příloha A

Obsah CD

/doc/ – Tato písemná práce a zdrojové texty

/data/ – Exel soubory s výsledky měření rychlostí a grafy