Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Paměti a paměťová média

Bakalářská práce

Autor: Tomáš Češka
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: prof. RNDr. Peter Mikulecký, PhD.

Hradec Králové srpen 2021

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 16.8.2021 Tomáš Češka

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. RNDr. Peterovi Mikuleckému, PhD. za odborné vedení, rady a trpělivost při zpracování práce. Zároveň chci také poděkovat své rodině a všem blízkým za podporu během studia.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá pamětmi a paměťovými médii. Snaží se objasnit principy, na kterých jednotlivé paměti fungují, podává přehled vybraných parametrů a použitelnosti. U vybraných typů dochází i k porovnání a zmínění výhod/nevýhod použití. V první části se autor zaměřuje na historický vývoj jednotlivých zařízení a principů. Druhá část práce je věnována polovodičovým pamětem. Autor se snaží zaměřit jednak na historický vývoj, ale i na současné dění. Poslední část je zaměřena na trendy a možné budoucí inovace v oblasti paměťových zařízení.

Klíčová slova: architektura počítačů, děrný štítek, děrná páska, magnetická páska, magnetická bubnová paměť, paměť se zpožďovací linkou, Williamsova trubice, feritová paměť, HDD, RAID, SATA, SAS, SSHD, disketa, ZIP disk, CD, DVD, Blu-ray, ROM, RAM, Flash paměť, SSD, USB, paměťové karty, SRAM, DRAM, cloudové úložiště

Annotation

Title: Memories and Storage Media

This bachelor thesis deals with computer memories and storage media. It tries to clarify the principles on which the individual memories work, it describes an overview of selected parameters and usability. The author compares used types of memory and describes advantages/disadvantages of use. In the first part, the author focuses on the historical development of individual devices and principles. The second part of the work is devoted to semiconductor memory. The author tries to focus on the historical development, but also on currently used types of semiconductor memory. The last part is focused on trends and possible future innovations in the field of storage devices.

Keywords: computer architecture, punched card, punched tape, magnetic tape, magnetic drum memory, delay line memory, Williams-tube, magnetic-core memory,

HDD, RAID, SATA, SAS, SSHD, floppy disk, ZIP drive, CD, DVD, Blu-ray, ROM, RAM, Flash memory, SSD, USB, memory card, SRAM, DRAM, cloud storage

Obsah

1 Úvod ... 1

2 Historie vývoje paměťových medií ... 2

2.1 Úvod ... 2

2.1.1 Von Neumannova architektura ... 2

2.1.2 Harvardská architektura ... 3

2.2 Vývoj paměťových zařízení ... 4

2.2.1 Mechanický záznam dat ... 4

2.2.2 Magnetický záznam dat ... 6

2.2.3 Speciální typy pamětí ... 10

2.2.4 Feritová jádra ... 13

2.2.5 Pevné disky ... 15

2.2.6 Diskety ... 29

2.2.7 ZIP disk ... 35

2.2.8 Optický záznam dat ... 36

3 Integrované obvody a současná paměťová média ... 44

3.1 Polovodičové paměti ... 44

3.2 Paměti typu ROM ... 45

3.2.1 Stručná historie vývoje pamětí typu ROM ... 46

3.2.2 Principy jednotlivých typů ROM ... 47

3.3 Flash paměti ... 50

3.3.1 Zapojení paměťových buněk (NAND a NOR) ... 51

3.3.2 Paměťové úrovně (TLC,MLC,…) ... 53

3.3.3 SSD (Solid-state drive) ... 54

3.3.4 USB Flash Disky ... 58

3.3.5 Paměťové karty ... 62

3.4 Paměti typu RAM 65
3.4.1 SRAM 65
3.4.2 DRAM 67
4 Inovace a trendy 75
4.1 Cloudové úložiště 75
4.1.1 Veřejný cloud 75
4.1.2 Privátní cloud 76
4.2 Paměťové karty SD Express 76
4.3 Nová technologie magnetických pásek 77
4.4 HAMR a MAMR technologie pevných disků 78
5 Závěr 79
6 Seznam použité literatury 81

Seznam obrázků

Obr. 1 grafické zobrazení von Neumannovy architektury ... 3
Obr. 2 grafické zobrazení Harvardské architektury ... 4
Obr. 3 princip čtení dat z děrných štítků ... 5
Obr. 4 princip čtení dat z děrných pásek ... 6
Obr. 5 princip magnetické hlavy ... 7
Obr. 6 dělení záznamových a paritních drah magnetické pásky ... 9
Obr. 7 znázornění rozdělení paměťových míst magnetické bubnové paměti ... 10
Obr. 8 část počítače UNIVAC I s pamětí zpožďovací linky v přední části obrázku ... 12
Obr. 9 uspořádání feritových jader a vodičů ... 15
Obr. 10 přemístění IBM 350 pomocí letadla ... 18
Obr. 11 jednotka s dvěma moduly pro IBM 1301 ... 19
Obr. 12 komponenty pevného disku bez krytu HDA ... 21
Obr. 13 logické rozdělení plotny disku na stopy a sektory ... 22
Obr. 14 plotny disku a cylindry ... 23
Obr. 15 SATA + SATA Power konektor ... 25
Obr. 16 kombinace RAID 1+0 ... 28
Obr. 17 princip RAID 5 ... 29
Obr. 18 mechanismus čtecích a zápisových hlav u oboustranných mechanik ... 31
Obr. 19 sestava hlav disketové mechaniky ... 32
Obr. 20 disketa 5,25“ ... 34
Obr. 21 Zobrazení pits a lands na CD a jejich binární hodnoty ... 38
Obr. 22 vrstvy CD, CD-R, CD-RW ... 39
Obr. 23 porovnání rozdílů pits a lands u CD a DVD ... 41
Obr. 24 Porovnání technologií CD,DVD, Blu-Ray ... 43
Obr. 25 Obecné zobrazení principu polovodičové paměti ... 45
Obr. 26 Schéma zapojení tranzistoru typu MOS u paměti ROM ... 47
Obr. 27 PROM zapojení s polovodičovou diodou ... 48
Obr. 28 mazání/zápis/čtení u paměťové buňky EEPROM ... 50
Obr. 29 logické stavy tranzistoru u paměti typu flash ... 51
Obr. 30 Zapojení paměťových buněk NOR (levá strana) a NAND ... 52

Obr. 31 porovnání stavů napětí technologií TLC a MLC 53
Obr. 32 Logická struktura komponent plošného spoje SSD 55
Obr. 33 Formáty SSD rozlišeny podle rozhraní 57
Obr. 34 Plošný spoj USB Flash disku 60
Obr. 35 typy konektorů USB 62
Obr. 36 Rychlostní třídy definované sdružením SDA 64
Obr. 37 Třídy aplikačního výkonu definované sdružením SDA 65
Obr. 38 paměťová buňka typu SRAM 66
Obr. 39 paměťová buňka typu DRAM 67
Obr. 40 Porovnání přenosu dat u SDRAM a DDR SDRAM 70
Obr. 41 dělení kanálů u modulu DDR5 72
Obr. 42 porovnání modulů DIP a SIPP 73
Obr. 43 paměti DIMM typu DDR 74
Obr. 44 hustota záznamů u pásek typu SrFe a BaFe 77

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 verze rozhraní SATA 25
Tabulka č. 2 verze rozhraní SAS 27
Tabulka č. 3 Typy disket 35
Tabulka č. 4 Kapacity DVD 42
Tabulka č. 5 generace USB 61
Tabulka č. 6 standardy paměťových karet 63
Tabulka č. 7 počty pinů modulů DIMM 74

Seznam grafů

Graf č. 1 vývoj disků a Kryderův zákon 16
Graf č. 2 cena za jednotku GB v průběhu historie HDD 17
Graf č. 3 Cenový pokles HDD/SSD za jednotku $/TB 58
Graf č. 4 Počet uživatelů (v mil.) u vybraných veřejných cloudů 76

1 Úvod

Paměť je obecně schopností nervové soustavy, umožňující uchovávat znalosti na základě získaných zkušeností. Lidské tělo má bohužel jisté nedostatky, každý z nás má omezenou schopnost paměti a všichni zapomínáme. Lidstvo se za celou dobu evolučního vývoje snaží najít nástroje, které by dokázaly informace uchovat a předávat dalším generacím. Vynálezy pro uchování informací mají dlouhý historický vývoj od pravěkých jeskynních maleb, papyrus, první knihy až po moderní média pro digitální záznam dat.

Tato práce se zaměřuje na historický vývoj paměťových zařízení z hlediska vývoje prvních počítačů. Vzhledem k tomu, že by bylo nemožné zachytit naprosto všechny zařízení, které se v průběhu vývoje objevily, je práce zaměřena pouze na ty, které byly pro vývoj počítačů jednotlivých generací klíčové. Vetší část z kapitoly historie je věnována pevným diskům, kde k zachování konzistence jsou zmíněny kromě vývoje i současné používané principy, rozhraní a například i technologie RAID. Kromě historie se práce věnuje i současným pamětím, se kterými je možné se současně setkat na trhu s elektronikou. Tomu je věnována část integrovaných obvodů a polovodičových pamětí, která byla velice klíčová pro narůstající výkon nejen paměťových zařízení. Rozdělení je zde podle volatility pamětí a rozsáhlejší kapitola je věnována speciálně pamětím flash a odvozeným typům. V závěru práce jsou zmíněny i možné typy a trendy, které by se v budoucích letech mohly objevit a rozšířit.

Cílem práce je objasnění principů, na kterých jednotlivé typy pamětí fungují. Zaměřit se na historický průběh a vyobrazení vybraných specifikací a zajímavostí. Určit využití daného typu paměti a jejich výhody či nevýhody. Porovnávat technologie mezi sebou.

2 Historie vývoje paměťových medií

2.1 Úvod

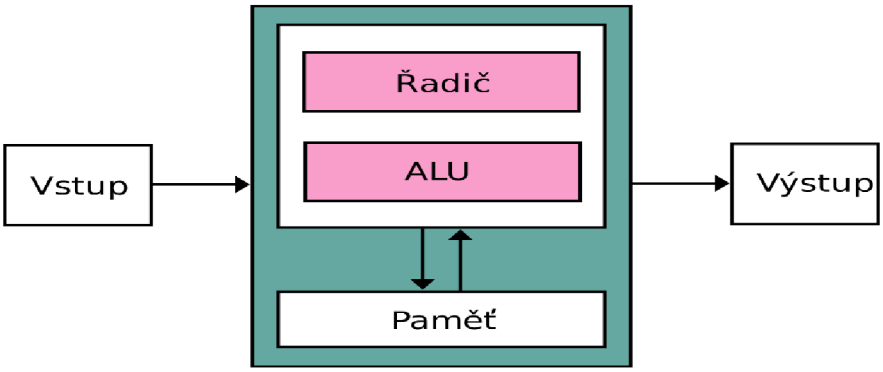
Média, schopna uchovávat informace, mají dlouhý historický vývoj, pokud budeme brát v potaz pouze elektronická, či mechanická média, využívána výpočetními stroji neboli „počítači“. Za první zmínku konceptu počítače s pamětí lze považovat stroje Charlese Babbage, jejichž konstrukce byla na tu dobu velice nadčasová. Prvním byl tzv. diferenční stroj, což byla v podstatě automatická mechanická kalkulačka pro výpočty logaritmických tabulek. Za ním následoval vynález tzv. analytického stroje, který již měl plnit funkci programovatelného zařízení pro různé výpočty. Analytický stroj (1837) se měl v návrhu skládat ze čtyř komponent (aritmetické jednotky, paměti, vstupního zařízení a výstupního zařízení). Vstupy pro ovládání tohoto stroje měly být pomocí děrných štítků, inspirace vychází z vynálezu Josepha Marie Jacquarda, který pomocí děrných štítků dokázal naprogramovat vzory pro tkalcovský stroj. Je nutné zmínit, že analytický stroj nebyl nikdy funkční, nicméně tento koncept přispěl budoucímu vývoji v oblasti počítačů. [1]

Rozmachem, který odstartoval masivnější vývoj zařízení počítačů a pamětí byla až druhá světová válka. Důležité je také zmínit, jakým pohledem bylo na základní strukturu počítačů v počátku nahlíženo, schéma programovatelného počítače znázorňuje, jakým způsobem lze počítač strukturálně znázornit včetně zpracování dat. Toto odkazuje na návrh dvou základních počítačových architektur, von Neumanovy architektury a harvardské architektury.

2.1.1 Von Neumannova architektura

Tato architektura, jak již vyplývá z názvu, byla navržena americkým matematikem John von Neumannem v roce 1945. Na tuto dobu byla velice průlomová a přinášela nový pohled na tzv. samočinný počítač. Tedy stroj, který je programovatelný a jeho práce má užitek. [2]

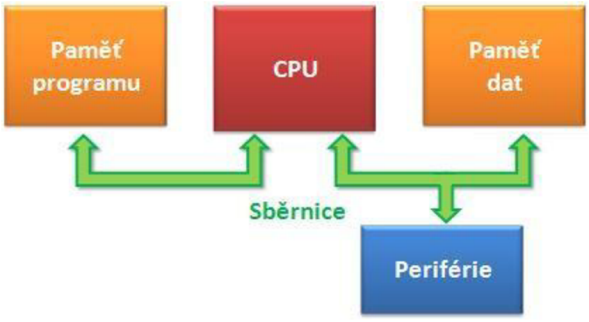
Architektura se skládá z Aritmeticko-logické jednotky (ALU), řídící jednotky, operační paměti a zařízeními pro vstupy a výstupy. ALU, řídící jednotka a operační paměť, tvoří v souhrnu centrální procesorovou jednotku (CPU). Princip fungování architektury je takový, že ze vstupního zařízení se nahraje program, přes ALU do operační paměti, přičemž operační paměť funguje jako paměť programu i paměť dat. Sekvenčně se provádí zpracování jednotlivých instrukcí v ALU ve spolupráci s řadičem pomocí řídících signálů. Jednotlivé mezivýsledky jsou zaznamenány do operační paměti, po dokončení všech sekvencí programu je výstup poslán přes ALU na výstupní zařízení. [2] [3]



Obr. 1 grafické zobrazení von Neumannovy architektury
Zdroj:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Architektura_po%C4%8D%C3%ADta%C4%8De#/media/Soubor:Von_Neumann_Architecture_CZ.svg

2.1.2 Harvardská architektura

Tato architektura je tvořena stejnými součástmi jako architektura předchozí, hlavní rozdíl je v rozdělení paměti na paměť programu a dat. Oproti von Neumanově architektuře nejsou data programu a samotný program součástí jednoho paměťového zařízení (operační paměti). Nachází se zde dvě sběrnice, s kterými musí procesor komunikovat. Výhodou, kterou toto rozdělení přináší oproti předchozí metodě, je možnost paralelismu, také dané paměti můžou být tvořené odlišnou technologií a nemůže se stát, že by program přepsal sám sebe. [4]



Obr. 2 grafické zobrazení Harvardské architektury
Zdroj: http://wiki.sps-pi.cz/index.php/Harvardsk%C3%A1_architektura

2.2 Vývoj paměťových zařízení

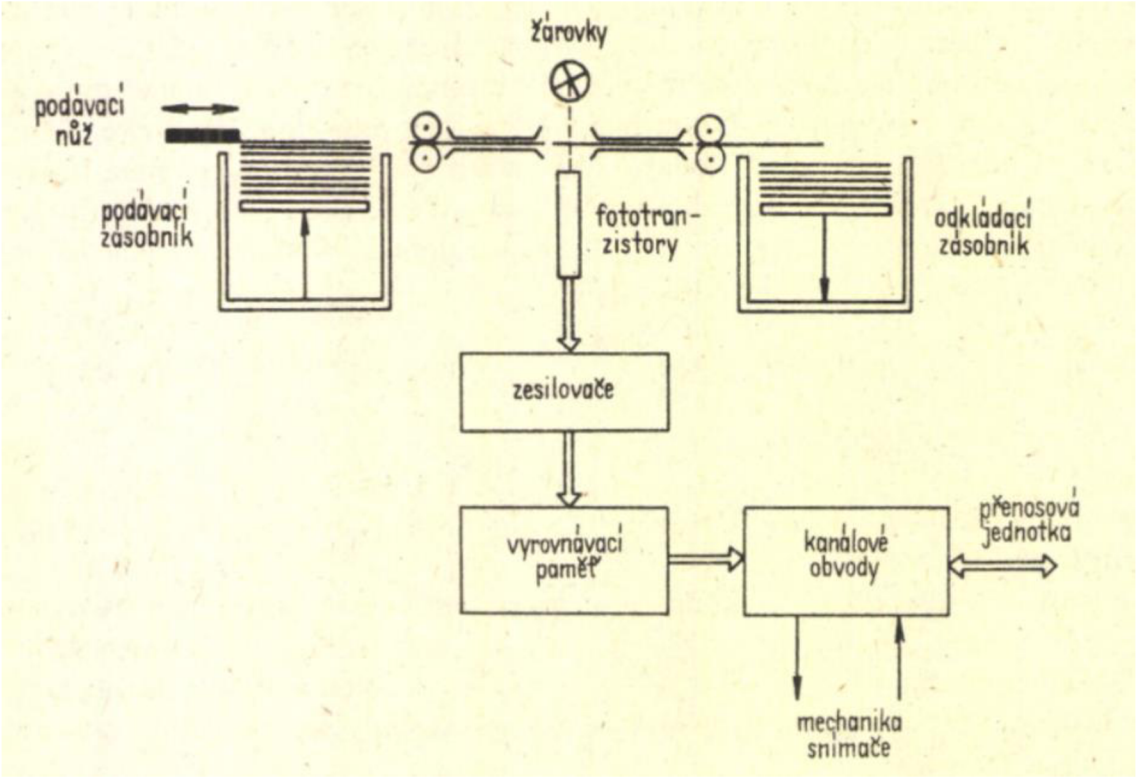
Tato podkapitola se zabývá vývojem jednotlivých paměťových zařízení, které významně přispěly vývoji počítačů. Posloupnost zmíněných zařízení je uváděna v chronologickém pořadí, ve kterém zařízení vznikly. Téměř žádné z níže uvedených zařízení se v dnešní době už nevyužívá, kontinuální vývoj byl zachován u pevných disků, optických médií a magnetických pásek.

2.2.1 Mechanický záznam dat

2.2.1.1 Děrné štítky

Děrné štítky jsou paměťová zařízení mechanického typu, které byly v historii známé také pod názvem "IBM cards", protože s návrhem formátu přišla společnost IBM. Formát těchto karet byl 12 řádků a 80 sloupců o rozměrech přibližně 187x82 mm. Princip děrného štítku je vcelku jednoduchý, je tvořen z papíru/kartonu. Informace se zaznamenávají pomocí otvorů v určitých řádcích a sloupcích. Díry mohou být vyraženy ručně či pomocí děrovacího stroje (ve tvaru čtverce, kruhu, obdélníku). Vyražený otvor symbolizuje logickou jedničku, jeho absence poté logickou nulu. Tyto štítky se vkládají do čtečky děrných štítků, která následně předá počítači dekódované informace. Pomocí tohoto způsobu bylo možno zadávat do počítače počítačové programy, ale bylo to velice pracné řešení, kde bylo nutné znát přesnou posloupnost štítků. Značnou výhodou při nalezení poškozeného štítku, či štítku obsahující chybu, je jeho výměna za nový bezchybný štítek. Princip, kterým funguje čtečka děrných štítků, je zobrazen na obr.3, nachází se zde řídící jednotka a mechanika snímače. Existovalo více typů snímacích jednotek, na obrázku

je zobrazen fotoelektrický způsob snímaní, fungující na principu, že dané světelné zařízení osvětlí štítek, který byl podávacím nožem zasunut mezi podávací kladky, poháněné elektromotorem do expozice osvětlení, kde světelné paprsky prochází otvory štítku a dopadají na fototranzistory, v nichž se mění na elektrické impulzy. Čtení může být řádkové, či sloupcové, podle toho jsou také uzpůsobeny žárovky a fototranzistory. Jde o novější metodu, ty starší využívaly snímaní kontaktními kartáčky. První masové využití děrných štítků bylo v roce 1890, při sčítaní obyvatel v USA. [5] [6]

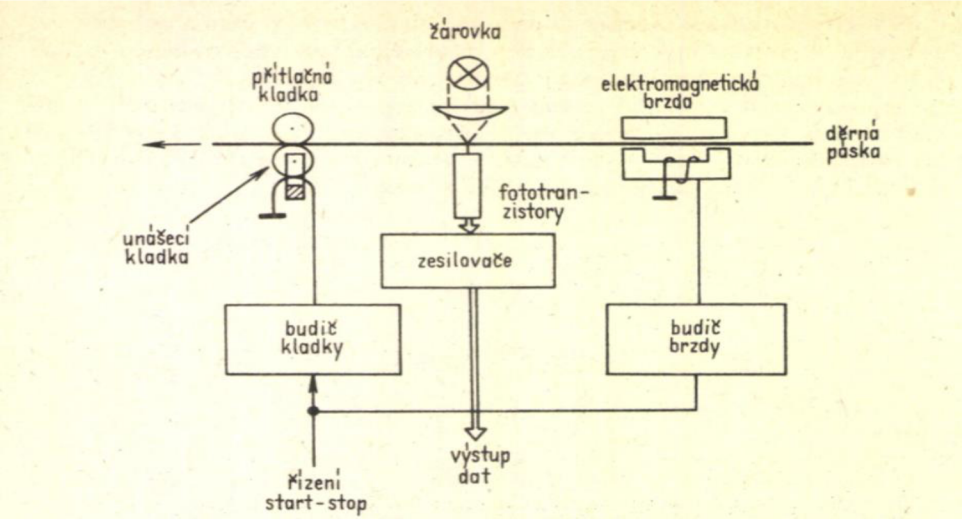


Obr. 3 princip čtení dat z děrných štítků
Zdroj: [6]

2.2.1.2 Děrná páska

Děrná páska funguje na podobném principu jako děrný štítek, ovšem přináší značné vylepšení tím, že nabízí informace o délce dané pásky, která může být teoreticky libovolná. Jako materiál se většinou využíval papír, při kvalitnějším zpracovaní kov. Tloušťka pásky byla 0,1 mm a průměr děrovaných otvorů byl potom 1,83 mm. Šířku můžou mít děrné pásky různou, je to dáno podle toho, kolik stop děrná páska má. Běžně se využívalo od pěti do osmi stop, přičemž tloušťka

pětistopé pásky je 17,5 mm. Počet stop udává také možný počet symbolů, které lze zaznamenat. Na pásce se kromě otvorů symbolizujících data, nachází otvory menších rozměrů, nachází se ve středu pásky. Tyto otvory jsou tzv. vodící otvory, slouží nejen k posunu děrné pásky ve snímači, či děrovači pásek, ale také k vytvoření synchronizačních impulzů. Fotoelektrická čtečka děrných pásek, kterou je možno vidět na obr. 4, funguje na podobném principu, jako již uvedená čtečka děrných štítků, hlavní rozdíly jsou v tom, jakým způsobem je materiál předáván, zde se používá jednoduchý navíjecí mechanismus, využívající elektromagnetickou brzdu k zastavení pohybu pásky. Drobné změny se také nachází ve fotoelektrickém snímaní, kde je tolik žárovek, kolik má daná páska stop. [6]



Obr. 4 princip čtení dat z děrných pásek
Zdroj: [6]

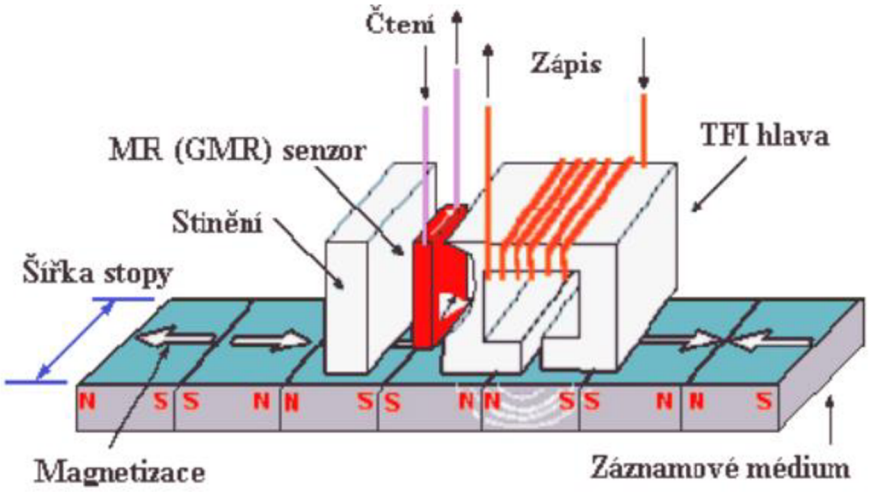
Nevýhody těchto dvou typů pamětí jsou především v životnosti, která se odvíjí od způsobu zacházení. Další nevýhodou je, pokud tehdejší programátor udělal chybu, musel být štítek, či páska opětovně vyražena, také je nutné znát přesnou sekvenci, či posloupnost.

2.2.2 Magnetický záznam dat

Předchozí mechanické paměti nebyly příliš účinné a nenabídly ani tak velkou kapacitu, jakou se vývoj počítačů ubíral. Poprvé byl magnetický záznam použit v

roce 1926, kdy Němec Fritz Pfleumerem použil magnetický záznam (konkrétně magnetickou pásku) pro uložení zvuku. Objevení magnetického záznamu dat velmi ovlivnilo vývoj paměťových zařízení, vývoj tohoto principu setrvává i dodnes. Počáteční vývoj byl poněkud brzděn i z důvodu druhé světové války, kdy nacistické Německo drželo tuto technologii tajně ve svém výzkumu, nicméně po druhé světové válce se magnetický záznam rozšířil, a to na tolik, že kromě ukládaní počítačových dat, našel také své využití v oblasti videa a zvuku. [7] Pod tento princip spadají i pevné disky a diskety. Diskety jsou současně již zastaralým a nepoužívaným médiem, nicméně pevné disky stále setrvávají na popularitě.

Obecně magnetický záznam funguje na takovém principu, že v bodě, nad kterým se nachází zápisová hlava, dojde ke zmagnetizování záznamového média na odpovídající magnetickou úroveň. Tato magnetická úroveň odpovídá vstupnímu elektrickému signálu. Magnetizace se defacto pohybuje ve dvou směrech. Při čtení čtecí hlavou je proto možno tyto magnetické změny opět sestavit a převést do původního elektrického signálu. Zápisová hlava je tvořena z magneticky měkkého materiálu, záznamové médium je naopak tvořeno z magneticky tvrdého materiálu. Pro záznamové médium se většinou využívají například práškové ferity s pojivem plastů, feromagnetické kovy a jejich vzácné slitiny, či feromagnetické oxidy. Obr. 5 znázorňuje princip magnetické hlavy. [8]

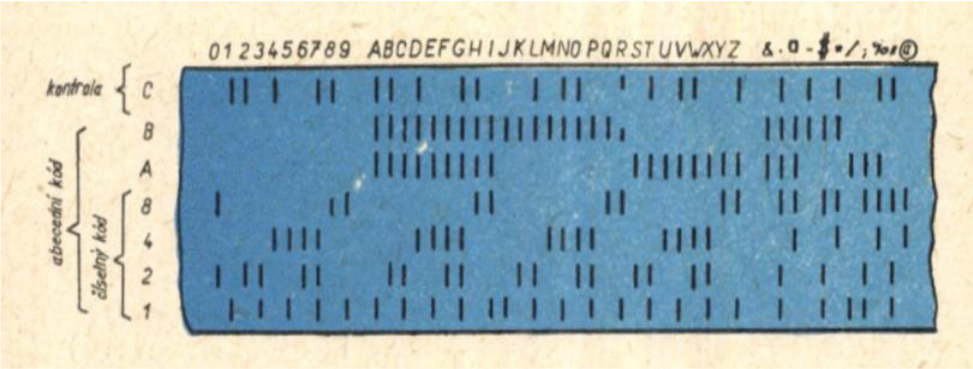


Obr. 5 princip magnetické hlavy
Zdroj: [8]

2.2.2.1 Magnetická páska

Magnetické pásky jsou standardizovaným médiem, které se zachovalo dodnes. Historicky existovaly v různých rozměrech. Pro systémy počítačů se ujal nejvíce model devítistopé pásky s šířkou 12,7 mm a délkou 750 m. Páska mohla být namotána na jednu, nebo dvě cívky. Efektivnější byla verze s dvěma cívkami z důvodu snazšího přetočení pásky. Pro hustotu záznamu se používala jednotka BPI (bit na palec), pro lehké porovnání, jeden děrný štítek (80 sloupcový), zabere na pásce s hustotou záznamu 800 BPI 0,25 cm, tedy 750 m pásky odpovídá zhruba 60 000 děrným štítkům. [10]. Magnetické pásky mají na obou koncích tzv. zaváděcí část, která je namotávána na cívku, až dojde k zaváděcímu bodu, ten označuje počátek záznamu dat. Tento úsek také označuje řadu systémových údajů o magnetické pásce. Doba vyhledání konkrétní informace může být velice různorodá. Doba se odvíjí od toho, v jaké části pásky se daná informace nachází a jak dlouho je nutné přetáčet pásku na tento bod. Doba přetočení z jednoho konce pásky na druhý může trvat řádově i minuty, odvíjí se od délky pásky. Toto paměťové médium našlo největší uplatnění převážně jako archivační médium. Pokud není magnetická páska vystavena magnetickému působení, či působení v prašném prostředí, jedná se o spolehlivou technologii. V pozdější době našla také využití pro ukládání audia a videa (DAT/VHS). [9]

Strukturálně se magnetické pásky skládaly z acetylcelulózy nebo ze speciální plastické hmoty, která je potažena magnetickým materiálem, zápis i čtení funguje na principu, že na délku dané pásky je vedle sebe v řadě proloženo více hlav, které zapisují/čtou v jedné záznamové dráze. Jak znázorňuje obr. 6, jedna z drah je vymezena pro kontrolu parity, díky ní je možno rozpoznat chybu na pásce. Na pásce existovala také adresace, díky které počítač mohl vědět, v jaké části pásky se nachází, princip je takový, že páska byla rozdělena na bloky informací a mezi jednotlivými bloky byly mezery pro rozběh a zastavení pásky, jelikož je nutné, aby páska byla poháněna na určitou nominální rychlost. Tyto bloky měly velikost jednoho děrného štítku. [10]



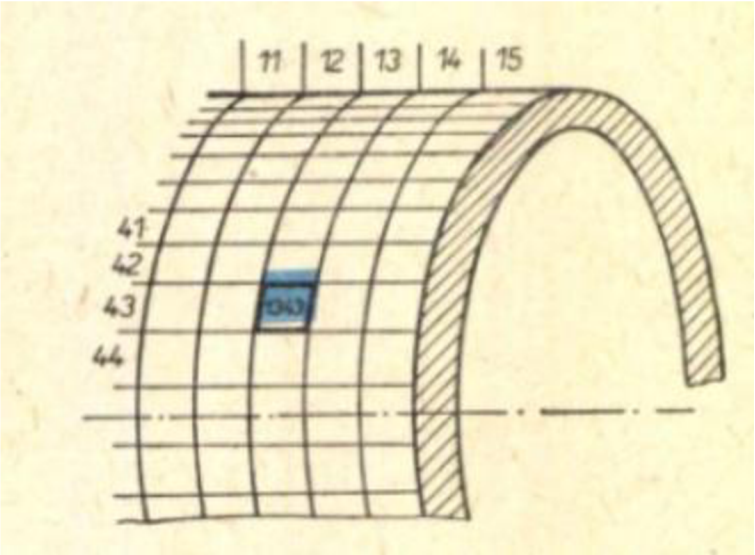
Obr. 6 dělení záznamových a paritních drah magnetické pásky
Zdroj: [10]

2.2.2.2 Magnetická bubnová paměť

Jednalo se o druh paměti využívané především jako operační paměť počítačů. Již z názvu lze odvodit, že tato paměť využívá princip magnetického záznamu a čtení dat. Paměť je tvořena válcem o průměru od 10 do 30 cm a délkou do 80 cm. Větší rozměry nebyly využívány, vzhledem k teplotní roztažnosti materiálu, která by byla příčinou poruch. Kapacita a přístupná doba této paměti záleží samozřejmě na použitých rozměrech válce, je uváděno, že kapacita je až několik milionů bitů (1000000 b=0,125 MB). Na válec bubnu je nanesena magnetická vrstva pomocí lakové disperse, tvořená slitinou niklu a kobaltu. Magnetický válec je otáčen pomocí motoru rychlostí 3000 až 15000 otáček za minutu. [10]

Uspořádání dat ve válci funguje na takovém principu, že po obvodu válce jsou rozloženy elektromagnetické hlavy, na každou stopu minimálně jedna. Může jich být ovšem více a to podle principu užití jako je čtení/mazání dat. Pro představu adresování si můžeme magneticky bubnovou paměť představit jako šachovnicové pole, vertikálně rozdělené podle počtu elektromagnetických hlav tvořící jednotlivé stopy a horizontálně rozdělené podle počtu adresovatelných paměťových míst, které se vejdou na jednu stopu. V tomto paměťovém místě elektromagnetická hlava zmagnetizuje dipól ve směru či proti směru otáčení, což bude značit logickou (1/0). Adresování stop je určeno jednotlivými hlavami, které jsou očíslovány. Horizontální adresování může být tvořeno jednoduchou strukturou pomocí synchronizačních impulzů a pomocného čítače. Ve složitější variantě jsou čísla horizontálních adres

zaznamenána do určených stop. Zápis dat může být prováděn sériově na jedné stopě, či paralelně (horizontálně), nebo kombinací obou metod. [10]



Obr. 7 znázornění rozdělení paměťových míst magnetické bubnové paměti
Zdroj: [10]

Princip čtení dat využívá elektromagnetických hlav, které snímají změnu magnetického toku. Využívalo se dvou metod kódování dat RZ (návrat k nule) a NRZ (bez návratu k nule). Zásadní rozdíl je, že metoda RZ se po každém bitu vrací k neutrální hodnotě. Metoda NRZ se do neutrální hodnoty nevrací, pohybuje se tedy pouze mezi dvěma hodnotami symbolizující (0/1). Způsob NRZ umožňuje uložit větší kapacitu dat. [10]

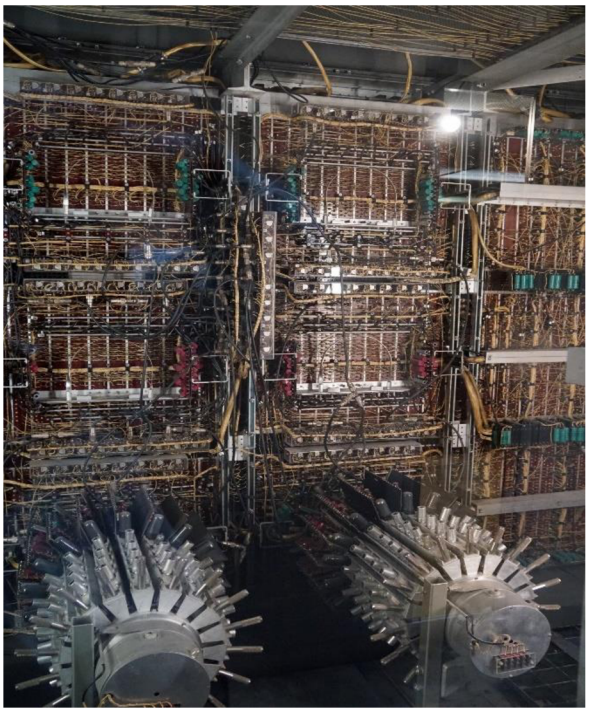
2.2.3 Speciální typy pamětí

2.2.3.1 Paměť se zpožďovací linkou

Jedná se o volatilní typ paměti sériového typu, tedy paměť vyžaduje určitý typ "refresh", aby byla schopna uchovávat jednotlivé informace požadovanou dobu. Rozdělení SRAM a DRAM je popsáno v kapitolách (3.4.1 - 3.4.2). Variant pamětí se zpožďovací linkou existuje více, nicméně zde bude uvedena nejpoužívanější varianta rtuťových trubic. Tento typ paměti se objevil například v počítači EDSAC (1948). Princip paměti se zpožďovací linkou využívá rtuť vyplněnou ve skleněných,

či ocelových trubicích. Počet trubic i délka a průměr určují kapacitu zařízení. Trubice jsou na každém konci zakončeny křemennými krystaly s kovovým vývodem. Kombinace těchto materiálů fyzikálně umožnuje zpoždění signálu. Na jeden konec trubice určené jako vstupní, je přivedeno střídavé napětí, to je transformováno na mechanické formou tlakové vlny, která se šíři uvnitř rtuti a je přivedena na druhý konec trubice, kde je tato vlna opětovně transformována na stejné střídavé napětí jako na vstupu s tím, že dojde k určitému zpoždění. Princip si lze představit jako volání pomocí nitkového telefonu. Data, která přichází z trubice na výstup, jsou poslána do řadicího obvodu, kde je rozhodnuto, zda data budou vyslána do dalších částí počítače, či se vrátí zpět na vstup přes zesilovač signálu a budou dále kolovat, dokud je počítač nebude vyžadovat. Problém může nastat v případě, kdy počítač vyžaduje nějaká data, ale musí čekat na to, až projdou zpožděním v trubici. Doba čekání může být konstrukčně zkrácena využitím většího množství menších trubic tvořící jednu paměť. [2] [10]

Hlavní nevýhodou tohoto typu paměti je především rtuť samotná, nejen, že sama o sobě je dosti toxická, ale aby bylo možné zajistit bezchybnou funkčnost této paměti s ideálním zpožděním linky, se kterou počítač počítá, je nutné rtuť v trubicích udržovat v konstantní teplotě. To vede k dalším dodatečným nákladům na výstavbu a užití takové paměti. Zajímavostí také může být, že prvotní primární účel využití tohoto principu paměti byl využit u vývoje radaru, zpožďovací systém dokázal odstínit rušení a zachytit tak pouze pohybující se vzdušné objekty. [11]



Obr. 8 část počítače UNIVAC I s pamětí zpožďovací linky v přední části obrázku
Zdroj: https://twitter.com/9600/status/1062992025287569408/photo/2

2.2.3.2 Williamsova trubice

Tato paměť se objevuje v literatuře a různých článcích také pod názvem Williamsovo-Kilburnova trubice. Název je odvozen od vynálezců Fredricka Williamse a Toma Kilburna, kteří přispěli vývojem tohoto typu paměťového média, které vzniklo v roce 1947. Hlavním důvodem zmínění je to, že se jednalo o první plně elektrickou paměť. Paměti, které jsou zde uvedené, byly vcelku dost mechanické, tehdejší rozvoj počítačů vyžadoval snižovaní latencí přístupů k informacím, mechanické zařízení toto neumožňovalo takovým způsobem, proto vznikly mnohé pokusy, jakým způsobem by to bylo možné realizovat. Williamsova trubice patří mezi ně. [12]

Williamsova trubice je paměť s náhodným přístupem. Vynálezci této paměti se inspirovali tehdejším vývojem vojenských radarů, konkrétně CRT monitorem, který zobrazoval výstupy z radarů. CRT monitor využívá katodové trubice, která emuluje elektronový paprsek. Tento paprsek dopadne na povrch displeje, který je

pokryt fosforem, tak dojde k rozsvícení jednoho bodu. Toto rozsvícení dokáže setrvat zlomek vteřiny i po ukončení působení paprsku. Williams a Kilburn využili právě toho principu ke konstrukci počítačové paměti. Princip byl upraven tak, že byla sestavena destička s maticí bodů, které bylo možno osvětlit. Každý takový bod symbolizuje právě jeden bit. Součástí paměti byla speciálně uzpůsobená elektronika, která měla na starost periodický refresh rozsvícených míst. Na vnější stranu obrazovky byly přidělány kovové destičky, ty se zde nacházely za účelem čtení dat. Pokud se jeden obrazový bod rozsvítí, vytvoří se elektrický náboj, tento náboj se dokáže přenést na kovovou destičku, která se nachází za tímto bodem. Rozsvícený bod symbolizuje logickou jedničku, černý bod logickou nulu. [13] [14]

Tato paměť byla nekompromisní, co se týče přístupové doby, oproti předchozím uvedeným typům paměťových médií, hlavní problém byl ve spolehlivosti, která byla nižší. Vynálezcům se povedlo vytvořit destičku, která byla schopna adresovat 2048 bitů, většinou se ale využíval typ, který dokázal uchovat 1300 bitů s přístupovou dobou 10 μs. Paměť se nacházela například v počítači Manchester Mark I. Williamsova trubice a paměť se zpožďovací linkou byly v pozdější době v počítačích nahrazeny feritovými pamětmi, které měly větší spolehlivost. [13][15]

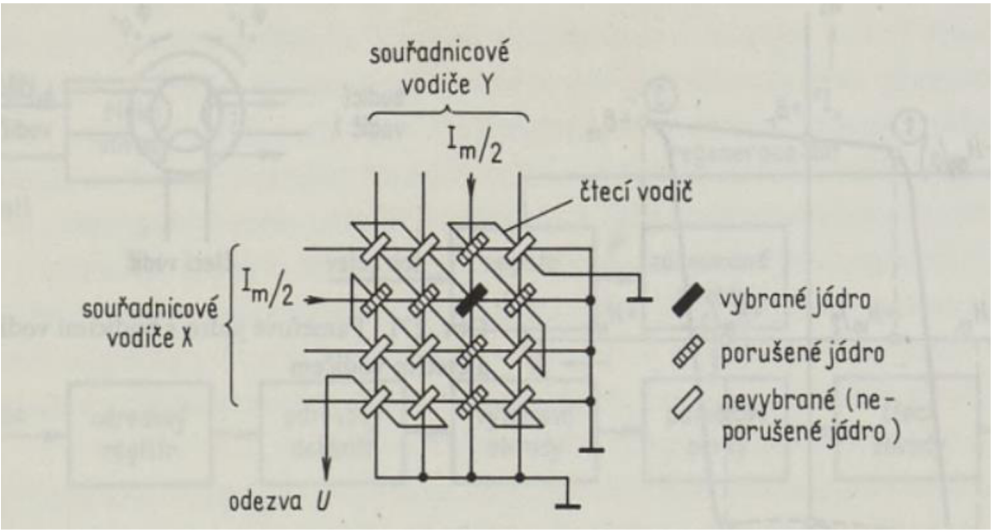
2.2.4 Feritová jádra

2.2.4.1 Feritová paměť

První počítač využívající tuto paměť byl Whirlwind v roce 1953. Tato paměť byla využívána jako operační paměť počítačů, jde o statickou paměť umožňující výběr dat podle adresy. Paměť využívá vlastností magnetického materiálu jednotlivých jader z feritů, která jsou spletena do maticové sítě. Každé jádro představuje jeden adresovatelný bit. Paměť je energeticky nezávislá, tedy i po odpojení napájení uchovává každé jádro svou informaci. Uchování informace v jádru umožňuje magnetická hystereze. Každým jádrem, které je tvaru anuloidu, prochází tři až čtyři vodiče. Velikost jednoho jádra se měnila postupným vývojem tohoto typu

paměti, v roce 1954 byl využíván průměr 1,5 mm, pro porovnání v roce 1972 byl zmenšen průměr jednoho jádra na 0,125 mm. Jednou ze zajímavostí je, že při výrobě této paměti, daná síť feritových jader a vodičů, které jimi prochází, byla proplétána ručně za využití mikroskopů. [16][17]

Feritovým jádrem prochází dva budící vodiče X a Y za účelem vytvoření magnetického pole v určitém směru. Tento směr určuje, zda se jedná o logickou nulu či logickou jedničku. Každé feritové jádro má jistou prahovou hodnotu proudu, která při překročení této hranice vytvoří trvalé magnetické pole o určitém směru. Pokud budeme chtít vytvořit magnetické pole opačného směru, musíme přivést proud s opačnou polaritou. Jelikož se zde nachází dva vodiče, na každý vodič je puštěna poloviční prahová hodnota proudu. Nižší hodnota proudu, než prahová nezpůsobí vytvoření magnetického pole. Na jeden vodič připadá více feritových jader, pokud tedy prochází daným jádrem proud o poloviční prahové hodnotě, nedojde k přepsání informace v každém jádru. Jak již bylo řečeno, maticové uspořádání umožnuje, že vodiče Xp a Yp, na které je přivedeno toto napětí, dokáží přepsat právě jedno konkrétní jádro v průsečíku Xp a Yp. Tímto způsobem jsme schopni adresovat všechny jádra v matici. Pro čtení se využívá vodič Y a zároveň na vodič Xp a Yp, je přivedeno záporné napětí o poloviční prahové hodnotě. Pokud v daném jádru dojde k překlopení směru magnetického pole, čtecí vodič indukuje impuls napětí. V podstatě jednoduše řečeno, při čtení dat se zapisují logické nuly, pokud dojde k překlopení jádra, na místě se nacházela logická jednička. Pokud na daném místě byla zapsána logická nula, není detekován žádný impuls. Znamená to především to, že čtení z feritové paměti je destruktivní, je nutný tedy refresh. Obrázek níže zobrazuje souřadnicový systém a uspořádání jednotlivých feritových jader. [18][16]



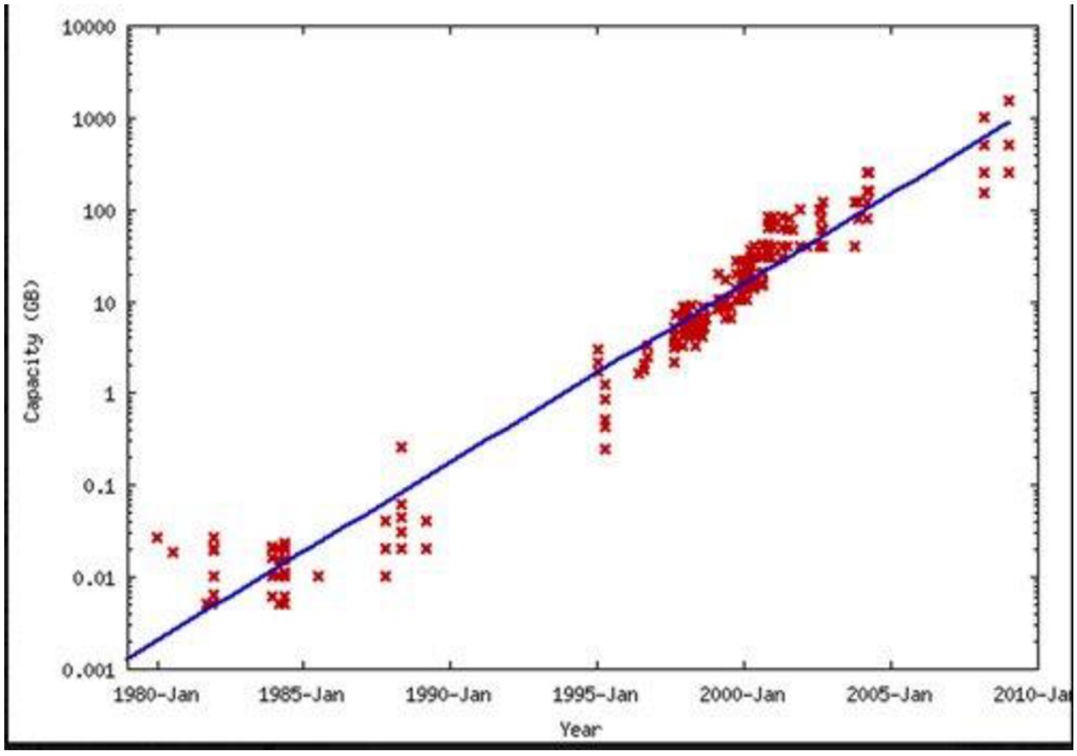
Obr. 9 uspořádání feritových jader a vodičů
Zdroj: [18]

V počítači Whirlwind, který tuto paměť využíval, bylo použito 16 destiček, které využívaly 32x32 adresovatelných jader. Tedy přesněji kapacita 2,048 kB s přístupovou dobou uváděnou 9 µs. Jednou z výhod feritových pamětí je, že při odpojení napětí zapsané informace zůstávají, což může nést výhody při pádu systému či nečekanému odpojení proudu. Postupným vývojem a zmenšováním daných feritových jader se navyšovala nejen kapacita, ale došlo i k drobným snížením dané přístupové doby. [16]

2.2.5 Pevné disky

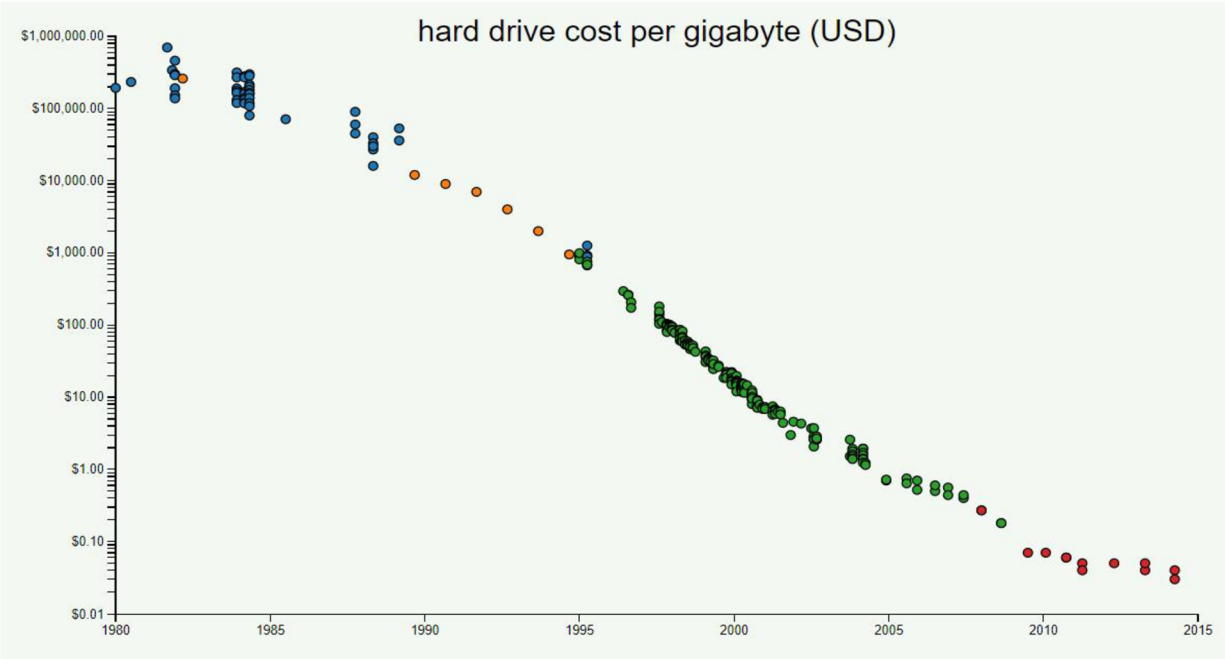
Pevné disky jako paměťové zařízení si zasluhují rozsáhlejší kapitolu vzhledem k tomu, že se jedná o médium, jehož vývoj započal v roce 1956 a pokračuje i v současné době. Z historického vývoje je zajímavé zmínit, že pevné disky byly již od počátku koncipovány k tomu, aby dokázaly uchovávat velké kapacity. Mark Kryder, bývalý technologický ředitel společnosti Seagate, představil zákon, podobný Moorovu zákonu – Kryderův zákon. Podle tohoto zákonu se předpokládá, že hustota diskových jednotek se zdvojnásobuje každých 13 měsíců. Od vzniku první diskové jednotky IBM 350 (1956) až do současnosti se nárust kapacity zvětšil o 10^{13}. Graf č.1 popisuje modrou křivku, která symbolizuje Kryderův zákon, červeně zvýrazněné

body jsou skutečné pevné disky s odpovídající kapacitou, které vznikly v daném období. Zobrazení kapacity „osa X“ je znázorněno v jednotkách gigabajtů (GB). [19]



Graf č. 1 vývoj disků a Kryderův zákon
Zdroj:
https://www.theregister.com/2014/11/10/kryders_law_of_ever_cheaper_storage_disproven/

Další zajímavostí vztahující se k narůstající kapacitě pevných disků v průběhu historie, je cena za jednotku GB, která se vztahuje k následujícímu grafu. Z počátku byly pevné disky totiž spíše pronajímány než prodávány vzhledem k ohromné ceně. Postupným vývojem a rostoucí kapacitou se pevný disk stal dostupným médiem pro uložení dat. Graf č. 2 zobrazuje reálné zařízení a na ose Y znázornění ceny za jednotku GB.



Graf č. 2 cena za jednotku GB v průběhu historie HDD
Zdroj:
https://www.semanticscholar.org/paper/Evolution-of-Archival-Storage-(from-Tape-to-Memory)-Ramapriyan/

Následující podkapitoly se budou zabývat vybranými zařízeními, které představovaly určitý progres ve vývoji pevných disků.

2.2.5.1 IBM 350

Jedná se historicky o první pevný disk, za zrod tohoto zařízení je považován tým IBM pod vedením Reynolda Johnsona, měl sloužit k urychlení mainframe počítačů, aby dokázal realizovat chod účetnictví v reálném čase. Než byl představen, tak se využívaly děrné štítky nebo magnetické pásky. Zařízení bylo poprvé součástí IBM 305 RAMAC. Celek zařízení s plotny disku vážil přibližně tunu. [20] [21]

Tým IBM vycházel z patentu, jehož původcem byl Jacob Rabinow. Týkal se pojetí konceptu disku. Ukládaní dat funguje na základním principu, který je dost obdobný pro současné pevné disky, jak bude rozebráno později. Digitální data se ukládají na magnetický materiál disku. Nachází se zde čtecí a zápisová hlava, která

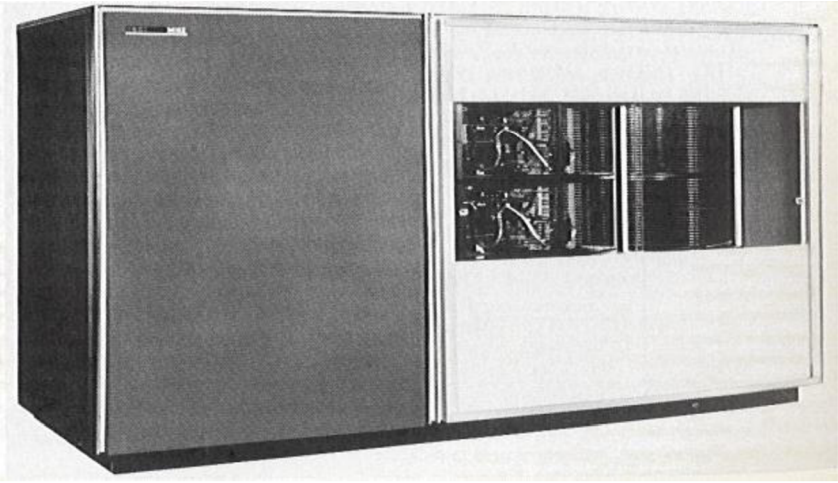
se pohybuje nad rotujícími disky, které se točí konstantní rychlostí, přesněji 1200 otáček/min. Uváděná kapacita tohoto zařízení dosahuje velikosti 3,75 MB. Přístupová doba, kterou aktuátor potřeboval pro pohyb mezi plotny, byla zhruba jedna vteřina. Tento model obsahoval 50 ploten, každou s průměrem 60 cm (24“). [21] [22]

Obr. 10 přemístění IBM 350 pomocí letadla
Zdroj: [21]

2.2.5.2 IBM 1301

Toto zařízení bylo vynalezeno v roce 1961 a ve vývoji disků přineslo další významný objev, který posunul vývoj dalším směrem. Jde především o to, že společnost IBM se snažila snížit přístupovou dobu, kterou potřebovala čtecí hlava a zápisová hlava, dalším cílem bylo také samozřejmě zvětšení kapacity oproti modelu IBM 350. K dosažení těchto vlastností bylo zapotřebí vymyslet nový přístup, který si žádal umístění hlav blíže disku. Vznikl koncept tzv. „létající hlavy“. Model 350 k tomu využíval hydrodynamické posuvné vzduchové ložisko, což bylo neefektivní. Přiblížení k disku bylo z původních 800 µin na pouhých 250 µin. Dalším prvkem, který přinesl vylepšení bylo to, že na každou plotnu ve válci se přidala jedna zápisová a čtecí hlava. Tím došlo k zamezení vertikálního přesunu mezi plotny a ke snížení nutné přístupové doby, který tento pohyb u modelu IBM 350 s pouze jednou čtecí a zápisovou hlavou vyžadoval. [23] [24]

Tyto změny přinesly až 13x větší kapacitu na palec čtvereční oproti IBM 350, disky se otáčely rychlostí 1800 rpm. U tehdejšího používaného sálového počítače IBM 7000 šlo připojit až 10 diskových modulů IBM 1301. [24]



Obr. 11 jednotka s dvěma moduly pro IBM 1301
Zdroj: http://www.columbia.edu/cu/computinghistory/1301.html

2.2.5.3 IBM 1311

Toto zařízení bylo vyrobeno v roce 1963 společností IBM a hlavním důvodem, proč stojí za zmínění je to, že přinesl nový koncept označen jako tzv. „disk pack“. Jde tedy o to, že jednotka IBM 1311 nastínila princip vyjímatelného média. V zařízení byly vyjímatelné balíčky disků po šesti s velikostí zhruba 35 cm. Takže samozřejmě, nejedná se o médium snadno přenosné, ale přineslo to ovšem nový směr smýšlení o přenosnosti zařízení, které v budoucnu přinesly přenosné jednotky jako např. diskety, CD/DVD. [25]

Váha jednoho balíčku disků byla okolo 4,5 kilogramů, na každý bylo možno uložit 2,5 MB dat. Do sektoru, tedy nejmenší adresovatelné jednotky disku, bylo možno zapsat 100 znaků a průměrná přístupová doba byla zhruba 250 milisekund. Vzdálenost hlav byla také snížena, a to přesněji na 125 µin. [25] [26]

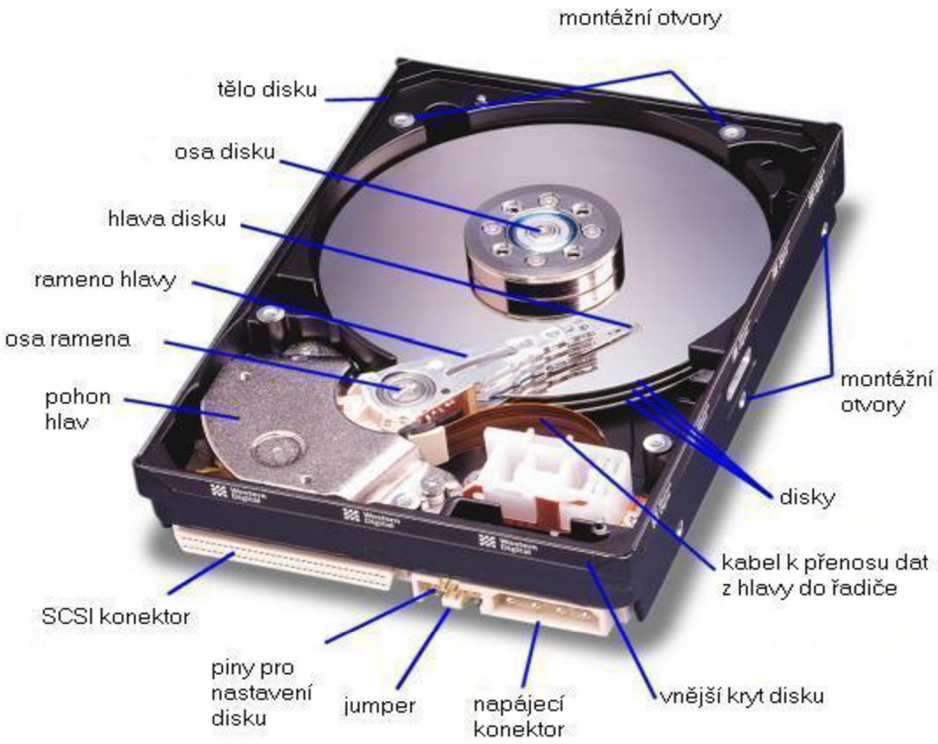
2.2.5.4 IBM 3380

Pevný disk představený v roce 1980, jednalo se o první disk nabízející kapacity řádově v jednotkách GB. Byl určen pro serverové využití. Přesná kapacita disku byla 2,52 GB, při obsazení obou modulů. Společnost IBM poukázala tímto diskem na to, že pevné disky budou vysokokapacitní média. Toto tvrzení platí i v dnešní době. IBM 3380 má výrazně sníženou přístupovou dobu, a to na pouhých 16 ms. Cena, za kterou byl prodáván na trhu byla 40,000 $ a jeho váha 250 kg. [27]

2.2.5.5 Struktura a princip pevného disku

2.2.5.5.1 Fyzická struktura pevného disku

Pokud si vezmeme moderní pevný disk do ruky, první, co pravděpodobně naše oko zahlédne bude obal, který je tvořen z pevného materiálu, většinou kombinací hliníku, nerezové oceli a plastu. Úkolem tohoto obalu je chránit citlivé komponenty pevného disku před kontaminací nečistotami. Hlavní kryt nazývaný také jako Head Disc Assembly (HDA), bude mít na některé straně nepatrný otvor. Tento otvor plní princip vzduchového filtru disku a je zde umístěn, aby se disk v důsledku nízkého atmosférického tlaku nenafoukl, nebo naopak nebyl stlačen. Pod obalem HDA se nachází hřídel vřetena, na které jsou osazeny plotny disků. Ty se otáčí konstantní rychlostí pomocí motoru vřetena, počet otáček je stabilizován regulačním obvodem. Regulační obvod zamezuje kolísání, či stupňování otáček nad vymezenou míru. Prodejci toto běžně uvádějí pod zkratkou RPM, neboli otáčky za minutu. Disky na trhu nabízejí většinou 7200 RPM, ale může to být také 5400 RPM, jde o ekologičtější varianty, které neprodukující tolik zbytkového tepla. Při roztočení ploten v disku cirkuluje vzduch určitým směrem, vytvoří se tzv. cirkulační proudění, které sebou unáší důsledkem mechanického opotřebení jednotlivých komponent drobné mikroskopické částice. Částice jsou zachytávány vzduchovým filtrem. [61]

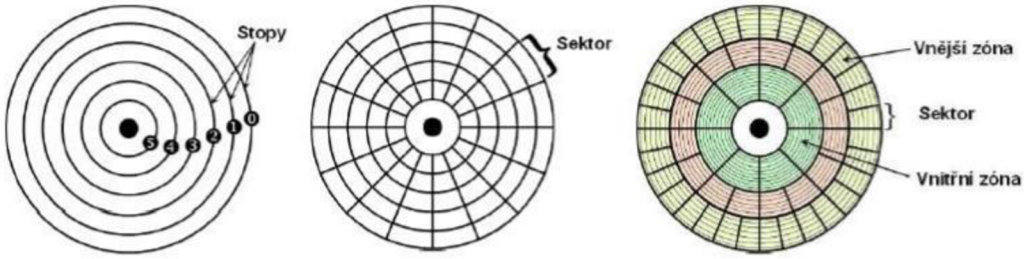


Obr. 12 komponenty pevného disku bez krytu HDA
Zdroj: https://www.medialnigrafika.cz/ikt/img/hdd.jpg

Jednotlivé plotny disku jsou tvořeny materiálem, který musí být lehký a pevný. Používány jsou slitiny hliníku, novější disky využívají speciální druh skla. Na tuto vrstvu skla či hliníku je potom nanesena magneticky tvrdší vrstva, většinou se využíval kobalt či železo-keramika. Nanášení se aplikuje na obě vrstvy formou galvanizace. Poslední vrstva, která je nanesena, je ochranná vrstva, chrání plotny právě před mechanickým poškozením. Každé plotně, která je upevněna na hřídeli vřetena, je přiřazena jedna hlava. Hlavy jsou umístěny na vystavujícím rameni ve stejné rovině. O posun ramene se stará tzv. aktuátor. Hlavy jsou z obou stran každé plotny, nachází se zde čtecí/zápisová hlava, přičemž platí pravidlo, že čím blíže jsou hlavy umístěné k disku, tím větší je kapacita disku, jelikož to nabízí větší bitovou hustotu. Vzdálenost bývá řádově pouze několik nanometrů, proti doteku hlavy a magnetické vrstvy slouží právě ochranná vrstva. Někteří výrobci přinesli dodatečná vylepšení jako například firma Samsung a její technologie ImpactGuard, kdy se na vystavovacích ramenech disku nachází drobné obranné polštářky snižující mechanické opotřebení. [61] [62]

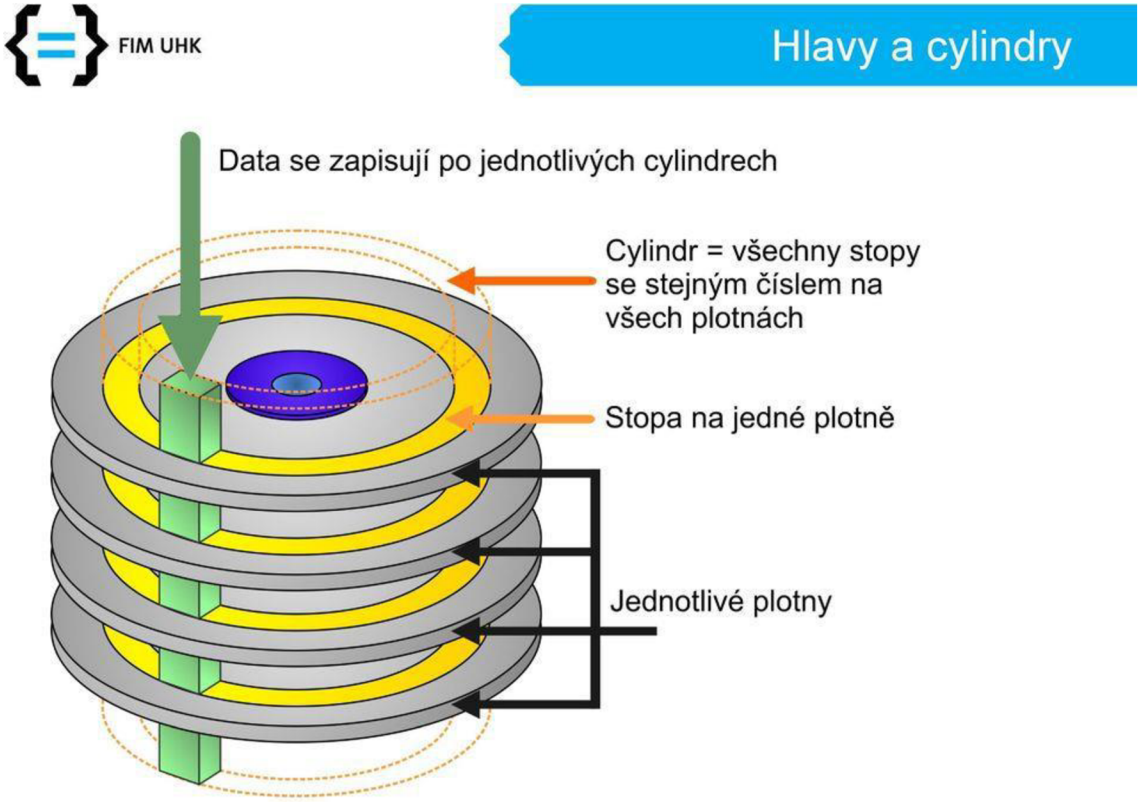
2.2.5.5.2 Struktura Nízkoúrovňového formátování

Tento druh formátování vytváří výrobce při výrobě daného disku. Účelem tohoto formátování je „fyzické“ rozdělení disku. Plotna disku se rozdělí na stopy, jedná se o soustředné kružnice pro ukládání dat, u každého disku je různý počet stop, je to často ovlivněno jeho kapacitou, může jít řádově i o desetitisíce stop na jedné plotně, po kterých budou čtecí/zápisové hlavy přeskakovat. Stopy se dále dělí logicky do dalších částí nazývaných jako sektory, jde o výseče plotny. Stopy i sektory jsou logicky číslovány identifikačními značkami (poloha, začátek, místo pro data, konec). Takže pro jednotlivé hledaní dat na jedné plotně je nutno znát číslo stopy a sektoru. Velikost sektoru je 512 bajtů, první tzv. nultá stopa je na vnějším okraji plotny. Vše zobrazuje obrázek níže. [63]



Obr. 13 logické rozdělení plotny disku na stopy a sektory
Zdroj: [63]

Jelikož novodobé disky využívají samozřejmě více než jednu plotnu, existuje další logické členění, a tím je cylindr. Jde o množinu všech daných stop na jednotlivých plotnách, které jsou ve stejné úrovni. Vzhledem k tomu, že pohyb hlav je spojen s ramenem, který je v jedné úrovni nad všemi plotnami. Obr. 14 zobrazuje princip cylindrů. [63]



Obr. 14 plotny disku a cylindry
Zdroj: https://docplayer.cz/3365605-Pevny-disk-fyzicka-struktura-josef-horalek.html

2.2.5.6 Hybridní pevný disk

Hybridní pevné disky neboli SSHD byly značnou novinkou, kterou se určití výrobci snažili vyrovnat vlně SSD disků (popsané později v kapitole 3.3.3), které jsou výkonnostně rychlejší, ovšem ale cenově dražší. U novějších hybridních disků vše funguje na principu, že v elektronice pevného disku je samostatně „uvažující jednotka“, která vyhodnocuje, která data jsou nejpoužívanější a ty pak přesune do flash části hybridního disku. Toto je využíváno do doby, dokud se nezaplní flash paměť, ta si automaticky maže méně potřebné části daných programů. [80]

2.2.5.7 Formáty pevných disků

Historicky zmíněné pevné disky používaly nezávislé formáty a jsou tvořeny takovým způsobem, jak jejich vývojáři uznali za vhodné. V 80. letech 20. století se ovšem poprvé ukotvily pevné formáty, které byly zachovány do dnešní doby. V dnešní době se využívají v klasických desktop sestavách disky o velikosti 3,5“. U přenosných zařízení (notebooků) je běžné, pokud se v nich nachází pevný disk, že má rozměry 2,5“. Tyto rozměry používají i SSD disky. Přechod do zmenšených formátů je ovlivněn především tím, že 80. léta odstartovaly éru osobních počítačů.

- **Formát 3,5“**

Tento formát byl navržen skotskou firmou Rodime v roce 1983. První disk, který ho využíval byl pod názvem „RO352“, nabízel sice kapacitu pouhých 12,75 MB, ale odstartoval popularitu tohoto formátu, jehož se chytili okamžitě i další výrobci pevných disků. Firma Rodime na svých patentech ohledně disků dokázala vysoudit miliony dolarů, ale stejně nedokázala držet krok s dalším pokrokem diskové technologie. [27]

- **Formát 2,5“**

Zmenšený používaný formát pro přenosná zařízení vznikl v roce 1989 od společnosti PrairieTek. Model s označením 220 a kapacitou 20 MB, hmotností 180 gramů, byl první, který formát použil. Tato firma patří jako předchozí mezi průkopníky standardu, ovšem jde o stejný případ, ani PrairieTek nedokázal držet krok s rostoucí technologií podobně, jako mnoho dalších firem, zaměřených na vývoj různých částí výpočetní elektroniky, které vznikly a rychle zanikly. Ovšem obě zmíněné firmy představovaly zajímavý přínos v oblasti pevných disků. [27]

Je zřejmé, že toto období bylo vhodné pro různé experimentování s různými rozměry pro pevné disky. Vznikaly například formáty rozměrů 1,8“ či 1,3“, s kterými přišla známá firma Hewlett Packard. [27]

2.2.5.8 Rozhraní moderních pevných disků

V této podkapitole budou rozebrána aktuálně využívaná rozhraní pro pevné disky. Jde o rozhraní SATA a SAS. Disky formátu SAS jsou využívány především pro serverové zařízení. Jednou ze zajímavostí je, že k řadiči SAS je možno bez problémů připojit disky SATA, existuje zde komptabilita, opačně to ovšem již nelze.

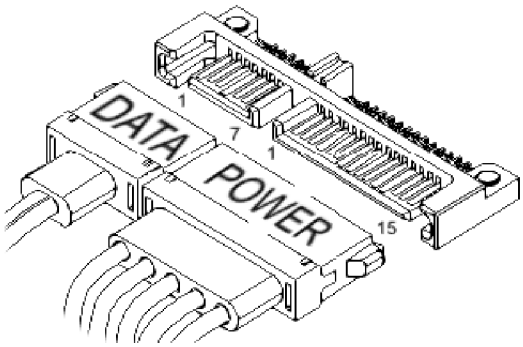
2.2.5.8.1 SATA

Toto rozhraní počítačové sběrnice vniklo ve třech verzích, hlavní rozdíly mezi jednotlivými verzemi jsou v datové prostupnosti, které jsou schopny nabízet. Existuje zpětná komptabilita, na starších deskách řešena pomocí přepínacího jumperu. SATA je sériová sběrnice, první verze vnikla v roce 2000. [64]

Standart	Rok Vzniku	Datová propustnost	Frekvence
SATA 1,5 Gb/s	2000	150 MB/s	1,5 GHz
SATA 3 Gb/s	2004	300 MB/s	3 GHz
SATA 6 Gb/s	2008	600 MB/s	6 GHz

Tabulka č. 1 verze rozhraní SATA
Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_ATA

Data jsou pomocí SATA přenášena po 7 pinech datovým kabelem, který se připojuje na pevný disk společně s MOLEX kabelem, či více využívaným SATA Power konektorem zobrazeným na obr. 15. [64]



Obr. 15 SATA + SATA Power konektor
Zdroj: https://allpinouts.org/img/conn_sata.gif

Další funkcionality SATA

- **NCQ** (Native Command Queuing) je metoda, která pomocí logického řazení posloupnosti vyžádaných dat procesorem, dokáže minimalizovat vniklé zpoždění tak, aby bylo potřeba co nejméně otáček pevného disku a jednotlivých přesunů hlav. Pevné disky musí tuto metodu podporovat, aby mohla na řadiči fungovat. Podle provedených měření, jak uvádí portál Svět Hardware, má ale přínos spíše u serverů. Tato metoda vznikla jako náhrada zastaralé metody Tag 'n seek, kterou používali starší disky. [62]

- **Hot-Swap** technologie nabízí možnost výměny disku za chodu bez nutnosti restartu zařízení. Výhodná je tato funkcionalita zejména v serverovém užití s kombinací RAID v případech, kdy je vyžadován nepřetržitý provoz zařízení. [62]

- **Port Multiplier** funkcionalita, která umožňuje přes jedno rozhraní SATA zapojit více pevných disků pomocí speciální kabeláže. Port Multiplier, musí řadič ovšem podporovat. [62]

- **Staggered Spin Up** funkcionalita, jejíž úkolem je při spuštění daného zařízení efektivně a postupně startovat pevné disky z důvodu nepřetížení zdroje napájení. [62]

2.2.5.8.2 SAS

Tato sběrnice je sériová a přišla jako nástupce paralelního SCSI. Vyšla ve více verzích a rozdíly jsou především v datové propustnosti. Celek se skládá z řadiče, který je buď integrován v základní serverové desce, či je zapojen ve slotu základní desky. Další část je cílové zařízení, např. pevný disk, který komunikuje s řadičem označovaného, často jako iniciátor, pomocí kabeláže, která nabízí oproti SATA rozhraní větší napětí, tudíž délka kabelů je mnohem větší, konkrétně až 10 m oproti

SATA, která využívá 1 m. Často se využívají také SAS expandéry, což je modul, který umožnuje řadiči využít větší počet disků nad jeho daný limit. [65]

SAS podporuje větší množství řadičů, oproti SATA. Především jsou využívány v serverech, jelikož jsou spolehlivější, co se týče obnovy chyb, právě z důsledku redundantních řadičů i RAID kontrolérů. [65]

Standart	Rok vzniku	Datová propustnost
SAS-1 3 Gb/s	2004	300 MB/s
SAS-2 6 Gb/s	2009	600 MB/s
SAS-3 12 Gb/s	2013	1200 MB/s
SAS-4 22,5 Gb/s	2017	2400 MB/s
SAS-5 44 Gb/s	Ve vývoji	?

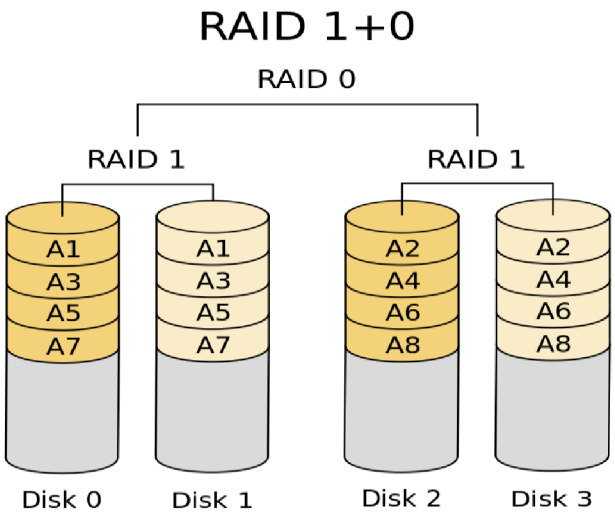
Tabulka č. 2 verze rozhraní SAS
Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Attached_SCSI

2.2.5.9 RAID

Redundant Array of Independent Disks je technologie, která existuje již od roku 1987, ale setrvává jako důležitá funkcionalita dodnes. RAID je metoda zabezpečení dat v případě selhání diskového úložiště, ale také může nabízet zvýšení rychlosti propustnosti dat. Vše záleží na použitém typu RAID. Důležité je zmínit, že RAID řadič musí podporovat základní deska, nebo musí být přidán speciální řadič do slotu. Existuje mnoho variant RAID, uvedeny jsou především ty nejpoužívanější. Často dochází i ke kombinacím různých typů, pro vytěžení jednotlivých výhod. RAID může být použit i pro SSD disky. [81]

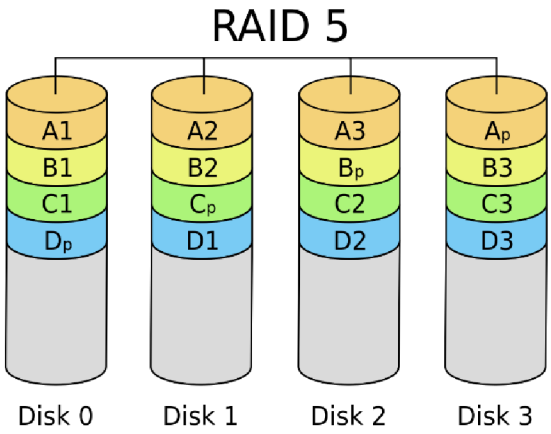
- **RAID 0** – využívá dva a více disků, řadič přenos dat rozdělí tak, že je začne střídavě přenášet po blocích na disky zapojené v topologii RAID 0, což má za následek jisté zrychlení. Tento mód je přezdíván jako „stripping“. Hlavní nevýhoda je, že při chybě jakéhokoliv z disků, dojde ke ztrátě všech dat. [81]

- **RAID 1** – označován jako „mirroring“ využívá dva disky, na které se zapisují stejná data, tudíž je dispozici kapacita pouze jednoho disku, ale při určité havárii (za předpokladu, že disky neodejdou zároveň), jsou zachráněna všechna data. Tento mód je často kombinován s módem RAID 0, označován jako 1+0, kdy využíváme obě výhody. Kombinace je zobrazena na Obr. 16. [81] [38]



Obr. 16 kombinace RAID 1+0
Zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/RAID#/media/Soubor:RAID_10.svg

- **RAID 5** používá minimálně 3 pevné disky, nachází se zde paritní informace určitých bloků všech disků a střídavě je prokládána mezi všechny disky. To znamená, že všechny disky jsou rovnoměrně zatíženy a může vypadnou právě jeden disk bez ztráty dat. Při čtení větších souborů je využíváno více disků, to má za následek jisté zrychlení. Naopak nevýhodou při ukládaní dat je počítání opravného kódu, který vede ke zpomalení zápisu dat. Princip RAID 5 je zobrazen na obr. 17, kde dolní index- $_p$ značí umístění prokládané paritní informace. [81] [38]



Obr. 17 princip RAID 5
Zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/RAID#/media/Soubor:RAID_5.svg

- **RAID 6** je drobné vylepšení typu RAID 5, používá 2 paritní bloky, což jako výhodu přináší možnost výpadku až 2 disků zároveň, bez ztráty dat. Nevýhoda je mnohem pomalejší zápis dat a je nutné mít v zapojení minimálně 5 disků. [38]

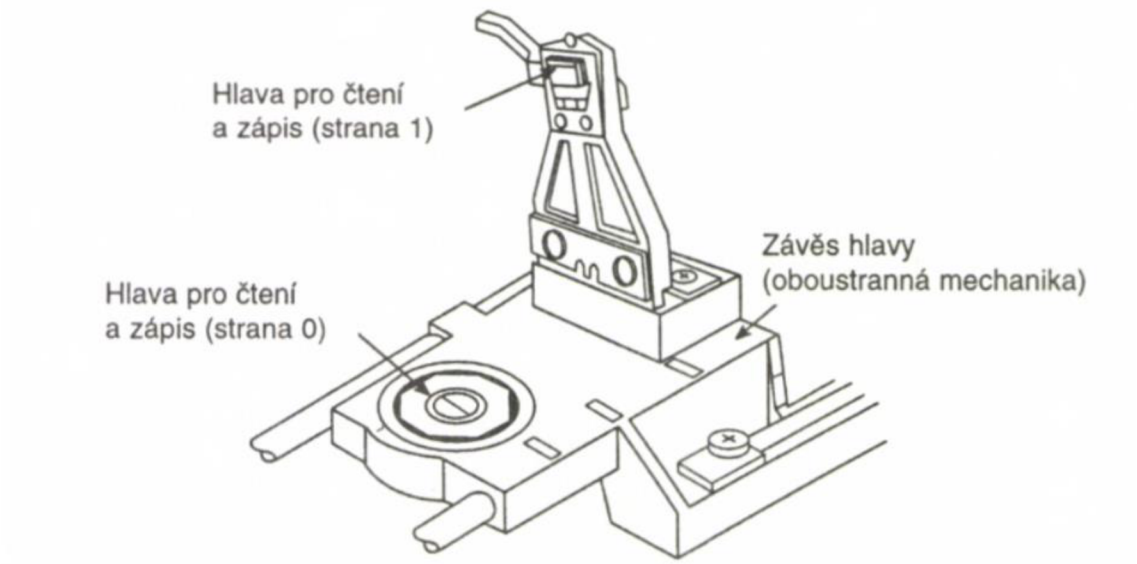
2.2.6 Diskety

Na trhu s elektronikou se poprvé koncept diskety vyskytl v roce 1972. Společnost IBM vedla od roku 1967 jeden z vývojových týmů, který se zabýval vývojem pevných disků. David Noble zde navrhnul pružné 8" médium, pro které byla navržena také první mechanika. Tento vývojový tým byl pod vedením Alana Shugarta, významného odborníka v oblasti paměťových médií. Alan Shugart je spoluzakladatel společností Seagate Technology a Shugart Associates. Obě tyto společnosti historicky významně přispěly k vývoji disketových jednotek. Společnost Seagate je dodnes dominantní společnosti v oblasti pro výrobu paměťových zařízení. [28] Diskety jsou zařazeny do 3. generace počítačů, u nichž je specifická vzájemná kompatibilita, což v případě disket a disketových mechanik je dodrženo. Postupně vznikly standardy, které se ujaly, v případě disket existovaly dva rozměry, rozměr 5,25", který byl vytvořen v již zmíněné firmě Shugart Associates a rozměr 3,5", se kterým přišla společnost Sun. [2] Disketu lze označit jako přenosné médium

využívající magnetických principů čtení a zápisu dat. Disketová mechanika slouží jako "čtečka" jednotlivých disket. Zde probíhá zápis a čtení dat pomocí speciálně uzpůsobených hlav. Kapitoly níže pojednávají zvlášť o mechanikách a zvlášť o disketách.

2.2.6.1 Disketové mechaniky

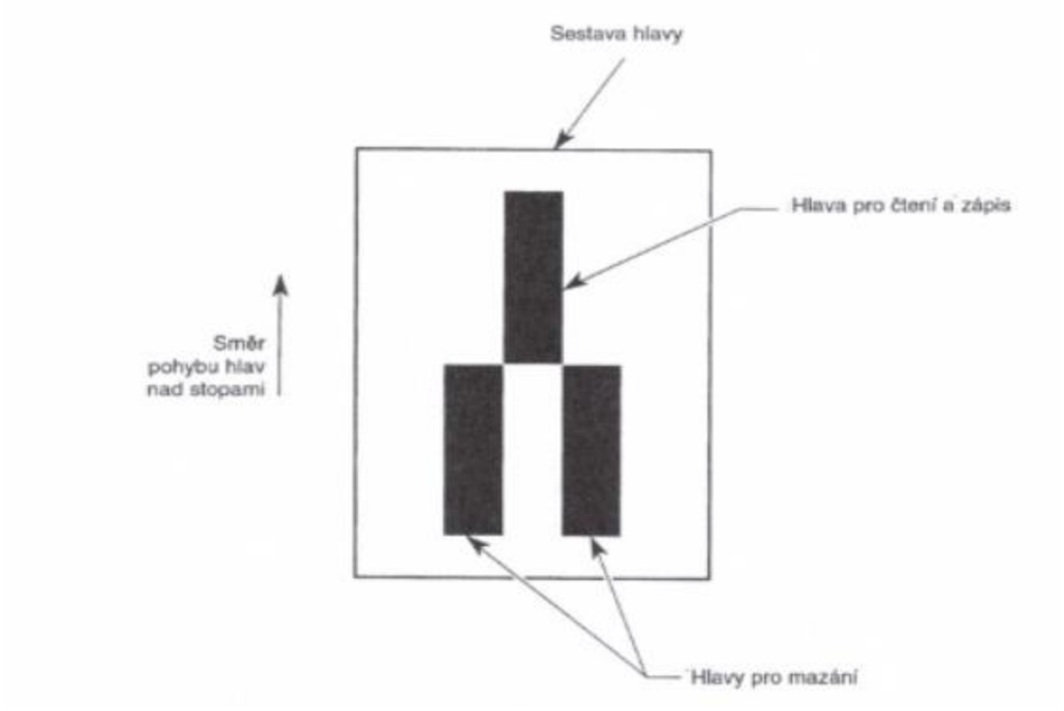
Existuje více typů disketových mechanik, ve výsledku ale používají společné principy fungování. Pružný disk diskety má dvě strany, na které lze ukládat data, podle toho lze členit základní konstrukční rozdělení mechanik. Existují mechaniky, ve kterých se nacházejí čtecí/zápisové hlavy schopné oboustranného čtení a zápisu dat, ale existují mechaniky, které jsou pouze jednostranné a je nutné disketu manuálně otočit. Na závěsu vrchní hlavy, v případě jednostranné mechaniky, je pouze přítlačný polštářek namísto čtecí a zápisové hlavy, jak zobrazuje obr. 18. Disketa je rozdělena do jednotlivých stop, jsou to soustředné kružnice, nacházející se na pružném disku, Jednotlivé hlavy se nad těmito stopami pohybují, pohyb je umožněn díky krokovacímu motoru, pohyb hlav je přímočarý. V případě oboustranné mechaniky jsou obě hlavy na stejném závěsu, tudíž není možné číst médium paralelně. Vrchní hlava je také od spodní hlavy posunuta o několik stop. Pro seřízení přesnosti hlav se využívala tzv. referenční disketa, ta byla zapsána pomocí přesné mechaniky. Krokový motor převádí jednotlivé otočení pomocí uzpůsobeného mechanismu na pohyb lineární. Přesun z jedné stopy na druhou vyžaduje pootočení krokového motoru o 3,6° či 1,8° v závislosti na typu mechaniky. Běžná přístupová doba z jednoho konce diskety na druhý je uváděna přibližně 200 ms. Náhodná doba pro přístupovou dobu je uváděna jako 100 ms. [28]



Obr. 18 mechanismus čtecích a zápisových hlav u oboustranných mechanik
Zdroj: [28]

Dalším motorem uvnitř mechaniky disket je pohon mechaniky. Motor přenáší otáčky na hřídel, která otáčí pružným diskem diskety. Rychlost otáček závisí na typu mechaniky, jedná se o 300 rpm, či o 360 rpm. Modernější mechaniky využívaly systém automatického nastavování a detekce rychlosti, bylo to zvlášť výhodné v případu tzv. "zatuhlých disket", které vyžadovaly vyšší otáčky. Jednotlivé hlavy jsou přitlačeny k pružnému disku a dotýkají se ho napřímo. Vzhledem k již zmíněné rychlosti otáček nevzniká velké tření, ovšem dochází k usazování částic oxidu, které mohou v průběhu času vyžadovat servisní vyčištění. Materiál samotného média bývá pokryt dodatečnou ochrannou vrstvou, která se snaží tření snižovat. Vzhledem k tomu, že jednotlivé hlavy jsou v přímém kontaktu s daným médiem, vyžaduje se, aby dané médium bylo čisté. Stopy prachu a jiných částic mohou zapříčinit nečitelnost média. U disket typu 3 ½“ je ochranná krytka, která slouží k tomu, aby disketa byla otevřena až v mechanice a znemožnilo se tak znečištění média. Konstrukce závěsu je tvořena celkově sestavou tří hlav, obr. 19 zobrazuje realizaci sestavy. Hlavy určené pro mazání se zde nachází k odstínění ruchu mezi jednotlivými stopami na disketě. Princip zápisu dat na disketu funguje pomocí tzv. tunelového mazání, znamená to, že mezi každou stopou se nachází drobná mezera, tím je znemožněna vzájemná inference stop. Složení každé hlavy je

z měkké železné slitiny, v této slitině se nachází elektromagnetická cívka, která je do ní zapuštěna. [28]



Obr. 19 sestava hlav disketové mechaniky
Zdroj: [28]

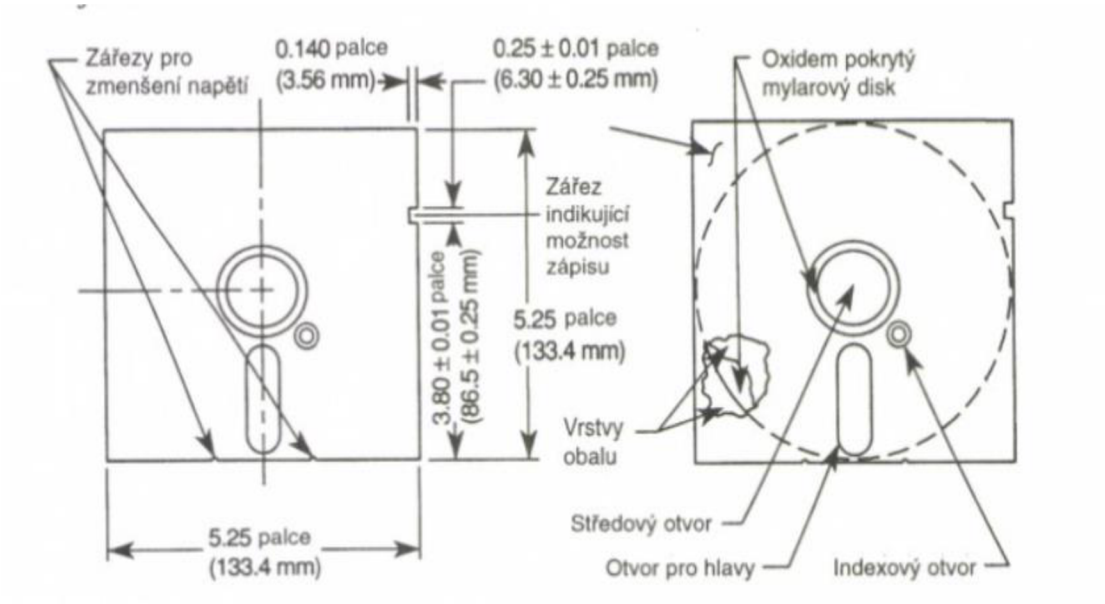
Zajímavostí, kterou disponovaly modernější mechaniky, je řada možností konfigurovatelných pomocí jumperů neboli přepínačů, které se nacházely na vnější části mechaniky. Jde například o detekci výměny diskety, či detekci typu média. Detekce výměny diskety využívá stavový registr, který dokáže řadič informovat o tom, zda se nachází v mechanice stále stejná disketa, či pokud byla nějaká nově vložena. Tato informace může zkrátit dobu načítaní dat. Do operační paměti se nahraje struktura adresářů FAT, pokud nedojde ke změně stavového registru, nenačítá se struktura znovu při každém přístupu. [28]

Pokud nebudeme brát v potaz prvotní mechaniku pro 8" diskety, v základu existují mechaniky pro 5,25" diskety a pro 3,5" diskety. Mechaniky 5,25" se dále dělí na dvě kategorie: DD (double density) a HD (hight density), jejich detailní rozdělení je popsáno v následující kapitole. Stručně řečeno jde o to, že mechaniky pracují s

odlišnou šířkou a počtem stop, což může způsobit problém, jelikož mechanika HD je novějšího typu, ale je zpětně kompatibilní s disketami typu DD. Je nutno formátovat novou disketu DD v mechanice HD s uzpůsobením pro režim formátování pro disky DD. Co se týče mechanik 3,5", ty využívají stejný počet stop o stejné šířce, ale existují tři druhy disket DD, HD, ED. Každá z těchto disket má jinou kapacitu a využívají různou sílu magnetického pole. Senzory detekce typu média v novějších mechanikách dokázaly rozlišit jednotlivé typy disket. Bylo to z důvodu, aby byla disketa formátována náležitou sílou magnetického pole a předešlo se komplikacím. Postupně diskety formátu 3,5“ vytlačily starší 5,25“ z důvodu větší kapacity a pohodlnějšího používání. Dnes jsou však všechny diskety už minulostí. [28]

2.2.6.2 Diskety

Jak bylo zmíněno, existovaly typy disket 8", 5,25", 3,5" přičemž všechny tyto typy měly obdobné fyzické vlastnosti: magnetický pružný disk se nachází v plastovém obalu, jedná se o vcelku ohebnou strukturu, proto se také používal název pružné magnetické médium. Jediný typ 3,5" se nachází v obalu, který je z tužšího plastu a jako jediný má obranou krytku, pro ochranu média před prachem a otisky prstů a jiných částic. U každé z disket existovaly speciální zářezy po krajních stranách, tyto zářezy jsou zde za účelem povolení možnosti zápisu na disketu, v případě disket, které sloužily pro distribuci softwaru, zde tyto zářezy chybí. Je rozdíl mezi typem 5,25", kde, pokud se tento otvor nenachází, či je zakryt clonou, zápis není umožněn, ovšem v případě diskety 3,5", pokud je otvor zakryt clonou, zápis umožněn je. [28]



Obr. 20 disketa 5,25“
Zdroj: [28]

Disk, který se nachází uvnitř obalu, je vytvořen z mylarového základu a je pokryt speciální magnetickou vrstvou. Každá disketa je rozčleněna do stop, což jsou soustředné kružnice, další členění do sektorů je už závislé pouze na použitém operačním systému, kde byla disketa formátována. Jakmile byla jedna disketa formátována v jednom operačním systému, nebylo zajištěno, že bude čitelná na jiném. Zmíněné sektory jsou v podstatě nejmenší možný úsek, na který je možné zaznamenávat data. Zápis dat, který využívaly operační systémy, začínal od vnější strany disku. Operační systém pro svoje účely rozpoznání a práce s disketou označil stopu 0 a sektor 1 jako DBR (boot sektor). Následující sektory sloužily pro uložení adresářové struktury daného média. Zápis dat na systému DOS funguje tak, že se snaží zapisovat vždy data od vnější strany do vnitřní a prochází jednotlivé sektory postupně. Je to z důvodu, že při smazání určitých dat se určité sektory mohou uvolnit. Systém tedy do uvolněných sektorů zapíše data, pokud se nevejdou, pokračuje na dalších volných sektorech. Může se stát, že při častém promazávání a zápisu dat jsou data nesouvisle seskupena do různých částí sektorů, to může působit pomalejší načítání dat. Pro tento problém se využívá defragmentace dat, tedy spuštění nějakého programu, který souvisle data uspořádá a setřídí do jednotlivých sektorů. [28]

Tabulka č. 3 porovnává jednotlivé typy disket z hlediska kapacit, které nabízely, ale také se zde používá jednotka BPI, která označuje bit na jeden palec, tedy přesněji kolik je možno zapsat dat do jedné stopy. Také je zde zobrazena velikost koercivity v jednotkách oerstedů označující, jak velká intenzita magnetického pole je nutná pro záznam dat.

	5.25“ DD	5.25“ HD	3.5“ DD	3.5“ HD	3.5“ ED
kapacita	360KB	1,2MB	720 KB	1,44 MB	2,88MB
koercivita	300	600	600	720	750
BPI	5876	5876	8717	17434	34868
Počet stop	40	80	80	80	80

Tabulka č. 3 Typy disket
Zdroj: [28]

2.2.7 ZIP disk

Tento typ paměťového média je v dost principech podobný typu diskety, představen byl v roce 1994 firmou Iomega, měl zaplnit požadavky trhů na narůstající kapacity. Jedná se tedy o typ přenosného paměťového média využívající magnetického principu čtení a zápisu. Disketa 3,5" je vzhledově dost podobná ZIP disku, který se nachází v obalu s obdobnými rozměry, jen je o něco tlustší. Rozdíl oproti klasické disketě je ale podstatný, ZIP disky nabízely kapacitu 100 MB, druhá verze 250 MB a poslední 750 MB. Mechanika, která je uzpůsobena pro vložení ZIP disků, pracuje s rychlostí otáčení disku 3000 rpm. Vyšších rychlostí je dosaženo díky tomu, že čtecí a zápisová hlava, která je v kontaktu s mylarovým diskem, nevytváří takový tlak a pnutí jako je tomu u diskety. Vyšší počet otáček přináší snížení přístupové doby a zvětšení přenosové rychlosti dat. Průměrná přístupová doba byla u první verze 28 ms a rychlost přenosu dat 1,4 MB/s. Čtecí a zápisová hlava byla zhruba 10x menší oproti hlavám klasických disket. Menší hlavy a také vyšší energetická hladina nutná pro záznam, umožňovaly zapsat mnohem větší hustotu dat na jeden mm^2. [29] [30]

2.2.8 Optický záznam dat

Metoda záznamu dat, která využívá laserového paprsku a jeho odrazů mezi drážkami pro záznam dat. První CD, které bylo vynalezeno, bylo určeno prvotně pouze ke čtení zvukových informací. S tímto konceptem přišly dvě společnosti: Sony a Philips, které se v roce 1978 společně zaměřily na vývoj tohoto média. První formát CD, který vyšel, byl ustálen a zachován do dnešní podoby. CD má diskový tvar s průměrem 12 cm, uprostřed se nachází otvor s průměrem 1,5 cm. Disk je široký 1,2 mm. Na jedné straně CD bývá nalepen potisk, druhá strana je záznamová. První formát, který vyšel, umožňoval uchovat 74 minutový záznam zvukového audia. Společnost Sony podle legendy trvala na této době, aby délka hudby mohla odpovídat přesně celé Beethovenově deváté symfonii. Tento prvotní model se objevil na trhu v roce 1982, označován pod standardem tzv. červené knihy jako CD-DA (Compact Disc Digital Audio). [28]

CD-DA nabylo rychle na popularitě, a tak společnosti navrhly v roce 1985 další standard, který umožnil na tento optický disk ukládat i počítačová data, formát je označován standardem žluté knihy a označován jako CD-ROM. Uložená data jsou zde vylisována. Později v roce 1991 vznikl formát CD-R, který umožňuje data vypálit pomocí mechaniky. Tyto dva formáty neumožňují po zapsání dat další úpravy. Aby CD disk mohl konkurovat disketám a pevným diskům v té době, vznikl v roce 1996 formát CD-RW. Tento formát umožňuje opakovatelný zápis a mazání dat pomocí mechaniky. CD-RW je zařazený do standardizovaného formátu oranžové knihy. CD disky byly velmi používaným médiem pro uchování dat a prošly dlouhým vývojem, aby dokázaly konkurovat ostatním technologiím. Následující kapitola se zabývá principy, které optický záznam dat využívají. [31]

2.2.8.1 CD

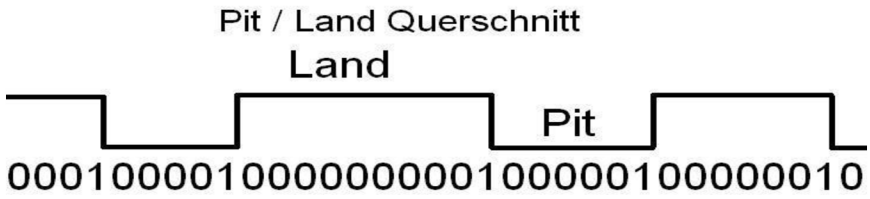
Jak bylo zmíněno, disk využívá optického principu čtení dat, což je umožněno díky speciálním vrstvám, ze kterých se CD disk skládá. Jednotlivé složení vrstev záleží na konkrétním typu CD disku. Pokud rozebereme princip na konceptu CD-DA, tedy prvotnímu typu CD disku, který je lisován pomocí speciální matriky. Základ každého CD je polykarbonátová vrstva, v této vrstvě se nachází jednotlivá data,

vyražena ve formě tzv. "pits and lands", což znamená doslova, že se na optickém médiu nachází přechody děr a ostrůvků. Délka jednotlivých pits se pohybuje do 3,3 μm a její šířka je 0,6 μm s hloubkou 0,12 μm. Tyto drážky jsou umístěny v jedné spirálové stopě, která se začíná vinout ze středu média směrem k jeho vnější straně. Pokud bychom umístili takovou spirálu do jedné roviny, vytvořila by se vzdálenost zhruba 5 km mezi jednotlivými konci. Soustředné kruhy dané spirály se člení do stop. Existuje zde předlisovaná drážka, její účel je, aby optický mechanismus dokázal správně sledovat stopu. Drážka je vytvořena již při výrobě. Tato drážka vytváří mezeru mezi stopami, která je 1,6 μm. Data jsou zapisována do sektoru, délka sektoru je proměnlivá záleží na daném typu CD, u CD-DA je to 2352 B. [31]

Nad vrstvou polykarbonátu se nachází odrazová vrstva vyrobená z reflexivního kovu, je silná až 0,1 μm, jako materiál se využívalo často zlato, z důvodu snížení výrobní ceny se přešlo na hliník, stříbro, či jiné sloučeniny. Rozdílnost materiálů může také určit, jak dlouhou životnost médium nabízí. Vzhledem k tomu, že toto médium není fyzicky vystaveno mechanickému opotřebení, jsou tyto rozdíly vcelku zanedbatelné. Nad tuto vrstvu je ještě nanesena ochranná vrstva laku a jako poslední vrstva s grafickým motivem či potiskem CD. To znamená, že z jedné strany je disk opravdu odolný vůči mechanickému opotřebení, ale z druhé strany, kterou osvětluje laser, se jedná o citlivou část. Drobné nečistoty i škrábance nemusí znamenat nutně nečitelnost média, vzhledem k tomu, že paprsky laseru dokážou drobné poškození i nečistoty dobře ignorovat, pokud se paprsek odrazí zpět na snímač. [31]

Princip čtení optického média probíhá tak, že laserová dioda vyzařuje světlo o vlnové délce 770-830 nm. To prochází soustavou čoček zaměřených na konkrétní bod. Polykarbonátový materiál má specifické fyzikální vlastnosti lomu světla. Paprsek, dopadající na odrazovou vrstvu, má tedy šířku pouze 1,7 nm. Zde dochází k využití pits a lands. Paprsek dopadající na land, je odražen zpět na fotodetektor, který jej zaznamenává. V případě, že dopadne na pit, dojde k rozptýlenému odrazu světla, který není schopný fotodetektor rozeznat. Na CD disku je jeden byte zobrazen pomocí 14 bitů, je to z důvodu, že každá hrana symbolizuje logickou jedničku,

prohlubeň je symbolizována logickou nulou. Konkrétněji nejméně třemi logickými nulami. Vzdálenost mezi dvěma hranami určuje logický počet nul. Využívá se zde speciální kódování EFM, tedy tabulka, která se stará o překlad 14 bitů na datové bity, které čte PC. Obr. 21 níže zobrazuje jakým způsobem jsou lands a pits zobrazeny. [31] Je rozdíl mezi datovým CD a Audio CD, především v tom, že u CD-DA je digitální získaná informace převedena na analogovou a zde je ten významný rozdíl a tím je rozpoznání chyb, na analogovém audio se nějaké chyby objevit mohou, aniž by to nějak významně ovlivnilo chod daného přehrávače, co se ale týče digitálního přístupu, zde to musí být řešeno dodatečnou opravou chyb. Korekce chyb se nazývá ECC. K opravě chyb využívá přídavných 288 bajtů na každých 2048 bajtů. [28]

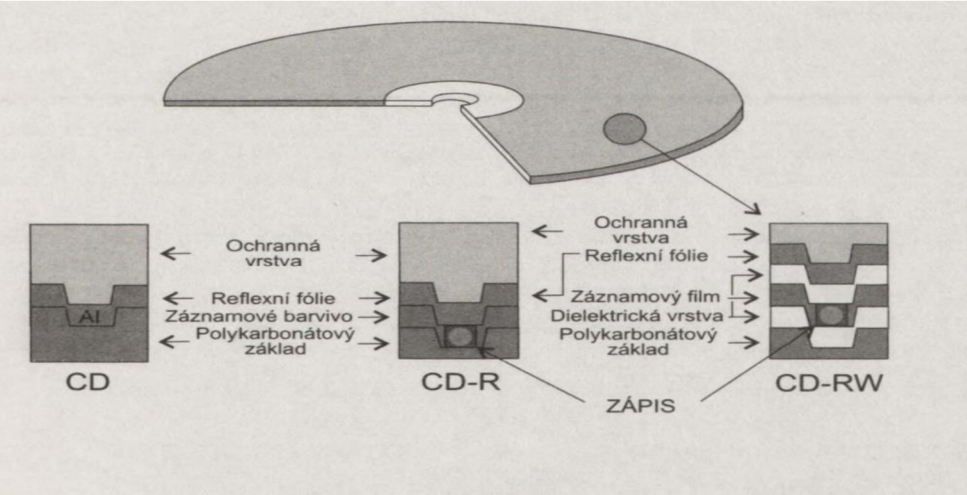


Obr. 21 Zobrazení pits a lands na CD a jejich binární hodnoty
Zdroj: https://referate.mezdata.de/sj2004/zukuenftige-speichertechnik_timo-witt/

Pro porovnání u CD-R, u kterého je přidaná speciální vrstva organického barviva mezi vrstvu reflexní a vrstvu polykarbonátu, je nutné záznam dat tzv. "vypálit", zde tedy není médium lisováno. Zmíněné vypálení funguje tak, že v polykarbonátové vrstvě existuje vodítko pro laser, který pak dokáže přesně zaměřit jednotlivé body. Toto organické barvivo laser zahřeje na určitou teplotu více než 250°C, při vypalování laser využívá většího výkonu než při čtení, tento paprsek změní fyzikální strukturu barviva a vytvoří prohlubeň, tedy pit. Udává se, že při obyčejném čtení paprsek používá výkon 0,5 mW (miliwatt). Při zápisu se vše odvíjí od dané rychlosti otáček, čím vyšší rychlost, tím větší energie je potřeba, např. při rychlosti 16x jde o 14 mW. [31]

Pit u jednotlivých formátů CD není fyzicky totožný, některé starší typy mechanik mohou být nekompatibilní s novějšími formáty CD. Zmíněný nejnovější

typ CD-RW, kde je umožněno opětovné mazání dat, funguje na principu přechodu dvou fází: krystalické a amorfní. Krystalická fáze má velkou odrazivost laserového paprsku, tedy funguje jako land, amorfní fáze má malou odrazivost, symbolizuje tedy pit. Mezi odrazovou vrstvu a polykarbonátovou vrstvu je přidána speciální sloučenina, která je poté ještě obklopena z obou stran vrstvou dielektrika. Chemická sloučenina je tvořena ze čtyř složek (stříbra, india, antimonu, teluru) a umožňuje tedy přechod mezi zmíněnými fázemi za pomocí laseru a odlišných teplot. Pokud laser zahřeje tuto vrstvu na 200°C a následně dojde k ochlazení, sloučenina přejde do krystalické fáze (land), pokud laser zahřeje bod na 600°C a následně dojde k ochlazení, sloučenina přejde do amorfní fáze (pit). Obr. 22 zobrazuje porovnání jednotlivých vrstev příslušných typů CD. [31]



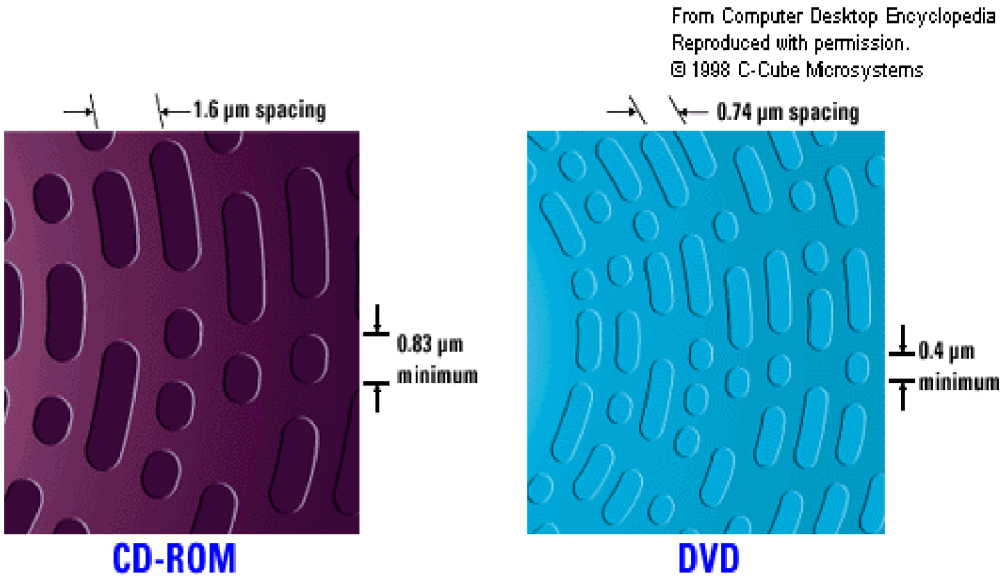
Obr. 22 vrstvy CD, CD-R, CD-RW
Zdroj: [31]

Technické specifikace CD uvádějí kapacitu okolo 700 MB, přístupová doba je uváděna přibližně od 100 ms do 300 ms. Rychlost čtení se odvíjí od toho, jakou rychlost mechanika nabízí. Čím rychlejší mechanika, tím větší rychlost čtení a tím se dokáže i snížit přístupová doba. Základní rychlost čtení je 150 kB/s, mechaniky jsou označeny násobkem, tudíž rychlost čtení jde snadno dopočítat. Novější moderní verze nabízejí 48x. [32]

2.2.8.2 DVD

Tento typ optického média byl vytvořen v roce 1997, objevil se na trhu za účelem naplnění stále rostoucích požadavků na kapacitu a kvalitu filmové produkce, kde CD technologie už nebyla dostatečná z důsledku nižší kapacity a přenosové rychlosti. [33] Lisované formáty byly jednotně ustáleny. Co se týče ale formátů určených pro vypálení, zde byly dvě strany: DVD fórum (Pioneer, Sony, Panasonic) a DVD Aliance (HP, Hitachi, Thomson). Toto roztržení do dvou pólů bylo způsobeno tím, že DVD fórum vydávalo nevýhodnou politiku licencování. DVD fórum produkuje disky s označením DVD (-), DVD aliance s označením DVD (+). Toto způsobovalo určitou nekompatibilitu mechanik v dřívějších dobách mezi jednotlivými formáty, modernější mechaniky by neměly mít problém. [31] [35]

Zkratka DVD znamená Digital Versatile Disc, tedy určení média na všestranné účely, tedy ne jenom distribuce video záznamů, ale například distribuce softwaru a jiných dat. Princip, který DVD využívá, je dost obdobný jako u CD, médium má i naprosto stejné rozměry. Hlavní rozdíl oproti CD je ve velikosti pits a lands, které používají. Zde došlo ke zmenšení jejich rozměrů o polovinu, konkrétně na 0,4 μm. Zmenšila se také vzdálenost mezi jednotlivými stopami, která je také téměř poloviční, přesněji na 0,74 μm. Významná změna se nachází i uvnitř mechanik laserů, které využívají snížené vlnové délky světla, konkrétně 650-635 nm. Obr. 23 zobrazuje porovnání pits a lands u CD a DVD. Novým principem, který se u DVD začal používat, je také oboustranné DVD, kdy se využily obě strany, na které je možné zapisovat. [34] V roce 2005 se objevilo také vylepšení nazývané Dual Layer, za záznamovou a odrazovou vrstvu je přidána další záznamová a odrazová vrstva. První odrazová vrstva musí být speciálně uzpůsobena, aby dokázala propouštět odraz paprsku vrstvy, která je nad ní, tedy je poloprůsvitná. Kapacita není dvojnásobná, jak by logicky mělo vyplývat, vzhledem k tomu, že pity ve vrchní vrstvě musí být delší, aby nedošlo k přeslechům, mechanika také využívá vylepšeného zaostřovaní na stopu. [33]



Obr. 23 porovnání rozdílů pits a lands u CD a DVD
Zdroj: https://mamut.spseol.cz/nozka/elektro/epo/xdrom/

První formát, který vznikl, byl DVD-RAM, od ostatních DVD se velice odlišuje v tom, že stopy zde nejsou uloženy v jedné spirále, ale v soustředných kružnicích. Médium bylo vhodné na zálohu dat, jelikož tento typ garantuje dobu uchování dat až 30 let a počet možných zapsání na médium je zhruba sto tisíc. Přepisovatelné DVD±RW zvládnou pouze okolo jednoho tisíce přepsání. DVD-RAM se natolik nerozšířil z důvodu jeho pomalých rychlostí zápisu a čtení. [33]

U DVD formátu byla navýšena také základní přenosová rychlost oproti CD diskům, při základní 1x přenosové rychlosti dat jde o 1350 kB/s oproti CD s 150 kB/s. Vzhledem k tomu, že DVD mechaniky jsou zpětně kompatibilní s CD disky, uvádí výrobci mechanik ve specifikacích většinou dvě rychlosti, možné rychlosti čtení/zápisu pro CD a zvlášť rychlosti pro DVD. Tabulka č. 4 níže uvádí jednotlivé formáty a kapacity které nabízely. [35]

	DVD±R	DVD±RW	DVD±RV DL	DVD-RAM
přepisovatelné	ne	ano	ano	ano
kapacita	4,7 GB(4,37GiB)	4,7 GB(4,37GiB)	9,4 GB(8,75GiB)	(2,58/4,7)GB (2,40/4.37)GiB
kapacita dvouvrstvého	8,5 GB(7,92GiB)	8,5 GB(7,92GiB)	17,1GB(15,9GiB)	(5,16/9.4)GB (4,80/8,75)GiB

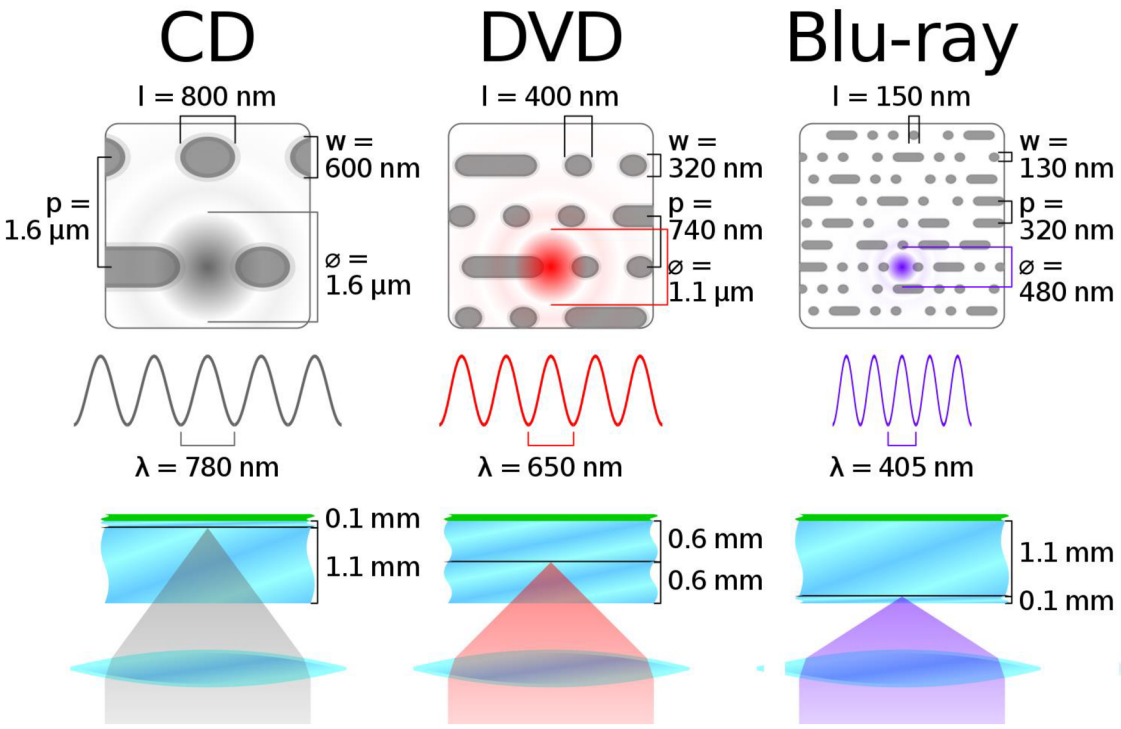
Tabulka č. 4 Kapacity DVD
Zdroj: [35]

2.2.8.3 Blu-ray

Technologický pokrok v oblasti televizorů a celkově zobrazovacích soustav, utvářel náročnější požadavky ze strany zákazníků na neustálé zvyšování kvality rozlišení. DVD technologie nebyla dostatečná a společnost Sony a Philips si toho byly vědomy. Proto v roce 2000 byl představen první optický disk Blu-ray. Technologie se hojně využívá i v současné době. Vzhledem k vysoké kapacitě až 25 GB, které je možné uložit na jednu vrstvu disku, je technologie využívaná společnostmi Sony a Microsoft pro herní konzole. Pro video záznam nabízí podporu u přehrávačů v HD i 4K.

Optický disk má stejné rozměry jako DVD, disk o průměru 12 cm a tloušťce 1,2 mm. Princip, kterým funguje je oproti DVD a CD velice obdobný, s rozdílem že se zde využívá modrofialového laseru s vlnovou délkou 405 nm. Zpětná kompatibilita je často výrobcem v různých přehrávačích umožněna, tedy je možné přehrát DVD disk v Blu-ray přehrávači. Hlavní změna, která přináší rapidní nárůst kapacit, je zmenšení velikosti pits a lands a také rozestupů mezi jednotlivými stopami. Oproti DVD disku se velikost pitu zmenšila okolo 60 %. Detailní porovnání pits/lands zmíněných technologií je zobrazeno na obr. 24. Z tohoto obrázku je i patrné, v jaké hloubce ochranné vrstvě polykarbonátu jsou data uložena. U Blu-ray disku je to pouhých 0,1 mm, což znamená, že Blu-ray disk může být náchylnější na mechanické

poškození. Výhodu, kterou to přináší je možnost vytvoření více vrstvých médií, tedy i značný nárust kapacit. V dnešní době existují až čtyřvrstvé disky (100GB). Blu-ray technologie má podporu více kodeků pro video, byla zde také navýšena základní přenosová rychlost na 36 Mbit/s. [59] [60]



Obr. 24 Porovnání technologií CD,DVD, Blu-Ray
Zdroj: (upraveno), https://en.wikipedia.org/wiki/Blu-ray#/media/File:Comparison_CD_DVD_HDDVD_BD.svg

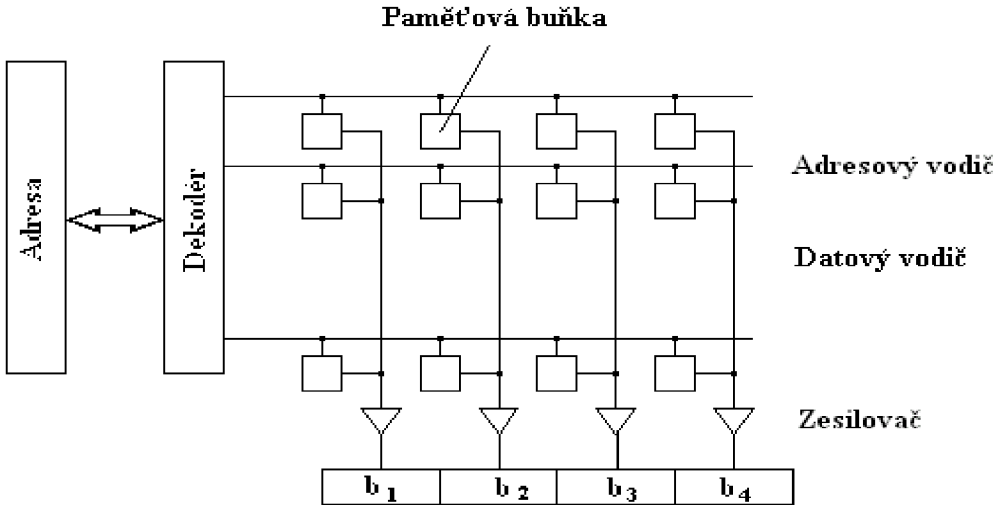
3 Integrované obvody a současná paměťová média

Tato kapitola se zabývá polovodičovými pamětmi, jejich historií a současným průběhem. Velkým pokrokem ve vývoji pamětí, ale také ostatních elektronických zařízení, je technologie integrovaných obvodů. V roce 1958 Jack Clair Kilby demonstroval koncepci integrovaného obvodu na skleněné destičce. Vylepšenou variantou přispěl výzkumník a později spoluzakladatel společnosti Intel Robert Noyce, který využil křemík jako vhodnější materiál pro integrovaný obvod. [36] Integrovaný obvod lze definovat jako součástku, či destičku většinou malých rozměrů, na které se nachází velké množství různých elektronických součástek (tranzistorů, diod, rezistorů…). Ty jsou spojeny do jednoho funkčního elektronického systému. Integrování součástek zvyšuje rychlost obvodu, zjednodušuje jeho složitost, snižuje výrobní náklady a v neposlední řadě umožňuje zmenšování velikosti zařízení. [37] Jeden ze zajímavých tahů společnosti Texas Instrument, kde působil Jack Clair Kilby, bylo vynalezení kapesní kalkulačky. Zpočátku totiž nebyl o integrované obvody velký zájem, kalkulačka měla zvýraznit výhody, které integrované obvody přináší. [36] Dnes je běžné, že jsme obklopeni integrovanými obvody, nejen v počítačích ale i v běžných předmětech. Využití v paměťových zařízení se týká polovodičových pamětí.

3.1 Polovodičové paměti

Polovodičová paměť je typem elektrické paměti sestavené z matice paměťových buněk, složených z polovodičových obvodů. Jedna paměťová buňka může představovat možnost uložení 1 bitu. Buňky jsou zapojeny v matici na adresové vodiče. Dekodér má za účelem lokalizování každého paměťového místa. Jde o zařízení, které obdrží adresu na paměťové místo od řídící jednotky. Dekodér rozhodne, na které fyzické adresové vodiče přivede napětí. V obvodu se nachází také vodiče datové, ty jsou určeny pro čtení informací z paměťových buněk. Obecná struktura je zobrazena na obr. 25. Z počátku byly polovodičové paměti realizovány pomocí bipolárních tranzistorů. Nejednalo se o efektivní řešení, proto byly nahrazeny unipolárními tranzistory (MOS). Tento typ nasazený v polovodičových

pamětích, poté dokázal zcela nahradit feritové paměti, jelikož polovodičové paměti dokáží spotřebovat méně energie, nabízí mnohem vyšší výkon a díky stupni integrace obvodů, také nabídnou větší kapacity, při zachování malých rozměrů. Pro zjednodušení následující kapitoly polovodičových pamětí jsou členěny podle jejich volatility do dvou skupin ROM a RAM. Speciální podkapitola je vyčleněna pamětím typu flash, spadající pod skupinu ROM. [39] [43]



Obr. 25 Obecné zobrazení principu polovodičové paměti
Zdroj: [43]

3.2 Paměti typu ROM

Paměť typu ROM je energeticky nezávislá statická paměť, uchovává tedy informace i po odpojení napájení. Jde o paměti s kapacitou řádově ve stovkách kB, přístupová doba dat je řádově v desítkách ns. Jejich nasazení je určeno v místech, kde se neočekávají přílišné změny. Jde o domácí spotřebiče, staré herní konzole a v historii byly využívány pro BIOS počítačů, či jako překladač jazyku Basic. V modernějších počítačích se spíše nasadily pro firmware vestavěných systémů. U pamětí typu ROM, kde je umožněn opětovný zápis, mají omezený počet cyklů a jsou citlivější na vysoké teploty a radiaci, která může významně ovlivnit jejich funkčnost.

Dnes jsou spíše nahrazovány pamětí typu flash, která je výrobně méně nákladnější a nabízí větší paměťové kapacity, řádově stovky GB. [40]

3.2.1 Stručná historie vývoje pamětí typu ROM

Název první paměti je shodný jako celá kategorie, tedy ROM(Read Only Memory) a objevila se v roce 1965. Společnost Sylvania vyrobila 256 bitovou paměť, která využívala bipolární křemíkové tranzistory TTL. Obsah paměti ROM je definován při výrobě, poté je již neměnitelný. To přináší značné nevýhody. Výrobce takových pamětí musí zvážit množství kusů, které se potencionálně prodají. Návrh paměti ROM je finančně nákladný, jelikož výrobce musí nechat zkonstruovat speciální typ masky, který bude využíván ve slévárně pro výrobu čipů. Tento typ paměti našel využití v místech, kde se neočekávaly změny. Hlavní nevýhodou byl zdlouhavý vývoj a nutnost vytvořit pro každou změnu v paměti novou masku. [41] Vznikl proto nástupce programovatelné paměti PROM (Programmable ROM). Tento typ byl představen v roce 1970 společností Radiation Inc. Výhodu, kterou přinášel bylo to, že již nebyla potřeba maska pro výrobu čipů. Zákazník si mohl vyrobené paměťové čipy naprogramovat pomocí speciálního vypalovače ROM pamětí. Tento zápis byl možný pouze jednou. To stále neřešilo problém s potřebou dodatečně upravovat zapsané informace, proto v roce 1971 přichází Intel s EPROM (Erasable PROM). Jde o první typ paměti ROM, kde je umožněno přepsat již zapsané informace. Vymazání dat je umožněno pomocí UV záření, které musí dopadat na okénko paměťového švábu, to je tvořeno křemenným sklem či pryskyřicí. Uvnitř se nachází speciální unipolární tranzistory, které jsou pro toto mazaní uzpůsobeny. Tato metoda nebyla příliš pohodlná a efektivní, mazání trvá přibližně 20-30 minut. V letech 1976-1978 byl demonstrován, proto typ paměti EEPROM (Electrically Erasable PROM), který přinesl značné vylepšení. Uložená data je zde možno elektricky přepsat. Vymazání dat trvá kratší dobu než jednu minutu. Tento typ významně obohatila o vylepšení v roce 1980 společnost Toshiba a vznikla první paměť typu flash. U paměti flash je možno mazat data elektricky po určitých blocích, což výrazně zlepšuje možnost úprav jednotlivých dat. Tento typ je využívaný

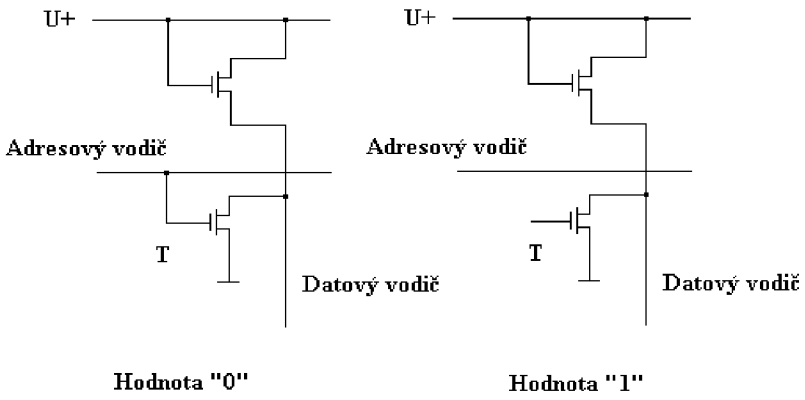
v současné době v různých paměťových médiích, zmíněných v podkapitolách flash pamětí (kapitoly 3.3.3 - 3.3.5). [42] [44]

3.2.2 Principy jednotlivých typů ROM

V této části jsou vysvětleny principy, jakými fungují jednotlivé typy pamětí ROM zmíněné v předchozí kapitole.

3.2.2.1 ROM (Read Only Memory)

Tato paměť je realizovatelná více možnostmi a je určená pouze pro čtení. Realizace může být pomocí polovodičové diody, nebo i pomocí tranzistorů. U tranzistorů byly používány technologie bipolárních tranzistorů TTL později i technologie unipolárních tranzistorů typu MOS. Pro zjednodušení si představíme princip na technologii MOS, který se nachází na obr. 26. [43]



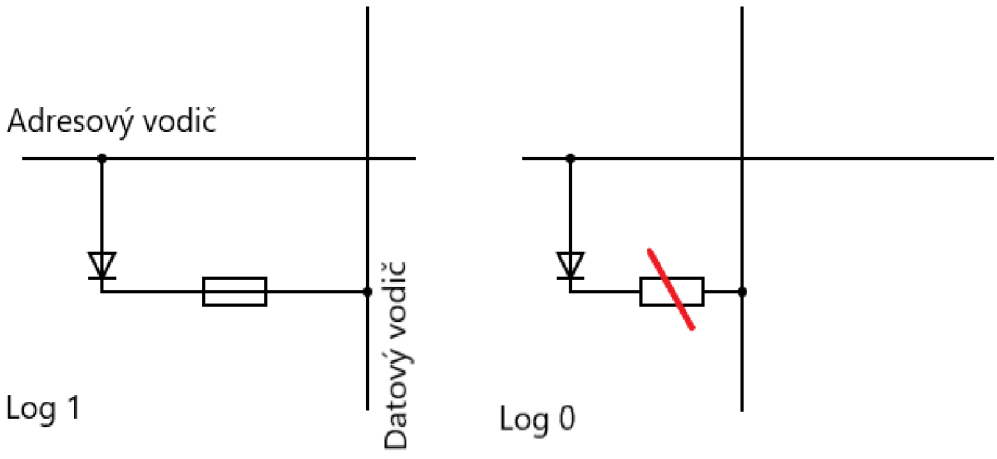
Obr. 26 Schéma zapojení tranzistoru typu MOS u paměti ROM
Zdroj: [43]

Logická hodnota datové informace je dána tím, zda je tranzistor na bázi připojen k adresovému vodiči, či nikoliv. Datový vodič je totiž vždy připojen na napětí, dekodér po určení konkrétní paměťové buňky vyšle napětí na adresový vodič. Tím je způsobeno, že na tranzistor MOS u kterého existuje propojení s adresovým vodičem, má na bázi a kolektoru napětí. To má za následek sepnutí tranzistoru a odvedení napětí na emitor, kde je tranzistor připojen na uzemnění. Toto způsobí, že na datovém vodiči není žádné napětí. Tedy datový vodič je ve stavu

logické nuly. V druhém případě, kde tranzistor není propojen s adresovým vodičem, nemůže dojít k jeho sepnutí. Logicky to znamená, že na datovém vodiči bude vždy logická hodnota jedna. Tranzistor, který je na obr. 26 umístěn před adresovým vodičem zde plní úlohu rezistoru. [43]

3.2.2.2 PROM (Programmable Read Only Memory)

Hlavním rozdílem mezi ROM a PROM je to, že data jsou u PROM nahrána až po výrobě paměťového čipu. Využívá se zde elektronického programovaní, pomocí uzpůsobeného programátoru. Ten je schopen po připojení paměťového čipu zapsat trvale informace. Zápis je umožněn pomocí tzv. tavných pojistek, které jsou tvořeny z niklu a chromu, novější varianta je z polykrystalického křemíku. Tavné pojistky se využívají v obvodu jako most mezi tranzistorem či polovodičovou diodou a datovým vodičem (zobrazeno na obr. 27). Logická hodnota jednotlivé paměťové buňky je určena tím, zda je pojistka přepálena či nikoliv. Pojistka, která je přepálena, nevede proud na datový vodič, symbolizuje tedy logickou hodnotu nula. Přepálení pojistky, způsobí přivedení vyššího napětí na adresový vodič (více než dvojnásobné oproti čtení z paměti), datový vodič je uzemněn. Dojde k přehřátí pojistky a následnému rozmetení oxidu křemičitého do jejího okolí, čímž je obvod neobnovitelně přerušen. [43] [44]



Obr. 27 PROM zapojení s polovodičovou diodou
Zdroj: autor

3.2.2.3 EPROM (Eraseable Programmable Read Only Memory)

Princip paměti EPROM, která může být programována a následně vymazána pomocí UV světla spočívá ve speciálních unipolárních tranzistorech. Tento tranzistor v sobě má zabudované plovoucí hradlo, tato struktura se nazývá FAMOS. Plovoucí hradlo je umístěno v izolované vrstvě oxidu křemičitého. Logickou hodnotu paměťové buňky určuje to, zda je hradlo nabyto elektrony, či nikoliv. Izolovaná vrstva umožňuje dlouholeté uchování náboje plovoucího hradla. Jde řádově o desítky let, tento faktor také ovlivňuje kolikrát byla paměť vymazána. Mazaní způsobuje degradaci paměťového čipu (izolované vrstvy). [44] [45]

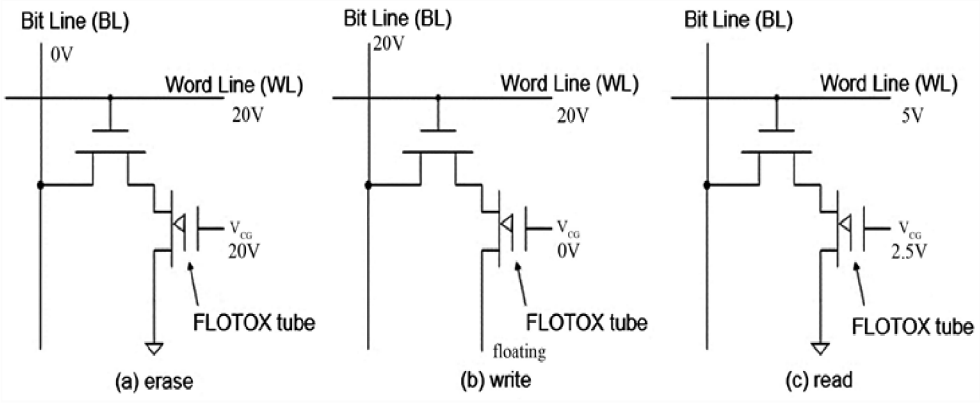
V počátečním stavu jsou všechny paměťové buňky nastaveny na hodnotu logické jedničky (tranzistor není sepnut). Změna na logickou nulu se provede přivedením zvýšeného napětí (až 20V) na adresový vodič, to způsobí přeskok elektronů k elektrodě plovoucího hradla. Po odpojení napájení elektrony nemají dostatek energie se vrátit, blokuje jim v tom právě izolovaná vrstva. Tyto elektrony mění mezní napětí nutné pro otevření tranzistoru. V tomto stavu to znamená, že při otevření tranzistoru je průchod elektrického proudu převeden do uzemnění. Na datovém vodiči se nachází stav logické nuly. [44]

3.2.2.4 EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)

Paměť typu EEPROM přináší elektrický princip mazání a zápisu dat, který funguje na principu Fowlerova-Nerheimova tunelovacího jevu. Tento jev se využívá ve struktuře MOS tranzistorů typu FLOTOX, jde o modifikaci struktury FAMOS. Paměťová buňka jako taková je složena ze dvou tranzistorů (MOS + FLOTOX). FLOTOX tranzistor v paměťové buňce uchovává hodnotu logické informace a to díky struktuře plovoucí brány (držení elektronů, či jejich absence). Tranzistor MOS je zde za účelem připojení mazacího nebo zápisového napětí. [44] [46]

„*Tunelovací jev, který je obousměrný a směr závisí na směru elektrického pole (elektrony tunelují buď do ponořeného hradla nebo z něj). Pro zápis nebo mazání je*

třeba impuls napětí 21 V po dobu 10 ms. Spínací činnost paměťové buňky je obdobná jako činnost buněk FAMOS. Doba uchování informace v buňce FLOTOX je nejméně 10 let.“ [46] Požadované vysoké napětí se objevovalo u starších typů čipů, dnes se využívá princip tzv. nábojové pumpy. Obr. 28 zobrazuje stavy (mazání/zápis/čtení) do paměťové buňky typu EEPROM a potřebné napětí na jednotlivých vodičích. [44]



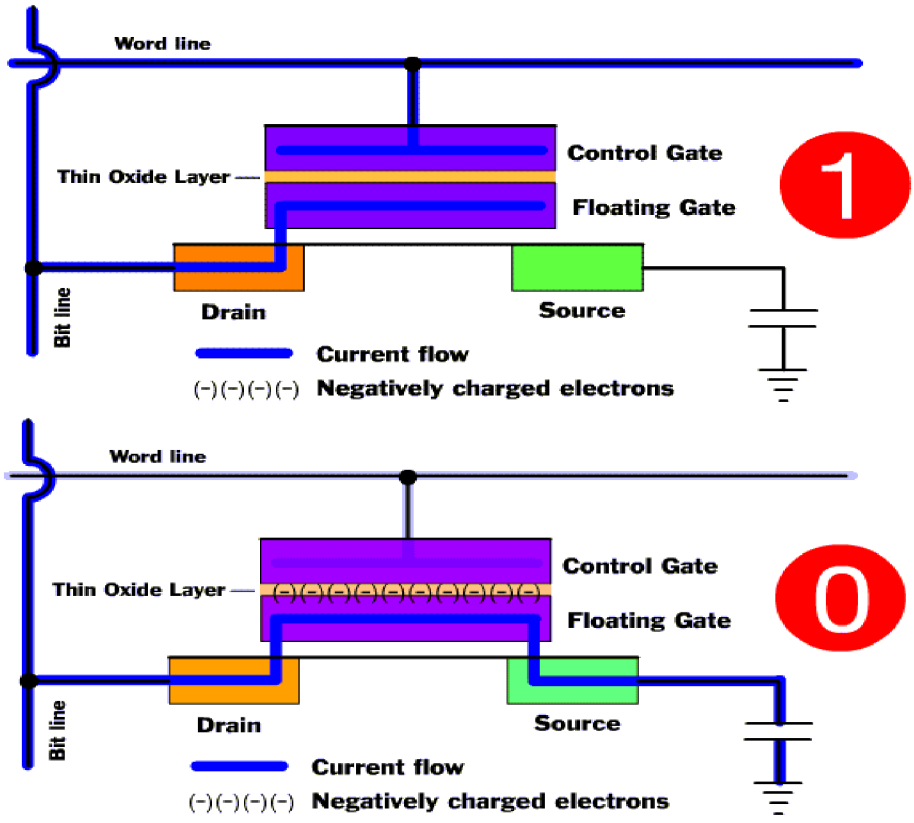
Obr. 28 mazání/zápis/čtení u paměťové buňky EEPROM
Zdroj:
https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=99487

Jednou ze zajímavostí je, že flash paměť potřebuje pouze jeden tranzistor. To přináší nižší hustotu bitu na plochu daného čipu. To je jeden z důvodů proč se uplatnily více flash paměti a EEPROM nachází využití jen ve specifických projektech. [46]

3.3 Flash paměti

Technologie flash výrazně ovlivnila trh s paměťovými médii, uplatňuje se napříč různými paměťovými typy a má využití v různých oblastech. Z toho důvodu je jí věnována samostatná podkapitola. Tuto technologii můžeme najít v paměťových kartách, SSD , USB flash discích a jako úložnou paměť pro zařízení jako jsou fotoaparáty, mp3/mp4, mobilní telefony. Jak bylo zmíněno, flash je modifikace paměti EEPROM. Používá pouze jeden tranzistoru na jednu paměťovou buňku a její mazání probíhá po určitých blocích. Flash je paměť typu ROM, tedy energeticky nezávislá paměť, která je elektricky mazatelná/programovatelná. Název „flash“ vznikl díky mžikovému mazání dat. [44]

Princip jakým flash paměť funguje, je obdobný jako u EEPROM. Paměťová buňka je realizovaná pomocí modifikovaného MOSFET tranzistoru, který obsahuje izolované plovoucí hradlo. Využívá se zde také „tunelovacího jevu“. Logická hodnota je řízena podle toho, zda se elektrony nachází v plovoucím hradle, či nikoli. Princip zobrazuje lépe obr. 29. Po výrobě čipu jsou všechny paměťové buňky ve stavu logické jedničky, přivedení proudu na adresový vodič nezpůsobí otevření tranzistoru. Druhá varianta je, že naprogramovaná buňka obsahuje na plovoucím hradle elektrony. Tranzistor se tudíž otevře a proud teče do uzemnění. (Spodní část obrázku). [47]

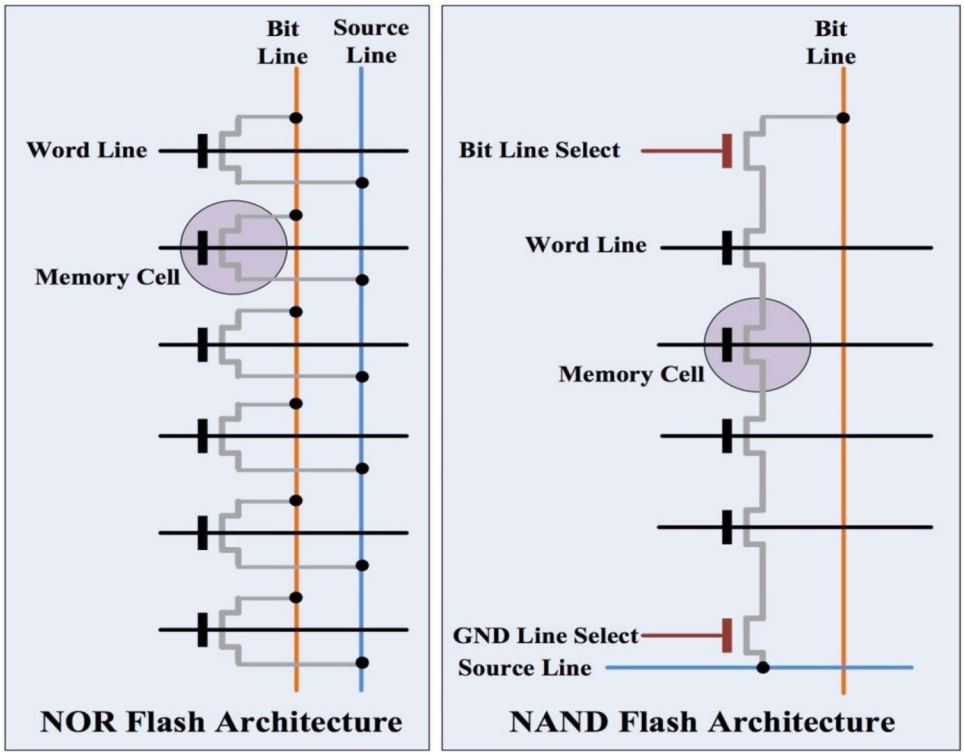


Obr. 29 logické stavy tranzistoru u paměti typu flash
Zdroj: [47]

3.3.1 Zapojení paměťových buněk (NAND a NOR)

Paměti flash je možno dělit podle typu zapojení jednotlivých paměťových buněk. Zapojení nesou označení NOR flash a NAND flash, s NOR přišla společnost

Intel a NAND vynalezla společnost Toshiba. Každé zapojení má určité výhody i nevýhody, liší se způsobem zápisu/mazání. Zjednodušeně typ NAND se využívá spíše pro SSD disky a paměťové zařízení. NOR je vylepšeným nástupcem EEPROM pamětí. [44]



Obr. 30 Zapojení paměťových buněk NOR (levá strana) a NAND
Zdroj: https://www.embedded.com/flash-101-nand-flash-vs-nor-flash/

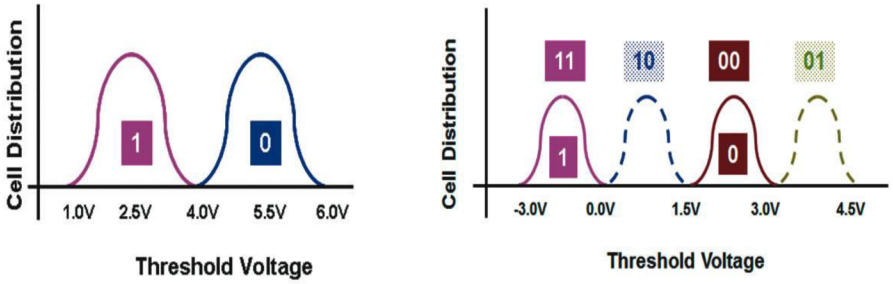
Zapojení paměťových buněk NAND a NOR je zobrazeno na obr. 30. Buňky typu NOR je možno adresovat jednotlivě po jednotlivých bitech. NAND struktura je propojení několika paměťových buněk v sérii za sebou. Je tedy nemožné adresovat jednotlivé bity, navíc zde je mnohem více komplikovaný zápis i čtení. Nejmenší adresovatelná struktura je stránka (page). Přínos tohoto zapojení je ale na úspoře místa na paměťovém čipu, uvádí se až 45 % oproti struktuře NOR. [44]

V současné době SSD disky využívají inovace 3D NAND/V-NAND struktury. Jde zjednodušeně o skládání křemíkových čipů na sebe do vertikální polohy.

Jednotlivé vrstvy se spojují pomocí vertikálních kanálů. Tato struktura vede ke snížení spotřeby energie i zvýšení výkonu. [49]

3.3.2 Paměťové úrovně (TLC,MLC,...)

Paměťové buňky je možné členit dále pomocí úrovní, tedy jakými způsoby jsou schopny uchovávat informace o logických stavech. V úvodu o ROM pamětech bylo řečeno, že jedna paměťová buňka je schopna uchovat jeden bit. Jde tedy o typ SLC (Single-level cell). Intel u flash pamětí přispěl v roce 1995 rozšířenou technologii MLC (Multi-level cell). MLC dokáže uchovat informace o 2 bitech v jedné paměťové buňce tvořené pomocí jediného tranzistoru. Pro zaznamenání 2 bitů je nutné rozeznávat 4 stavy, které lze od sebe odlišit. Více stavů je možné zaznamenat pomocí velikosti elektrického proudu, který prochází datovým vodičem. Elektrický proud ovlivňuje množství elektronů v izolované vrstvě hradla. [44]



Obr. 31 porovnání stavů napětí technologií TLC a MLC
Zdroj: https://www.electronicspecifier.com/products/memory/

Pro porovnání obr. 31 zobrazuje vlevo technologii TLC a na prvé straně MLC se stavy, které odpovídají určitému napětí. V průběhu vývoje flash pamětí se tato technologie rozšířila na TLC (Triple-level cell), QLC (Quad-level cell) a ve vývoji je momentálně i PLC (Penta-level cell). Hlavní výhodou, kterou přináší tyto typy technologií je zvětšení kapacity daných médií. Výroba je mnohem levnější a flash paměti jsou tudíž i cenově dostupnější pro zákazníky. Dochází i k úspoře spotřebované energie. Pozitivní vliv na tyto benefity má samozřejmě i neustále miniaturizace tranzistorů. Technologie „více úrovní“ si ovšem za svou příznivou cenu berou určitou daň ve formě značných nevýhod. Největší nevýhody jsou kratší

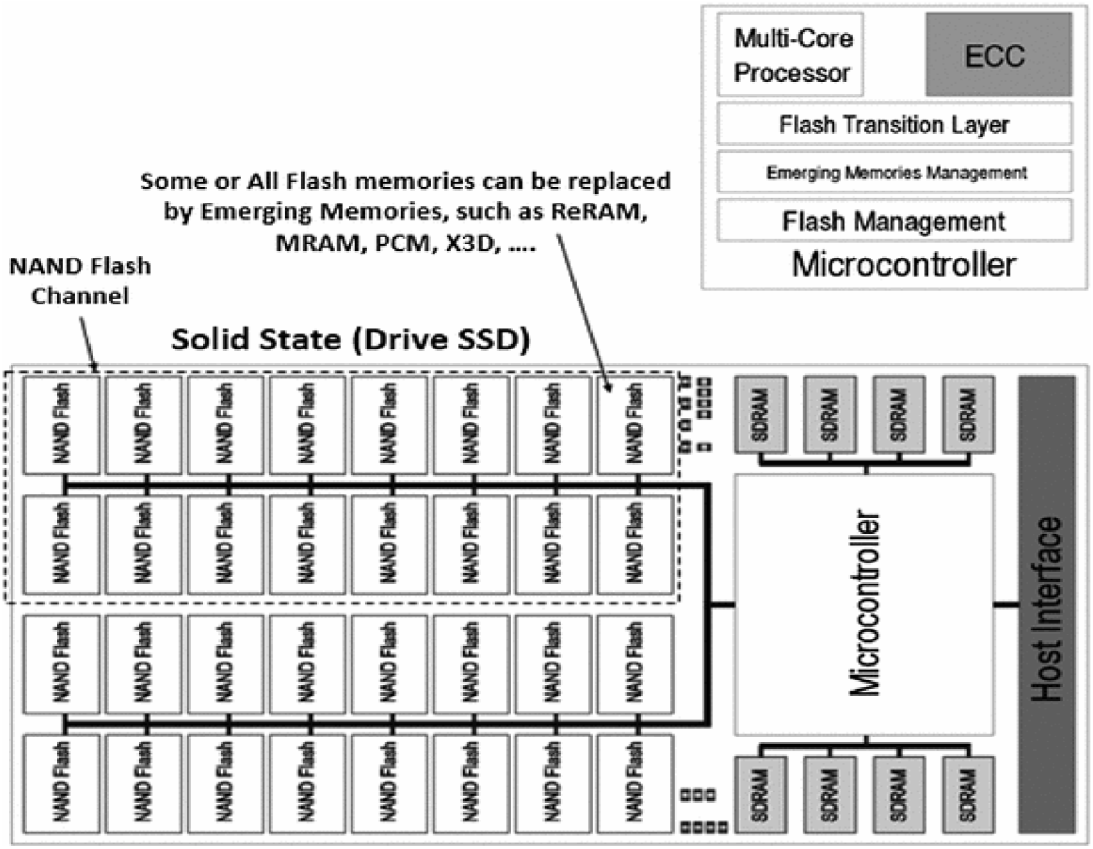
životnost paměťových buněk, větší chybovost, a především zpomalení u čtení z paměti. [48] Životnost paměťové buňky je dána počtem možných cyklů zápisu/vymazaní, stejně jako u EEPROM. Problém vadných stránek a bloků řeší relokace. Princip relokace je logické přemapování vadných buněk bez ztráty dat. [44]

3.3.3 SSD (Solid-state drive)

SSD disky využívají princip flash pamětí, český ekvivalent pro SSD je „polovodičový disk“. Vznik tohoto typu paměti je vylepšenou alternativou k pevným diskům. To je i důvod, proč jsou často prodávány ve stejných formátech, které se využívají u HDD (převážné formát 2,5“). Zásadní výhody oproti HDD, které přináší, je vyšší rychlost přenosu dat s nízkou přístupovou dobou. Vzhledem k tomu, že se zde nenachází žádné mechanické části, jde o technologii, která je odolná vůči nárazům a vibracím. Také nevydávají hluk a jsou energeticky úspornější. Tyto výhody jsou bezkonkurenční, především při nasazení u přenosných zařízení (notebooky, tablety, atd…). Mezi nevýhody patří jejich vyšší cena, to je důvod proč se pevné disky udržují na trhu dodnes. [48]

Logickou strukturu obecného plošného spoje SSD zobrazuje obr. 32. Mikrokontrolér (řadič) je mostem mezi rozhraním disku a paměťovými čipy a je řízen pomocí firmwaru. Paměťové čipy typu flash jsou propojeny s mikrokontrolérem pomocí kanálů. Více kanálů umožňuje paralelní komunikaci s flash čipy, to má za následek vyšší propustnost dat. Mikrokontrolér je dále propojen s pamětmi typu DDR a hostitelským rozhraním. Paměti DDR plní funkci mezipaměti, jsou totiž rychlejší než paměti typu flash. Do mezipaměti se ukládají data před přenosem do flash. Mikrokontrolér zpracovává čtení/zápis/mazání z paměťových buněk, ale plní i řadu jiných funkcí. Například je jeho úkolem rovnoměrné rozložení zápisu do paměťových buněk, za využití přemapování sektorů. Pokud jde o mapování, tak mikrokontrolér spravuje také mapu vadných bloků. Tato mapa je vytvořena už při výrobě, to značí existenci vadných paměťových buněk při výrobě. Přemapování šetří výrobní náklady (výrobce si může dovolit

drobné nedostatky). Co se týče chyb, mikrokontrolér má také zodpovědnost za opravné kódy ECC, které jsou schopny detekovat poškození dat v paměti. [50]



Obr. 32 Logická struktura komponent plošného spoje SSD
Zdroj: [50]

3.3.3.1 Rozhraní SSD

Pokud bychom vybírali SSD disk, je nutné sledovat řádově několik parametrů pro dobrou koupi. Kromě kapacity, technologie TLC, QLC, atd., ... jsou dobrým ukazatelem výkonu přenosová pásma uváděné v MB/s a IOPS (počet čtecích/zápisových operací za sekundu). Tyto hodnoty dokáže významně ovlivnit i použitá počítačová sběrnice. [51]

SATA/SAS

Tyto sběrnice využívají spíše levnější SSD, jde o rozhraní uzpůsobené především pro pevné disky. Použití rozhraní tohoto typu přináší vyšší latenci a také nižší hodnotu IOPS. SATA III (aktuálně nejvyšší revize SATA) má přenosovou rychlost 6 Gb/s a datovou propustnost 600 MB/s. SAS-3 dosahuje dvojnásobných rychlostí, rozhraní je určeno především pro servery. Hlavní nevýhodou je přístup procesoru k datům. U SATA/SAS procesor vyžádá data, požadavek je směrován na diskový řadič a následně na jednotlivé disky. SATA používá komunikační protokol AHCI a má podporu 32 požadavků v jedné frontě. Tento problém a limity rozhraní překonává sběrnice PCI-Express s komunikačním protokolem NVMe (non-Volatile Memory Express), nabízí mnohonásobně vyšší výkony pro disky SSD. [51]

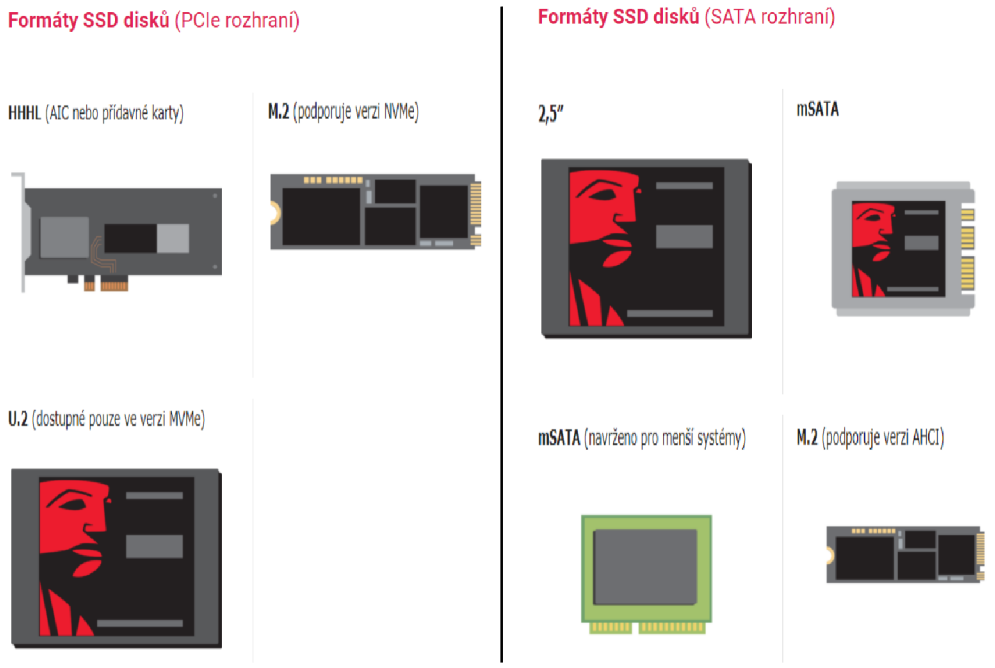
PCIe NVMe

PCI-Express je standard systémové sběrnice, jde o dvoubodový spoj využívající sériový přenos dat. Aktuální nejnovější verze je PCI-Express 4.0, propustnost dat u jedné linky jednosměrně dosahuje rychlosti 2 GB/s. Tento rok se očekává i vydání PCI-Express 5.0, ta nabídne dvojnásobné rychlosti oproti předchozí verzi. NVMe je úložný protokol uzpůsobený pro SSD disky. PCIe při použití s komunikačním protokolem NVMe dosahují velmi nízkých latencí i vysoké propustnosti dat, která je několikanásobně vyšší než u SATA rozhraní. Počet souběžných požadavků v jedné frontě může být až 64 tisíc, tedy NVMe disky dokáží zpracovat mnohem větší množství IOPS. Pro porovnání se SATA, NVMe disk komunikuje PCIe linkami, které vycházejí přímo z procesoru do disku. Existuje tedy přímý přístup k procesoru a paměti RAM. Disky typu NVMe jsou vhodné na datově náročné aplikace, pro běžné uživatele může být levnější a dostatečné zvolení SATA SSD. [51]

3.3.3.2 Používané formáty SSD

V posledních letech je miniaturizace trendem, pro spoustu zákazníků jsou lákavá tenká a lehká zařízení, a to především u notebooků. Proto vznikla kromě

klasických formátů, které využívají pevné disky, řada dalších, ty jsou pro ilustraci zobrazeny na obr. 33.

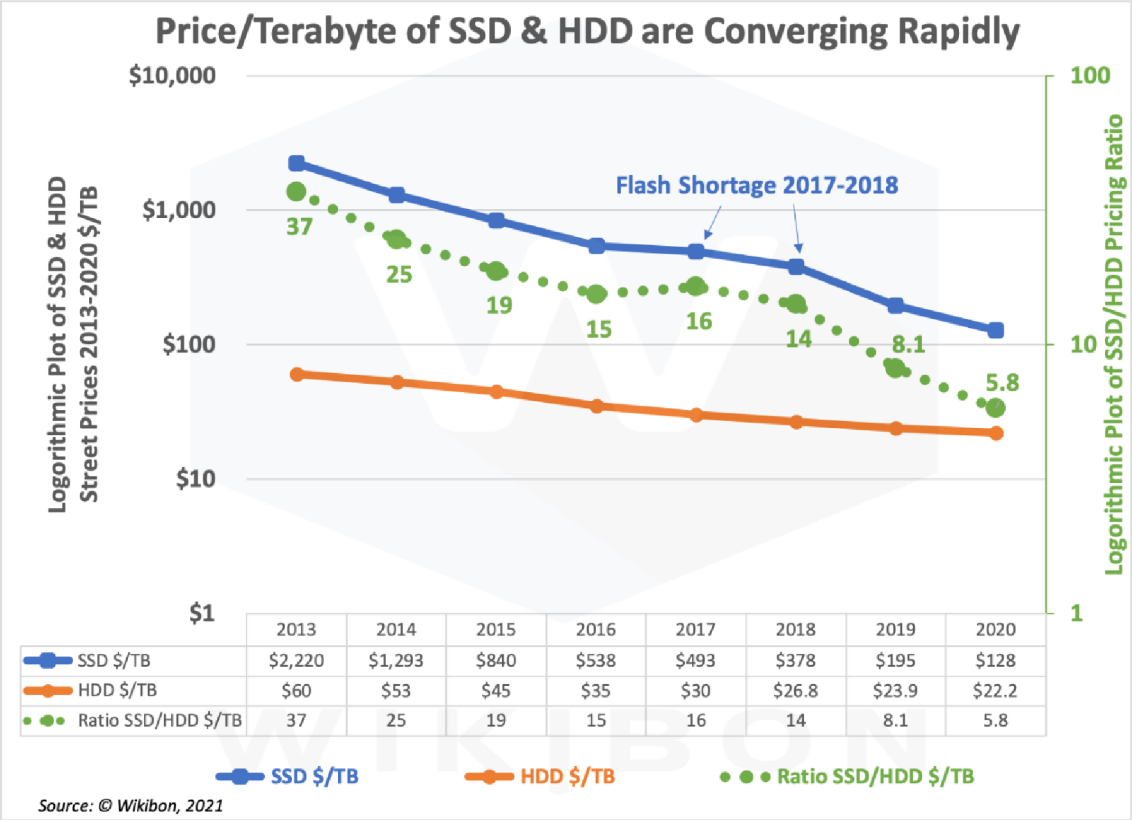


Obr. 33 Formáty SSD rozlišeny podle rozhraní
Zdroj: (upraveno) , https://www.edecko.cz/2018/10/24/technologie-ssd-disku-ocima-ed-experta/

3.3.3.3 Porovnání SSD a HDD

V současné době začínají být pevné disky relativně na ústupu. Hlavní příčinou je pokles cen SSD, ty se stávají stále dostupnější. V úvodu byly zmíněny výhody SSD oproti HDD. Co se týče nevýhod, SSD disky nejsou vhodné na archivaci dat a mohou mít o něco nižší životnost. Především pokud jsou použity buňky více úrovní (MLC,TLC..). Cenové porovnání v letech 2013 - 2020 mezi SSD a HDD zobrazuje Graf č. 3, ten popisuje pokles cen SSD/HDD v dolarech za jednotku TB. Kapacitně dnes obyčejné SSD dosahují stovky GB až několika TB. Aktuálně největší SSD (Nimbus Data's ExaDrive DC100) má kapacitu 100 TB. Co se týká rychlostí SSD u čtení/zápisu, záleží na použitém rozhraní. U SATA III jde běžně řádově o stovky MB/S, běžné jsou hodnoty 550 MB/s pro sekvenční čtení a zápis. Pokud jde o rozhraní PCIe s využitím NVMe, rychlosti pro sekvenční čtení/zápis jsou řádově už i

v tisících MB/s. U pevných disků (pro porovnání) jsou tyto rychlosti až okolo 200 MB/s, tedy SSD bývají minimálně v horších případech 2x-3x rychlejší. [52]



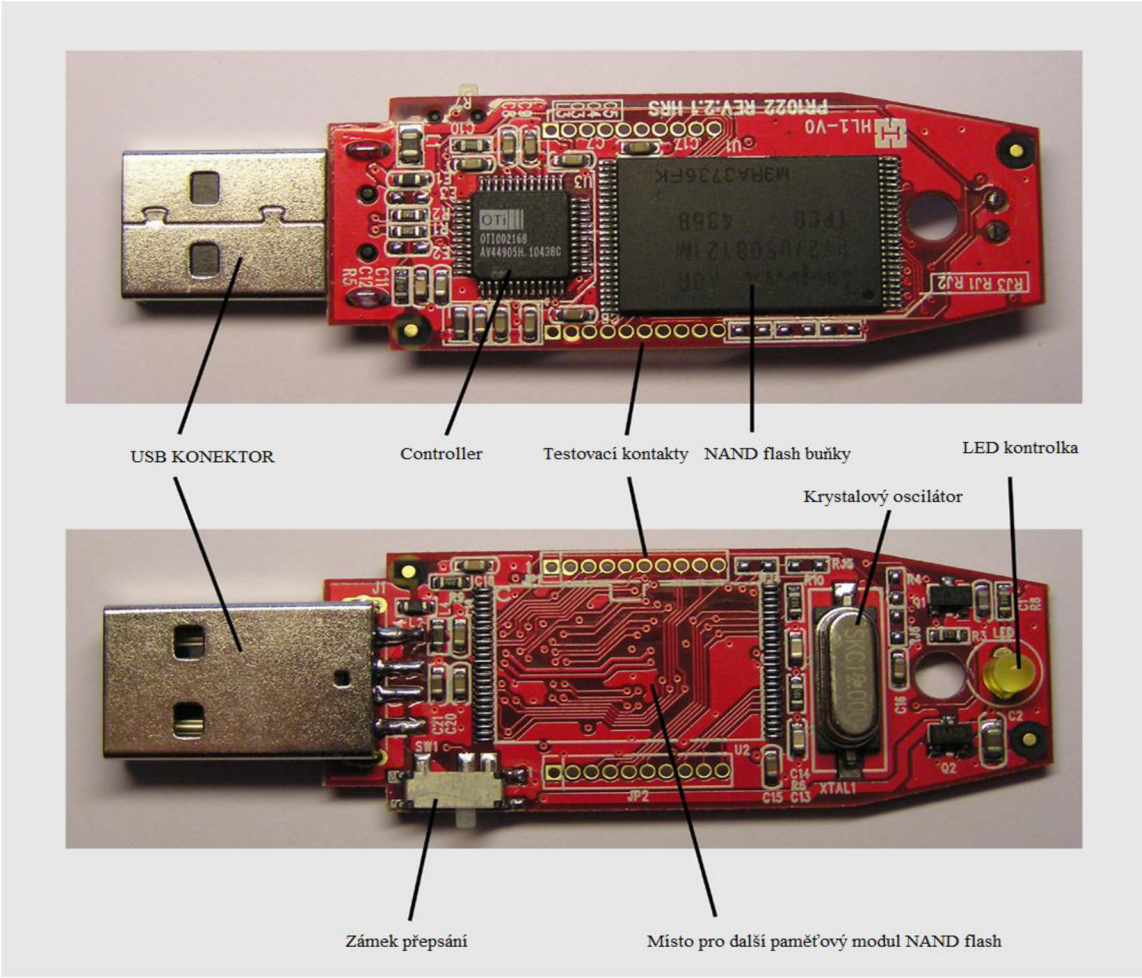
Graf č. 3 Cenový pokles HDD/SSD za jednotku $/TB
Zdroj: https://wikibon.com/qlc-flash-hamrs-hdd/

3.3.4 USB Flash Disky

Jde o přepisovatelné přenosné paměťové zařízení, které využívá jako základ paměťové čipy typu NAND flash a pro komunikaci využívá rozhraní Universal Serial Bus (USB). První flash disk byl představen v roce 2000 a nabízel kapacitu 8 MB. V průběhu let kapacity i rychlosti čtení/zápisu u USB flash disků vzrostly, a to způsobem, že došlo k vytlačení disket a CD/DVD disků, jako přenosných zařízení. USB flash disky jsou mnohem vhodnější jako přenosná zařízení, oproti předchůdcům jsou více odolné vůči mechanickým poškozením. Také nejsou citlivé na magnetické záření jako diskety. Jedinou značnou nevýhodou může být citlivost na statickou elektřinu, či elektrické náboje. USB klíčenky jsou prodávány na trhu

v různých formátech a ochranných pouzdrech. Někteří výrobci se zaměřují i na odolnost v outdoorových podmínkách, jiní na design a líbivost pro zákazníky. Kapacity se na dnešním trhu běžně pohybují od 8 GB do 2 TB. Cena za 8 GB USB 2.0 se pohybuje okolo 120 Kč. Rychlosti čtení a zápisu závisí na použitém USB rozhraní a jeho revizi. U verze USB 3.0 teoreticky až 625 MB/s. Uživateli jsou často USB klíčenky využívány pro rychlý přenos dat, zálohování souborů, či jako médium pro mediální přehrávače, televize, atd. Flash disk je také možné použít jako instalační médium operačního systému. [53]

Pokud bychom nahlédli pod ochranný obal flash disku, mohli bychom vidět plošný spoj, který je zobrazen na obr. 34. K desce je vždy připojen USB konektor a v některých případech jsou konektory různých typů z obou stran. Často se využívá i varianta lightning konektoru, ten je typický pro mobilní zařízení od společnosti Apple Inc. Řídící jednotka (Controller) je důležitou částí, uvnitř se nachází jednoduchý procesor s přístupem k vlastní paměti RAM a ROM, která je součástí USB flash. V ROM je nahrán firmware, který výrobce nahrává často pomocí testovacích kontaktů. Testovací kontakty slouží i pro ověření, zda se nejedná o zmetkový kus. Řídící jednotka má také přehled, v jakých paměťových buňkách jsou data uložena. Paměťové buňky typu NAND flash mohou být obsazeny z obou stran plošného spoje, to umožňuje zvýšit kapacitu média. Výstup dat flash disku je řízen hodinovým signálem o frekvenci většinou 12 Mhz, který generuje krystalový oscilátor. Na flash disku mohou být další volitelné prvky, jako například indikační LED, či přepínač nechtěného přepsání dat. [53]



Obr. 34 Plošný spoj USB Flash disku
Zdroj: (upraveno), https://en.wikipedia.org/wiki/USB_flash_drive

3.3.4.1 Rozhraní USB

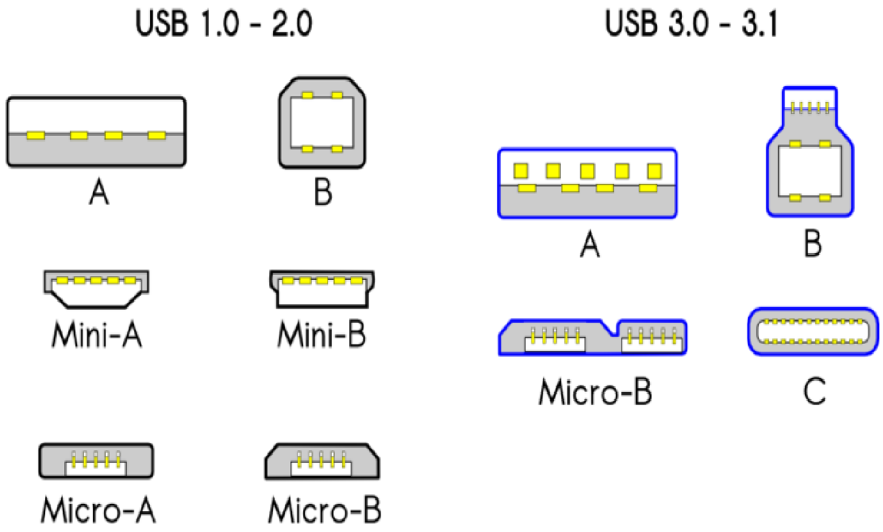
Universal Serial Bus (USB) je sériová sběrnice, která umožňuje připojení různých periferií k hostitelskému řadiči. První standard se objevil v roce 1995 a za jeho vznikem stojí řada významných společností (Intel, IBM, Microsoft, NEC, …). USB je od roku 1996 standardizován fórem USBIF. Toto rozhraní nabylo rychle na popularitě a zcela nahradilo rozhraní paralelního a sériového portu. Existuje více generací USB, ty jsou zobrazeny v tabulce č. 5. Hlavním rozdílem jsou především maximální datové propustnosti a často také hodnoty energie, které jsou schopny přenášet do periferií (nabíjení zařízení). [54]

Název	Uvedení	Maximální propustnost	Marketingový název
USB 1.0	1996	1,5 Mb/s	Low Speed
USB 1.1	1998	12 Mb/s	Full Speed
USB 2.0	2000	480 Mb/s	High Speed
USB 3.0	2008	5 Gb/s	SuperSpeed USB
USB 3.1	2013	10 Gb/s	SuperSpeed USB 10Gbps
USB 3.2	2017	20 Gb/s	SuperSpeed USB 20Gbps
USB4 Gen 2×2	2019	20 Gb/s	?
USB4 Gen 3×2	2019	40 Gb/s	?

Tabulka č. 5 generace USB
Zdroj: [56]

Dnes je běžné, že každé multimediální zařízení, počítač, tablet, atd., obsahuje minimálně nějaký konektor typu USB. Na jeden USB port v hostitelském zařízení je možno připojit až 127 zařízení. To umožňují rozbočovače (Hubs), které často mají i vlastní zdroj napájení. To vytváří stromovou topologii, která může být řetězena do 8 úrovní. Hostitelský port na daném zařízení je označován jako kořenový hub. Každé zařízení v topologii je adresováno, aby hostitelské zařízení poznalo, s kým probíhá daná komunikace. Jednou z výhod, proč si uživatelé oblíbili USB sběrnici, je metoda plug-and-play. Tato metoda zajišťuje připojení periferie bez nutnosti restartu hostitelského zařízení. Pohodlnost uživatelům po připojení periferie zajišťuje také proces zvaný enumerace. Proces, kdy je operační systém schopný automaticky detekovat vhodný ovladač a zařízení nakonfigurovat pro korektní komunikaci. Pokud není vhodný ovladač nalezen, bývá uživatel informován. Další oblíbenou funkcionalitou uživatelů je USB OTG (On The Go). Jde o standart USB, který dokáže udělat z určitých zařízení hostitelská pro připojení periferií. Toto se využívá často u tabletů a mobilních telefonů, kdy jsme schopni za použití redukce a podpory OTG k tabletu připojit například klávesnici a myš. [55]

Fórum USBIF kromě standardů protokolů definují také podoby konektorů USB. Podoby konektorů jsou zobrazeny na obr. 35. Fórum se snaží udržovat i zpětnou kompatibilitu mezi generacemi USB. Jako příklad poslouží (USB-A 2.0) a (USB-A 3.0), kde konektory mají odlišný počet pinů. Přesto je zachována zpětná kompatibilita, samozřejmě bude fungovat na rychlostech dané sběrnice. V poslední době je v oblibě konektor typu USB-C, kde jsou piny koncipovány symetricky, a to umožňuje zapojit konektor do portu libovolným směrem. Kromě toho, USB-C 3.2 má podporu 20V (100W), není tedy problém napájet například notebook. Generace USB 4 již vycházejí z rozhraní Thunderbolt 3. [56]



Obr. 35 typy konektorů USB
Zdroj:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB_2.0_and_3.0_connectors.png

3.3.5 Paměťové karty

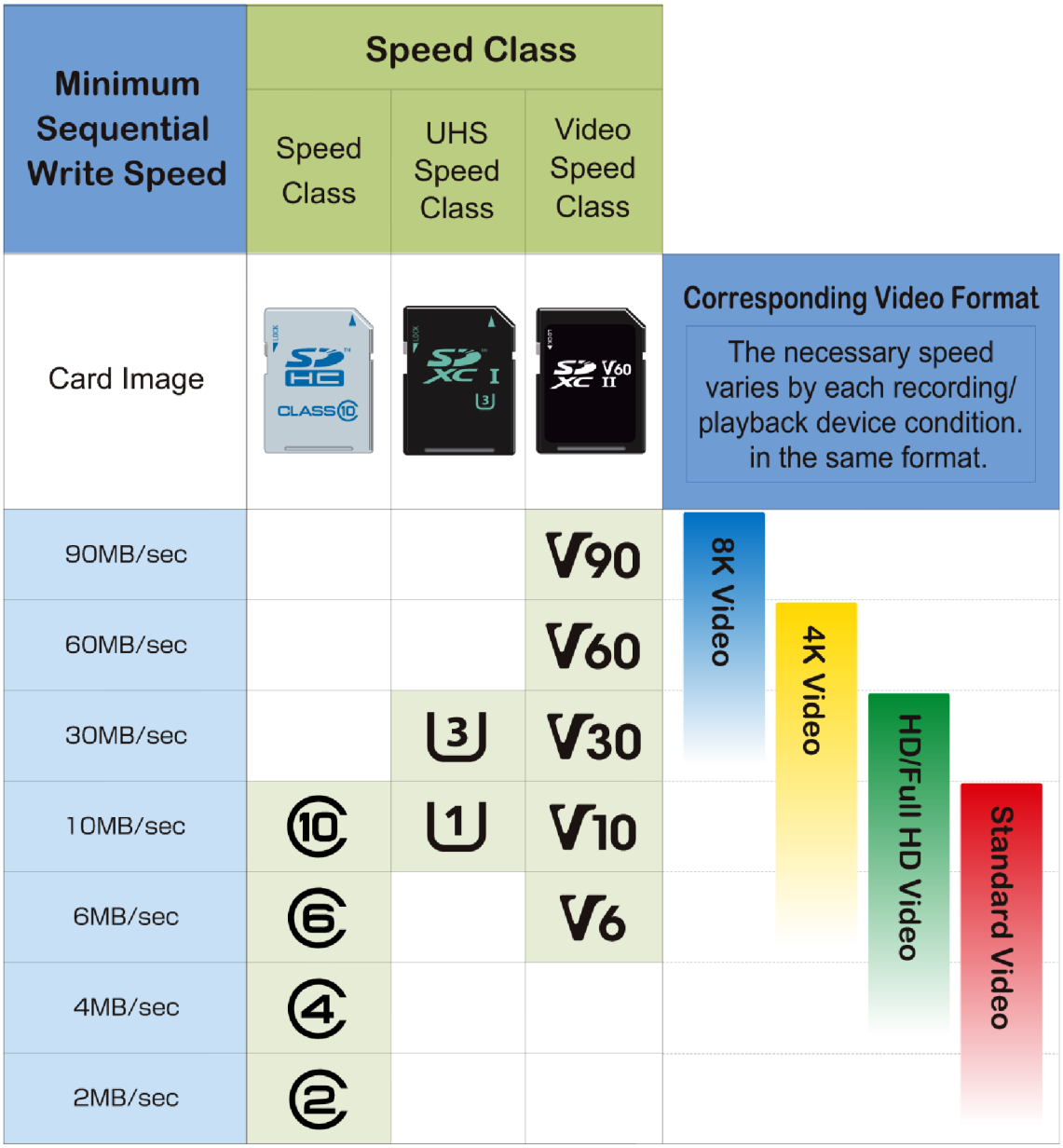
Paměťové karty jsou postaveny na principu flash pamětí. Z počátku byly určeny spíše pro fotoaparáty, dnes mají velice široké spektrum využití (především pro mobilní zařízení). Na počátku vývoje se u karet využívaly NOR flash paměťové čipy, ale z potřebných nároků trhu na zvětšování kapacit se přešlo na čipy typu NAND. První paměťovou kartu vyvinula společnost SanDisk v roce 1994 a nabízela velikost 4 MB. S touto kartou byl i přijat první formát Compact Flash, který se stal jedním ze standardů. V průběhu let až do současné doby vzniklo několik standardů,

stručný výpis nejznámějších zobrazuje tabulka č. 6. Dnes se nejvíce využívá formát SD (Secure Digital), tedy spíše jeho velkokapacitní verze SDHC a SDXC. Existují i zmenšené varianty micro, či mini SD. Na trhu jsou tyto typy běžně k dostání v kapacitách od 4 GB až do 1 TB. Jen pro zmínku, v profesionálním užití se využívá dnes i formát CF, tedy jeho novější standard CFexpress. Následující odstavce jsou věnovány pouze standardu SD. [57]

Standard	Datum uvedení	Představitel
CompactFlash (CF)	1994	SanDisk
Smart Media (SM)	1995	Toshiba
Multimedia card (MMC)	1997	Siemens AG, SanDisk
Memory Stick (MS)	1998	Sony
Secure Digital (SD)	1999	Panasonic, Toshiba, SanDisk
xD-Picture card (xD)	2002	Olympus, Fujifilm

Tabulka č. 6 standardy paměťových karet
Zdroj: [57]

Dalším zásadním parametrem pro zákazníka je rychlost zápisu a čtení dat. Pro toto označení se dříve využívala třída (Class), která označovala minimální sekvenční rychlost (většinou čtení) v jednotkách MB/s. Nejvyšší uváděný Class je Class 10 (10 MB/s), to je dnes celkem zanedbatelné protože to nabízí většina karet. Další přídavné označení, se kterým je možné se setkat, je UHS (Ultra High Speed). Označení určuje minimální rychlost, které je schopna sběrnice dosáhnout. Dnes existují 3 varianty a na kartě jsou značeny římskou číslicí, liší se i počtem pinů, po kterých jsou data přenášena. Zpětná kompatibilita je zachována na úkor snížené rychlosti. UHS I má stejné rychlosti jako Class 10, UHS III má rychlost minimálně 30 MB/s. Vzhledem k tomu, že se dnes začíná objevovat video v 8K, přichází rozšiřující označení VSC (Video Speed Class). Porovnání všech označení dobře ilustruje obr. 36, na levé straně jsou uvedeny zmíněná označení, které korespondují požadovaným minimálním a optimálním formátům videa na pravé straně. [58]



Obr. 36 Rychlostní třídy definované sdružením SDA
Zdroj: [58]

Dalším označením, které není až tak běžné, je třída aplikačního výkonu. Jde o údaj, který se týká rychlosti výkonu náhodného čtení a zápisu. To je počítáno pomocí již zmíněných IOPS (vstupní/výstupní operace za sekundu). Existují dvě třídy označované jako A1 a A2. Aby karta mohla mít dané označení, musí splňovat minimálně požadavky uvedené na obr. 37. [82]

Application Performance Class Specification Table

Application Performance Class	Pictograph	Minimum Random Read	Minimum Random Write	Minimum Sustained Sequential Write
Class 1 (A1)*	A1 APP PERFORMANCE	1500 IOPS	500 IOPS	10MBytes/sec
Class 2 (A2)**	A2 APP PERFORMANCE	4000 IOPS	2000 IOPS	10MBytes/sec

*The detailed preconditions and test are defined in SD 5.1 Part 1 Physical specification.
**The detailed preconditions and test are defined in SD 6.0 Part 1 Physical specification.

Obr. 37 Třídy aplikačního výkonu definované sdružením SDA
Zdroj: [82]

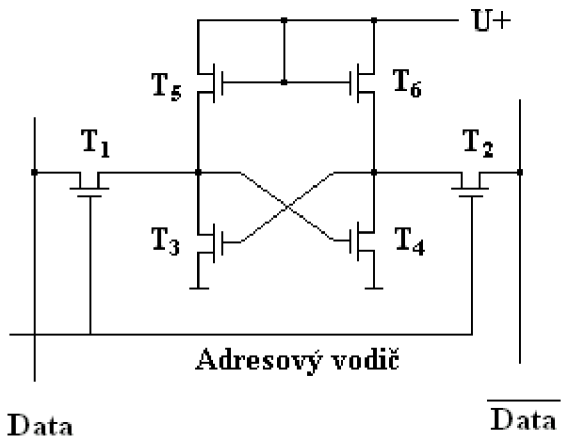
3.4 Paměti typu RAM

Polovodičové paměti typu RAM lze označit jako energeticky volatilní paměti, při odpojení napájení je jejich obsah trvale vymazán. Zkratka RAM znamená „Random Access Memory“, již z názvu vyplývá, že je to paměť s náhodným přístupem. Data je možné číst či zapisovat do libovolného paměťového místa bez znatelných časových zpoždění. V porovnání se sekvenčním přístupem, kde fyzické uložení informací při přístupu, znamená určitý časový rozdíl. Paměti RAM jsou na špičce hierarchie mezi paměťovými médii, co se týká přístupových rychlostí. Z toho důvodu je tento typ využíván jako primární paměť počítače. RAM je možné dále členit podle zapojení paměťové buňky na statickou a dynamickou RAM (SRAM, DRAM). [66]

3.4.1 SRAM

První paměť typu SRAM byla vynalezena v roce 1963 Robertem Normanem. Základ pro paměťovou buňku je tvořen bistabilním klopným obvodem. Často se využívá označení 4-T nebo 6-T, to označuje počet použitých tranzistorů na jednu buňku. Paměťová buňka dokáže uchovat jeden bit informace. Použití tohoto obvodu

je výrobně náročné a nákladné. Na jednom waferu (substrát pro výrobu mikroobvodů) není možné vytvořit velké paměťové kapacity. Tento typ RAM nachází využití jako paměť registru v procesoru či jako paměť typu cache (CPU, HDD, mechaniky, …). Oproti níže zmíněné DRAM je energeticky úspornější a také nabízí kratší přístupovou dobu. Kapacity se v současnosti objevují řádově v pár stovkách kB až jednotkách MB, v případě serverových procesorů to mohou být až řádově desítky MB. Přístupová doba je udávána v jednotkách ns. [67] [68]



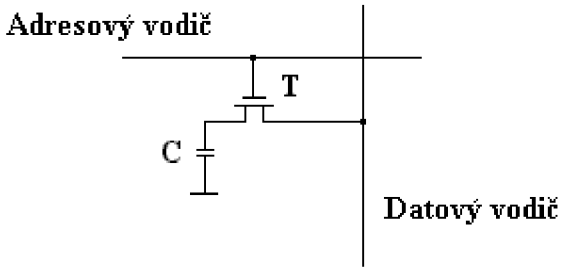
Obr. 38 paměťová buňka typu SRAM
Zdroj: [43]

Často využívaná je tranzistorová technologie typu MOS. Zapojení paměťové buňky toho typu je zobrazeno na obr. 38, jde o označení 6-T. *„U SRAM pamětí se používá dvou datových vodičů. Vodič Data je určený k zápisu do paměti. Vodič označený jako \Data se používá ke čtení. Hodnota na tomto vodiči je vždy opačná než hodnota uložená v paměti. Takže na konci je nutno ji ještě negovat. Při zápisu se na adresový vodič umístí hodnota logická 1. Tranzistory T1 a T2 se otevřou. Na vodič Data se přivede zapisovaná hodnota (např. 1). Tranzistor T1 je otevřen, takže jednička na vodiči Data otevře tranzistor T4 a tímto dojde k uzavření tranzistoru T3. Tento stav obvodu představuje uložení hodnoty 0 do paměti. Zcela analogicky tato buňka pracuje i při zápisu hodnoty 1. Rozdíl je pouze v tom, že tranzistor T4 zůstane uzavřen a to způsobí otevření tranzistoru T3. Při čtení je opět na adresový vodič přivedena hodnota logická 1, což opět způsobí otevření tranzistorů T1 a T2. Jestliže byla v paměti zapsána*

hodnota 1, je tranzistor T4 otevřen (tj. na jeho výstupu je hodnota 0). Tuto hodnotu obdržíme na vodiči \DATA. Opět zcela analogicky v případě uložené hodnoty 0, kdy tranzistor T4 je uzavřen (tj. na jeho výstupu je hodnota 1). Poznámka: Tranzistory T5 a T6 plní pouze funkcí rezistorů. " [43]

3.4.2 DRAM

Paměť typu DRAM byla vynalezena Robertem Dennardem v roce 1967, o tři roky později Intel uvedl na trh první počítačovou paměť typu DRAM. Jednalo se o čip Intel 1103 s kapacitou 1 kb. Paměťová buňka typu DRAM je tvořena pomocí jednoho tranzistoru typu MOS a kondenzátoru o malé kapacitě (řádově desetin pikofaradů). Kondenzátor nese paměťovou informaci ve formě elektrického náboje. Nabitý kondenzátor symbolizuje logickou 1. DRAM je typ volatilní paměti, vzhledem k tomu, že dochází k samovolnému vybíjení kondenzátoru, je nutné informaci periodicky obnovovat pomocí tzv. „refresh" paměti. Ve srovnání s pamětí typu SRAM, je výrobně méně nákladná a umožňuje dosáhnou mnohem větších kapacit, dnes řádově v GB. Její využití je nejčastěji jako operační paměť počítačů, či jako paměť pro grafické procesory (GPU). Jedinou nevýhodou oproti SRAM jsou vyšší přístupové doby (řádově desítky ns) a větší spotřeba energie. Mezi další drobnou nevýhodu patří také to, že čtení z paměti je destruktivní. Přečtená informace je zaznamenána do tzv. latchů (záchytný registr), z nich je možné v případě potřeby opětovně informace sestavit do původních paměťových buněk. [66] [67]



Obr. 39 paměťová buňka typu DRAM
Zdroj: [43]

Na obr. 39 je zobrazena realizace obvodu paměťové buňky typu DRAM. Čtení z paměťové buňky funguje tak, že je na adresový vodič přivedeno napětí. Dojde k otevření tranzistoru a pokud byl kondenzátor nabitý, hodnota přejde na datový vodič (stav log. 1). To také značí, že čtení z paměti typu DRAM je destruktivní a je potřeba tzv. „refresh" paměťové buňky i při čtení. Zápis informace do buňky je prováděn tak, že na adresový vodič je přivedeno napětí. Tranzistor se otevře, v případě, že chceme zapsat do paměťové buňky log. 1 , přivedeme napětí na datový vodič. Dojde k nabití kondenzátoru. V opačném případě, kdy chceme zaznamenat log. 0 na datový vodič není přivedeno žádné napětí. Pokud byl kondenzátor nabitý, tak se pouze vybije. [43]

3.4.2.1 Asynchronní DRAM

Jde o starší typ DRAM pamětí, které nevyužívají systémové hodiny k synchronizaci přístupu do paměti. Obsahují také minimální množství podpůrných obvodů, jsou tedy konstrukčně značně jednodušší. Výrobce zde udává maximální dobu, kterou potrvá zápis a čtení do paměti. Aby přistupoval procesor již k dostupným datům, může se zde nacházet paměťový subsystém nebo je tento úkon svěřen přímo procesoru. Tento přístup přináší značné latence. Jako příklad asynchronní DRAM jsou níže uvedeny typy režimů FPM (Fast Page Memory) a EDO (Enhanced Data Out). [69]

- **FPM DRAM** byla uvedena na trh v roce 1987. Přinášela zrychlení za předpokladu, že pokud jsou požadovaná data z jednoho řádku paměti, jsou přenesena do záchytného registru a odtud jsou vybírány jednotlivé sloupce. To přineslo v té době průměrně dvojnásobné zrychlení v případě tzv. „burst přenosů". Tento typ přenosů funguje tak, že je vyhledána určitá část hledaných dat. Počítá se s tím, že určité programovací jazyky (C++, Pascal, Java, …) data seskupují. Burst přenos, přenáší nalezená data + určitou část okolo. Přístupová doba byla z toho důvodu okolo 60 – 80 ns. [66] [69]

- **EDO DRAM** byla přestavena v roce 1995, vychází z návrhu FPM s tím rozdílem , že je o něco efektivnější k přístupu k dat (zrychlení 10 – 20 %). To přináší snížení přístupové doby, která byla pod 60 ns. Tento typ existoval v provedení SIMM a DIMM modulů. Kapacita dosahovala až 32 MB. [66] [69]

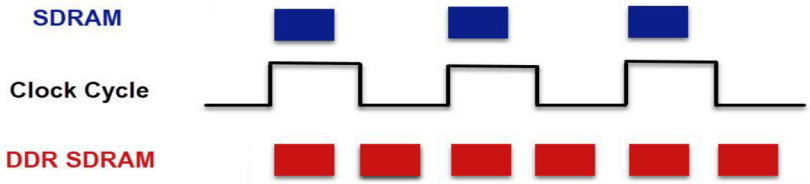
3.4.2.2 Synchronní DRAM

SDRAM pracují synchronně s procesorem externě daným hodinovým signálem. Nachází se zde také více podpůrných obvodů, díky kterým je paměť více „samostatná“. Tím je myšleno, že se zde například nachází obvody, které jsou schopny automaticky řídit „refresh“ paměti. Místo přístupových časů využívaných u asynchronních pamětí se zde uvádí taktovací frekvence s počtem taktů pro určitou operaci paměti. Následující body popisují vzniklé typy SDRAM, je důležité zmínit, že mezi nimi není žádná zpětná kompatibilita. [69]

- **SDRAM** se na trhu objevila v roce 1996 a existovala v různých standardech PC66-PC133. Číslo standardu označuje pracovní frekvenci paměti v MHz. SDRAM byla dodávána ve slotech DIMM a pro mobilní zařízení ve slotech SO-DIMM. Používané kapacity byly od 64 do 512 MB. Byly rychlejší než EDO DRAM, jejich propustnost dat dosahuje hodnot 533 – 1066 MB/s. [66]

- **DDR SDRAM** se objevila na trhu od roku 2000. Přináší zvýšení přenosové propustnosti dat při zachování stejných frekvencí díky principu DDR(Double Data Rate), jednotlivé operace jsou synchronizovány na náběžné i sestupné hraně hodinového signálu. Obr. 40 zobrazuje srovnání DDR a SDRAM, uprostřed je znázorněn hodinový cyklus, jednotlivé čtverce symbolizují přenosy dat u jednotlivých technologií. Teoreticky by měla být datová propustnost dvojnásobná oproti SDRAM. Efektivní pracovní frekvence, které byly využívány jsou 200 – 400 MHz, při napětí 2,5 V. Paměti taktované na vyšší frekvence využívali až 3 V. Datová propustnost paměti je 1,6 – 3,2 GB/s. Kapacity modulů se pohybovaly od 64 MB do 2 GB. Využívaly se moduly typu

DIMM, existovaly ale verze s nízkým napětím LPDDR, které byly nasazeny pro mobilní zařízení s použitým napětím 1,8 – 1,9 V. Moduly LP (Low Power) jsou vyráběny i pro následující zmíněné generace DDR pamětí. [66]



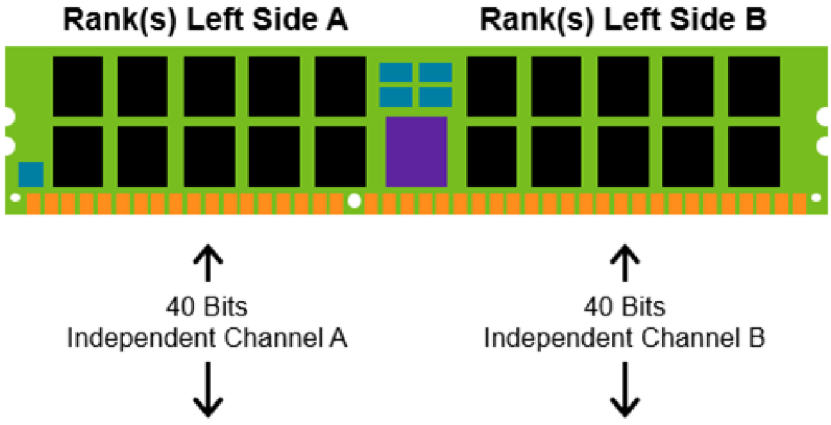
Obr. 40 Porovnání přenosu dat u SDRAM a DDR SDRAM
Zdroj: https://www.microcontrollertips.com/understanding-ddr-sdram-faq/

- **DDR2 SDRAM** byla uvedena na trh v roce 2003, na rozdíl od předchozí varianty přináší vylepšení, že sběrnice DDR2 je taktována dvojnásobnou rychlostí oproti paměťovým buňkám. To zdvojnásobuje přenosy dat na jeden hodinový cyklus. Aby nevznikal šum na základní desce, bylo vytvořeno tzv. „On-die“ zakončení rezistory pro řadič i paměť. DDR2 paměti jsou také více úsporné na energii a tudíž se i méně zahřívají. Pracují na napětí 1,8 V. Nevýhodou těchto pamětí je, že přináší vyšší latence v časování. Propustnost dat je 3,2 – 8,5 GB/s při pracovních frekvencích 400 – 1066 MHz. Kapacity na jeden modul byly až 8 GB. [66] [70]

- **DDR3 SDRAM** byla představena společností Samsung v roce 2007, opět došlo k zvýšení taktovací frekvence sběrnice. Standard JEDEC udává běžné hodnoty pracovních frekvencí v rozmezí do 1600 MHz. Na trhu se dají najít speciální typy, které mohou mít až rozsah frekvencí přesahující 2 GHz. Časování a latence byly zachovány s podobnými hodnotami, kterých dosahují paměti DDR2 (okolo 12ns) a to díky vylepšeným výrobním technologiím. Výrazně se ale opět snížilo požadované napětí pamětí, které je udáváno 1,35 – 1,5 V. Propustnost dat dosahuje při standardizovaných frekvencích 800 – 1600 Mhz hodnot 6,4 – 12,8 GB/s. Moduly jsou opět typu DIMM a v rámci jednoho modulu je možno nasadit až 16 GB. [66] [71]

- **DDR4 SDRAM** patří mezi aktuálně využívanou operační paměť moderních sestav. Na trhu se paměť objevila v roce 2014. Její přínos je opět ve zvýšení taktovací frekvence podle standardu JEDEC až na 3200 MHz. Sníženo bylo také pracovní napětí, to je udáváno na 1,05 – 1,2 V. Datová propustnost dosahuje hodnot 12,8 – 25,6 GB/s. Časové latence jsou podobné jako u DDR2, DDR3. Používá se také DIMM modul a na jednom modulu je možno nasadit až 64 GB. [72]

- **DDR5 SDRAM** paměti by se mohly na trhu objevit během letošního roku, specifikace JEDEC byla dokončena již v roce 2020. Jako v předchozích generacích došlo k navýšení frekvence, ta by měla být 3200 – 6400 MHz. Pracovní napětí klesne na 1,1 V. V rámci jednoho modulu bude možné osadit až 128 GB paměti. Některé servery tedy budou s přehledem dosahovat řádově TB operační paměti. Společnost Samsung rovněž chystá vznik nestandardních kapacit pamětí. Měly by vzniknout moduly 24 a 48 GB, které by měly prolomit cenové skoky modulů. Zajímavé je, že DDR5 nabídne možná ECC (technologie pro zjištění a opravení chyb) v základu. Předchozí generace to nabízely v příplatkových a většinou serverových variantách. Je také možné, že dojde k úpravě DIMM modulu jako takového. Standardně DIMM modul komunikuje pomocí kanálu s procesorem, který má 64 bitovou šířku. U DDR5 jsou návrhy, že by mohl být jeden modul rozdělen do dvou separátních kanálů po 40 bitech, jak zobrazuje obr. 41, tato metoda by mohla ještě o něco zvýšit výkon. [73] [74]



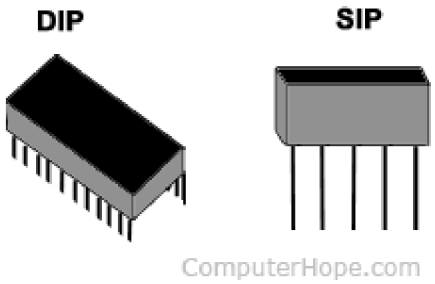
Obr. 41 dělení kanálů u modulu DDR5
Zdroj: [73]

3.4.2.3 Paměťové moduly

Vývoj jednotlivých typů pamětí DRAM vedl k tomu, že na základních deskách vznikaly různé typy slotů, do kterých se zapojují dané moduly. Následující body jsou stručným zobrazením modulů, které byly využívány.

- **DIP (Dual In-line Package)** jde o jeden z prvních modulů, které byly využívány například pro zmíněnou paměť Intel 1103. Standardně se využívalo 16 až 18 pinů a na základní desku byly připájeny na pevno. [66]

- **SIPP (Single In-line Pin Package)** modul využívaný často u pamětí typu FPM. Připojení na základní desku bylo pomocí 30 kolíků, které se spojily se základní deskou. Tento mechanismus byl citlivý na mechanické poškození přípojných kolíků, SIPP a DIP dobře porovnává obr. 42. [66]



Obr. 42 porovnání modulů DIP a SIPP

Zdroj: https://www.computerhope.com/jargon/d/dip.htm

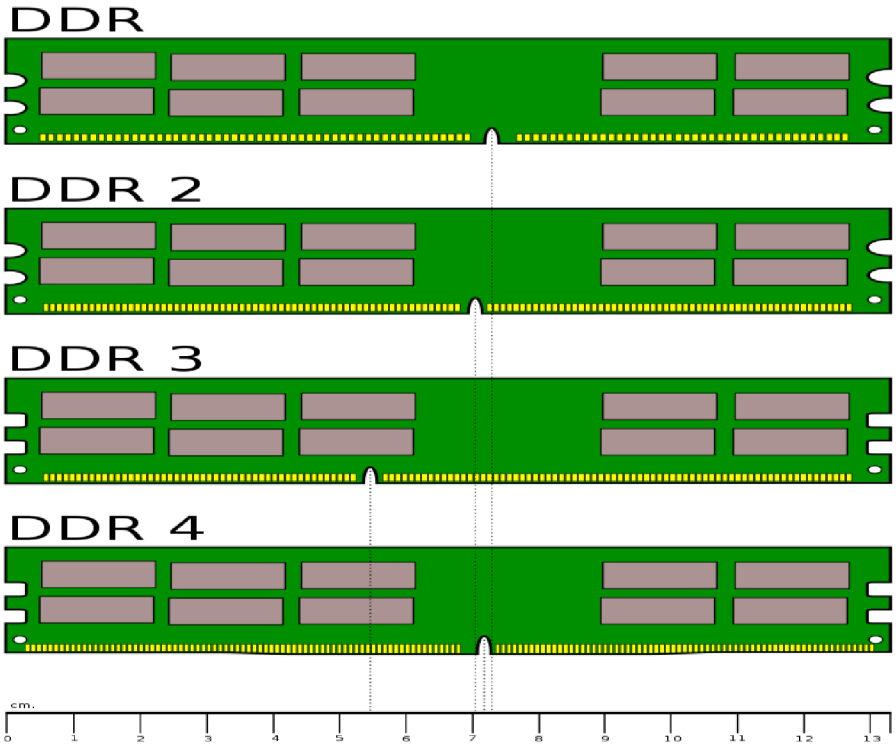
- **SIMM (Single In-line Memory Module)** z názvu lze odvodit, že kontaktní plošky na keramickém substrátu jsou z jedné strany pouze redundantní. Komunikace sběrnicí má šířku 8 nebo 32 bitů. To záleží na použité variantě SIMM. Existuje kratší varianta s 30 kontakty běžně využívána FPM DRAM, delší varianta nabízí 72 kontaktů a komunikuje 32 bity. SIMM-72 byla nasazena u pamětí typu FMP a EDO DRAM. Tento modul byl méně náchylný na mechanické poškození, oproti SIPP. [66]

- **DIMM (Dual In-line Memory Module)** zde oproti předchozí variantě jsou kontaktní plošky na každé straně modulu odděleny, díky tomu komunikace paměti přes sběrnici probíhá šířkou 64 bitů. Tento typ modulu je využíván dnešními moderními zařízeními. Existují zmenšené varianty SO-DIMM a MICRO-DIMM, ty mají uplatnění v zařízeních s menšími rozměry. Tabulka č.7 porovnává počty kontaktů jednotlivých DIMM modulů u různých typů RAM. Z tabulky je možné odvodit, že některé typy DDR mají shodné počty kontaktů. Jak bylo zmíněno, zpětná komptabilita typů DDR není možná. Jako bezpečnostní prvek JEDEC vymezil rozmístění tzv. „rýhy“, která zamezuje uživateli zapojit nesprávný typ do slotu na základní desce. Pro lepší představu viz. Obr. 43. [66]

	FMP/EDO DRAM	SDRAM	SDR SDRAM	DDR SDRAM	DDR2	DDR3	DDR4	DDR5
DIMM	168	100	168	184	240	240	288	288
SO-DIMM	72/144	-	144	200	200	204	260	-
MICRODIMM	-	-	144	172	214	-	-	-

Tabulka č. 7 počty pinů modulů DIMM

Zdroj: (upraveno), https://en.wikipedia.org/wiki/DIMM



Obr. 43 paměti DIMM typu DDR
Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/DDR_SDRAM

4 Inovace a trendy

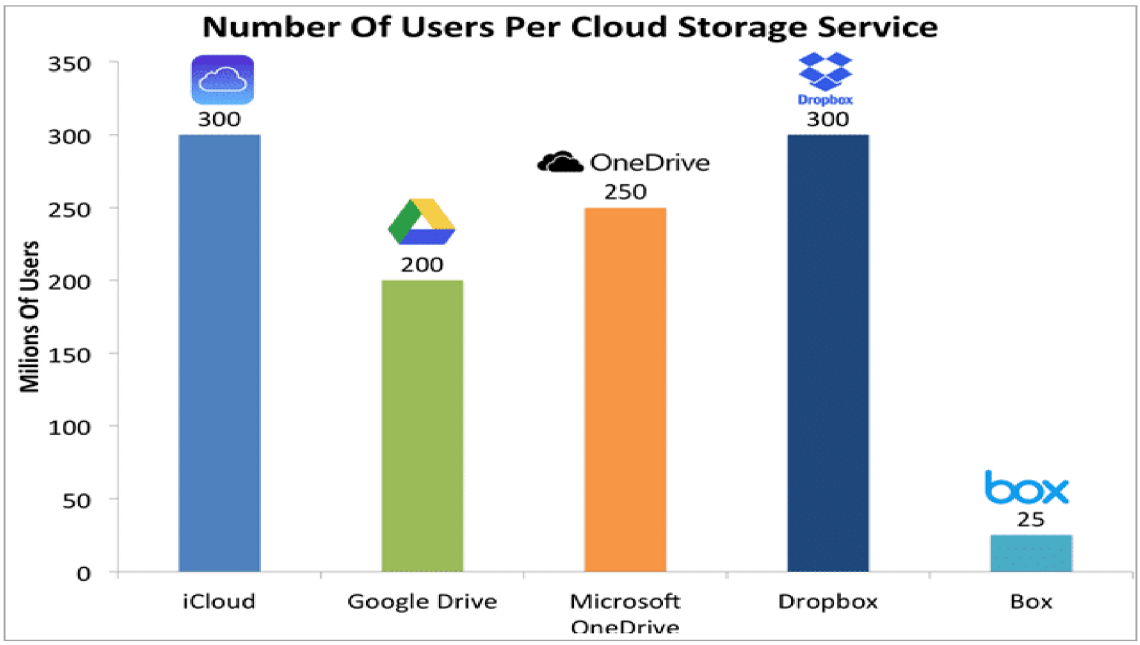
Tato kapitola se zabývá současnými trendy na poli paměťových médií a služeb a snaží se také nastínit směr, kterým se potencionální vývoj může ubírat. Informace jsou čerpány ze serverů zabývajícími se zpravodajstvím ze světa hardwaru.

4.1 Cloudové úložiště

Ukládaní dat pomocí sítí se stává stále větším trendem. Cloudové služby přináší uživatelům vetší pohodlí v přenosnosti dat a také rozšiřují možnosti týmové spolupráce. Obecně můžeme rozdělit cloudové úložiště do tří typů: veřejné, privátní a hybridní (kombinace privátního a veřejného). Následující podkapitoly rozeberou jednotlivé typy podrobněji. [75]

4.1.1 Veřejný cloud

Jde o službu, která je nabízena zákazníkům formou uložení dat na straně poskytovatele v datových centrech a dostupná pomocí veřejné sítě internetu. Často je služba přístupná na široké paletě zařízení, od počítačů až například po chytré televize. [75] Datová centra často využívají složitou infrastrukturu, která zajišťuje neustálou přístupnost a spolehlivost dat. Data jsou často zálohována určitým typem RAID. Servery jsou připojeny na záložní zdroje UPS, které zajišťují chod i v případě nečekaného výpadku napětí. Při delším výpadku se využívají dieselagregáty. Serverové místnosti jsou vybaveny sofistikovaným chladícím systémem. Na úroveň zabezpečení je dbáno, jak z hlediska fyzického, tak i formou šifrování dat, nebo například využitím přihlašování pomocí dvoufázové autorizace (přihlášení do aplikace + potvrzení SMS pinu, atd., …). Dnes existuje mnoho společností, které nabízí využití služeb veřejného cloudu. Graf č. 4 zobrazuje nejznámější veřejné cloudy a také zobrazuje počet uživatelů, které tyto služby využívají. Některé cloudy nabízí pár GB prostoru zcela zdarma, při rozšíření kapacity jsou placené měsíčními tarify.



Graf č. 4 Počet uživatelů (v mil.) u vybraných veřejných cloudů
Zdroj: https://www.softwaretestinghelp.com/cloud-storage-providers/

4.1.2 Privátní cloud

V tomto případě je infrastruktura vlastněna zákazníkem, či je zprostředkována třetí stranou a vyhrazena pouze jednotlivci. Jde o mnohem bezpečnější variantu z hlediska úniku dat. Zákazník si vymezuje sám, kdo bude mít přístup do cloudu a rozhoduje o zabezpečení a provozu svými prostředky. Nevýhodou je samostatná správa serverů a také vyšší cena. V LAN sítích domácností a menších organizací je často využíváno jako síťové uložiště NAS. [75]

4.2 Paměťové karty SD Express

Společnost Phison vydala tento rok první SD kartu komunikující protokolem NVMe přes linku sběrnice PCIe (3.0). Tato karta využívá standardu SD Express 7.0, ten byl vydán sdružením SD Association (SDA) v roce 2018. SD express nabízí zpětnou kompatibilitu s předchozími SD standardy (při snížených rychlostech). Kapacity karet Phison jsou 256 – 512 GB, nabízí rychlost sekvenčního čtení až 870 MB/s a v případě zápisu až 740 MB/s. Paměťové buňky jsou tvořeny NAND metodou QLC. [76]

V roce 2020 sdružení SDA specifikovalo i standard SD Express 8.0, ten by měl využívat 2 linky PCIe (4.0) a oproti předchozí generaci by měl používat u paměťových karet jeden řádek pinů navíc. Tato vylepšení by mohla vést k teoretické přenosové rychlosti až 4 GB/s. Díky těmto vlastnostem by v budoucnu mohl být SD formát vhodný i pro nasazení v profesionálních fotoaparátech, či záznamů videa v 8K, kde v současné době konkuruje standard CFexpress. [76]

4.3 Nová technologie magnetických pásek

Jak bylo zmíněno v historické části práce, magnetické pásky jsou i v dnešní době hojně využívány jako archivační médium a jejich vývoj pokračuje i v současnosti. Příkladem může být společnost Fujifilm a IBM, které již 16 let spolupracují na vývoji magnetických pásků. Nový typ, který společnosti objevily, spočívá ve změně materiálu magnetické vrstvy. V současné době se využívá ferit barya, výzkumníci zjistili, že použití feritu stroncia může významně navýšit kapacity. Konkrétně na 1255 metrů pásky je možné u tohoto typu uložit 580 TB dat. Obr. 44 v pravé časti porovnává hustotu záznamů u obou materiálů feritů. [77]

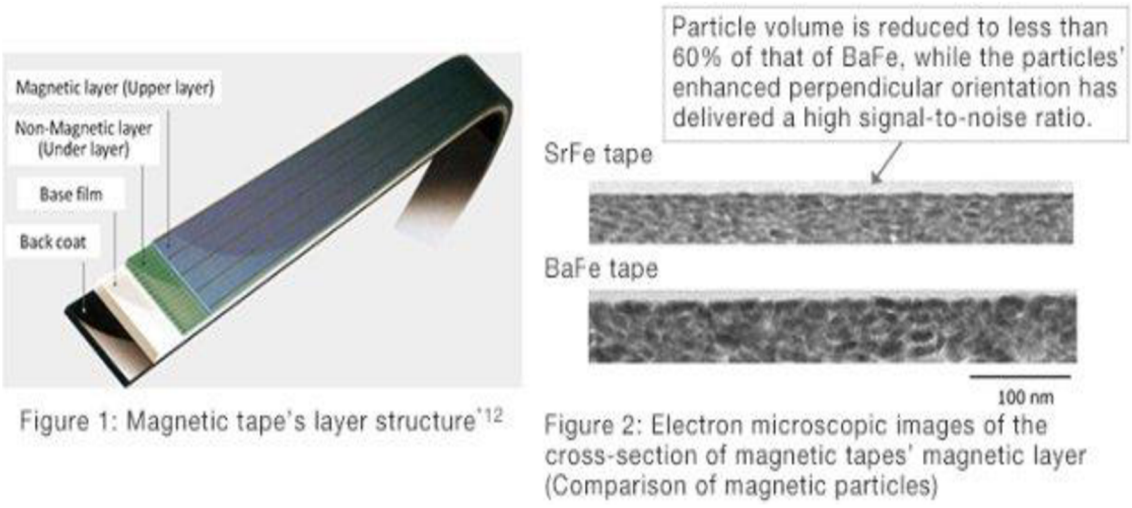


Figure 1: Magnetic tape's layer structure[12]

Figure 2: Electron microscopic images of the cross-section of magnetic tapes' magnetic layer (Comparison of magnetic particles)

Obr. 44 hustota záznamů u pásek typu SrFe a BaFe
Zdroj: [77]

4.4 HAMR a MAMR technologie pevných disků

Tyto dvě technologie a její vývoj budou v budoucí době pravděpodobně dost ovlivňovat trh s pevnými disky. Technologie HAMR a MAMR mají společný záměr, překonávat enormní kapacity pevných disků při zachování klasických formátů 3,5“. Jde tedy spíše o nasazení v datacentrech, než pro běžné uživatele. Spekulace jsou různé, ale do roku 2025 by měly vyjít disky s kapacitou 100 TB. Aktuální fáze testování je v reálném chodu u koncových vybraných zákazníků, jedná se samozřejmě o oříznuté kapacity. Pokud má technologie HDD vydržet a nebýt poražena konkurencí flash čipů s technologií PLC, musí být tyto HAMR/MAMR technologie úspěšné. [78]

- **HAMR** – (Heat-Assisted Magnetic Recording) tuto technologii se snaží vyvíjet společnost Seagate. HAMR využívá toho, že na každou z hlav je vestavěna miniaturní laserová dioda, která v době zápisu dokáže konkrétní místo na malý okamžik (řádově ns) zahřát na teplotu 600°C, je to z důvodu navýšení hustoty zápisu. Informace, která je zapsána, má danou kvalitu i polaritu. Společnost hledala vhodný materiál k tomuto účelu, je nutné aplikovat rychlé zahřátí i zchlazení a tento proces neustále opakovat. Využívá se tedy speciálně upravené sklo, nebo slitiny železa a platiny. Pro zvýšení rychlosti sekvenčního čtení/zápisu se Seagate snaží také testovat technologii Mach 2. Tato technologie využívá dvou aktuátorů na jeden pevný disk. [78] [79]

- **MAMR** – tuto technologii vyvíjí společnost Western Digital, snaží se o využití vysokofrekvenčního pole generovaného točivým oscilátorem, který je přidán do zápisové hlavy. Oscilátor a jeho magnetické vlny sníží koercivitu záznamového média. Menší koercivita dělá materiál magneticky měkčí. Není tedy nutné mít speciální materiál u daných ploten, takže technologie je cenově efektivnější a také spolehlivější oproti metodě HAMR. [78]

5 Závěr

Počítačový hardware se neustále vyvíjí směrem kupředu, aby dokázal zvládat požadavky moderního softwaru na trhu. Pro paměťové zařízení a paměťová média to není žádnou výjimkou. Jedním z cílů této práce bylo zachytit historický průběh vývoje paměťových zařízení. Vývoj prvních pamětí a počítačů byl odstartován druhou světovou válkou, kde tato zařízení sloužila převážně k vědeckým výpočtům. První mechanické paměti pro vstup programů měly kapacitu řádově pár slov, jako operační paměť se využívala magnetická bubnová paměť. Poruchovost byla poměrně velká a účinnost malá. Bylo zřejmé, že následující vývoj především u operačních pamětí vyžaduje jiný přístup. Hlavní důvod byl, že mechanický princip zvyšuje latence přístupu dat. Vznikla proto řada pokusů o vytvoření nových principů pamětí jako zmíněná paměť se zpožďovací linkou, či Williamsové trubice. Williamsova trubice byla první zcela elektrickou pamětí, její spolehlivost nebyla dobrá. Nicméně ve vývoji nastínila směr operačních pamětí k využívání čistě elektrických principů. Další nástupcem, který to úspěšně aplikoval, byly feritové paměti. Ty se udržely v počítačovém průmyslu do příchodu a rozšířením polovodičových pamětí. Tento typ by samozřejmě nevznikl bez vynálezu tranzistoru a technologie integrovaných obvodů, které jsou pro polovodičové paměti klíčové. Neustálé zmenšování komponent a zvyšovaní integrace prvků vedla až do bodu, kdy začaly vznikat počítače pro osobní využití. Polovodičové typy pamětí dnes dominují trhu, kromě tohoto principu se ovšem zachovaly i pevné disky a pro archivaci velice vhodné magnetické pásky. Optický princip je dnes víceméně na ústupu, vzhledem k rozšíření a popularitě streamovacích služeb pro video a zvuk. Diskety se již nevyužívají. Jako přenosná paměťová média se hojně využívají především USB flash disky a paměťové karty. Paměťové karty jsou velice vhodné především u mobilních zařízení. Rostoucím trendem se stává využití cloudových úložišť. Především pro jednoduché přenášení souborů mezi různými zařízeními a týmovou kolaboraci. Existuje zde ovšem vyšší riziko potencionálního úniku citlivých dat.

V této práci je také zmíněno porovnání pevných disků a disků SSD. V budoucích pár letech pravděpodobně bude rozhodnuto, zda inovativní technologie HAMR a

MAMR budou úspěšné a pevné disky nebudou vytlačeny z trhu, kvůli stále snižující ceně SSD disků. Na tomto příkladu je dobře vidět, že společnosti věnující se výrobě paměťových zařízení, musí neustále investovat do modernizace výrobních technologií a výzkumů, aby byly úspěšné. Technologie se vyvíjí rychlým krokem vpřed, proto je důležité sledovat inovace a trendy.

Tato bakalářská práce je především literární rešerší zdrojů zmíněných v použité literatuře. Kromě zachycení historického vývoje, by čtenář měl získat i přehled o jednotlivých principech a specifikacích, které zmíněné paměti využívají. To může být přínosné pro vhodný výběr a také styl zacházení s paměťovým médiem. Dnes je digitální uchování dat důležitou součástí moderní doby, proto by i běžný uživatel měl mít povědomí o jednotlivých principech.

6 Seznam použité literatury

[1] REDAKCE WIKISOFIA. Charles Babbage. Wikisofia [online]. Praha: Filozofická fakulta Univerzity Karlovy [cit. 03-01-2021]. ISSN 2336-5897. Dostupné z: https://wikisofia.cz/wiki/Charles_Babbage

[2] ZELENÝ, Jaroslav a Božena MANNOVÁ. Historie výpočetní techniky. Praha: Scientia, 2006.Stručné dějiny oborů. s. 26-29. ISBN 80-86960-04-8.

[3] PELIKÁN, Jaroslav. Von Neumannovo schéma [online]. Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, 1999 [cit. 03-01-2021]. Dostupné z: https://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/ARCHIT/TEXTY/VNEUM.HTML

[4] OLIVKA, Petr. Architektura počítačů [online]. Fakulta elektrotechniky a informatiky Ostrava, 2010 [cit. 03-01-2021] Dostupné z: https://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/archpoc.pdf

[5] Punch card. Computer Hope [online]. Salt Lake City, Utah, c2021, 08.02.2020 [cit. 03-01-2021]. Dostupné z: https://www.computerhope.com/jargon/p/punccard.htm

[6] KRIŠTOUFEK, Karel. Technika počítačů II: učebnice pro předmět Technika počítačů vyučovaná na středních průmyslových školách ve 4. ročníku studia oboru 26-60-6 Elektronická a sdělovací zařízení, AB: Elektronické počítačové systémy. Praha: SNTL, 1989. s. 154-163.

[7] Přispěvatelé Wikipedie. Magnetická páska [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2019, 24. 09. 2019 [cit. 31-01-2021]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A1_p%C3%A1ska

[8] MUDRUŇKOVÁ, Anna. Elektrotechnické materiály I [online]. Nové Město: VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křižíka, 2016 [cit. 31-01-2021]. ISBN 978-80-88058-90-8. Dostupné z: https://publi.cz/books/353/07.html

[9] ADAMEC, Stanislav a Jan EHLEMAN. Základy zpracování dat a vytváření automatizovaných systémů řízení (ASŘ): celostátní vysokoškolská učebnice pro stud. fak. ekonomických studijního oboru 62-50-8 Automatizované systémy řízení v ekonomice. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, s. 58-62. Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:5771a440-97e1-11e6-89b1-5ef3fc9ae867

[10] SAMEK, Miloslav. Samočinné počítače. Praha: SNTL, 1961. Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:59a64ac0-1e1e-11e4-8f64-005056827e52

[11] Wikipedia contributors. Delay line memory [online]. Wikipedia, The Free Encyclopedia, c2021, 29.12.2020. [cit.22-02-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Delay_line_memory

[12] Computer History Museum. Williams-Kilburn Tubes [online]. California [cit. 23-02-2021]. Dostupné z: https://www.computerhistory.org/revolution/memory-storage/8/308

[13] TRONNER, Pavel. Jak se počítače naučily pamatovat: díky trojici Eckert, Williams a Kilburn. Williams-Kilburnova trubice. Živě.cz [online]. Praha, 10.3.2017. [cit. 23-02-2021]. Dostupné z: https://www.zive.cz/clanky/jak-se-pocitace-naucily-pamatovat-diky-trojici-eckert-williams-a-kilburn/williams-kilburnova-trubice-pamet-v-crt-obrazovce/sc-3-a-186499-ch-106441/default.aspx#articleStart

[14] Wikipedia contributors. Williams tube [online]. Wikipedia, The Free Encyclopedia, c2021, 5.12.2020. [cit.24-02-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Williams_tube

[15] The Williams-tube electrostatic storage device. Computer Museum [online]. The Netherlands: University of Amsterdam, 2017 [cit. 24-02-2021]. Dostupné z: https://ub.fnwi.uva.nl/computermuseum/williamstube.html

[16] Wikipedia contributors. Magnetic-core memory [online]. Wikipedia, The Free Encyclopedia, c2021, 29.1.2021 [cit.01-03-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic-core_memory

[17] Computer History Museum. Magnetic Core Memory [online]. California [cit. 1-03-2021]. Dostupné z: https://www.computerhistory.org/revolution/memory-storage/8/253

[18] BLATNÝ, Jan. Číslicové počítače. Praha: SNTL, 1980. s. 238-251 Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:added230-8ae2-11e3-aa9f-5ef3fc9ae867

[19] ZAVORAL, Petr. Zákony informatiky: Jak Kryder odsunul Moora do vedlejší role. ITbiz [online]. Praha: Nitemedia, 22.05.2019 [cit. 04-09-2020]. Dostupné z: https://www.itbiz.cz/clanky/zakony-informatiky-jak-kryder-odsunul-moora-do-vedlejsi-role-5

[20] VÁCLAVÍK, Lukáš. IBM před 60 lety představilo první pevný disk: Vážil tunu a neuložil ani 5 MB. Cnews.cz [online]. Praha: Internet Info, 19.9.2016 [cit. 13-07-2020]. Dostupné z: https://www.cnews.cz/ibm-pred-60-lety-predstavilo-prvni-pevny-disk-vazil-tunu-a-neulozil-ani-5-mb/

[21] Computer History Museum. First commercial hard disk drive shipped [online]. California [cit. 13-07-2020]. Dostupné z: https://www.computerhistory.org/storageengine/first-commercial-hard-disk-drive-shipped/

[22] Computer History Museum. 1951: Rabinow patents magnetic disk data storage [online]. California [cit. 13-07-2020]. Dostupné z: https://www.computerhistory.org/storageengine/rabinow-patents-magnetic-disk-data-storage/

[23] A. S. Hoagland. History of magnetic disk storage based on perpendicular magnetic recording [online]. IEEE Transactions on Magnetics. vol. 39. no. 4. str. 1871-1875. doi: 10.1109/TMAG.2003.813786. 2003. [cit. 20-07-2020] Dostupné z: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1211152

[24] IBM 1301 disk storage unit. IBM: United States [online]. © 2020 [cit. 20-07-2020]. Dostupné z: https://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/storage/storage_1301.html

[25] IBM 1311 disk storage drive. IBM: United States [online]. © 2020 [cit. 05-08-2020]. Dostupné z: https://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/storage/storage_1311.html

[26] COCILOVA Alex a KREUZIGER Petr. Stručná historie pevných disků - 1. díl. PCWorld [online]. Praha: Internet Info DG, a.s , 30.09.13 [cit. 05-08-2020]. Dostupné z: https://pcworld.cz/hardware/strucna-historie-pevnych-disku-1-dil-46634

[27] VÍTEK, Jan. HDD ještě nekončí: co mají za sebou a před sebou?. Svět Hardware [online]. Brno: oXyShop s.r.o. ,16.6.2015 [cit. 19-08-2020]. Dostupné z: https://www.svethardware.cz/hdd-jeste-nekonci-co-maji-za-sebou-a-pred-sebou/40622

[28] MUELLER, Scott. Osobní počítač: upgrade, servis a opravy. Brno: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-166-5. Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:17003610-12c3-11e4-8413-5ef3fc9ae867

[29] WHITE, Ron a Timothy Edward DOWNS. Jak fungují počítače: [ilustrovaná encyklopedie]. Praha: Softpress, c2003. s. 166-167. ISBN 80-86497-48-8. Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:5514f850-83e3-11e4-889a-5ef3fc9ae867

[30] Wikipedia contributors. Zip Drive. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2003- [cit. 11-04-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Zip_drive

[31] BARTOŇ, Martin. Vypalování CD - hardware. Praha: Mobil Media, c2001. ISBN 80-86593-05-3. Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:1e745260-2d8b-11e2-89c9-005056827e51

[32] JANČÍK, David. Kompaktní Disky. Itnetwork.cz [online]. Praha, ©2021 [cit. 08-03-2021]. ISSN 2464-6326. Dostupné z: https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/hardware/tvy-cd-kompaktni-disky

[33] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Vývoj optických pamětí: od DVD k Blu-ray. Root.cz [online]. Praha: Internet Info, s.r.o. , 11.09.2008 [cit. 09-03-2021]. ISSN: 1212-8309. Dostupné z: https://www.root.cz/clanky/vyvoj-optickych-pameti-od-dvd-k-blu-ray/

[34] JANČÍK, David. Digital Versatile (Video) Disc. Itnetwork.cz [online]. Praha, ©2021 [cit. 08-03-2021]. ISSN 2464-6326. Dostupné z: https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/hardware/tvy-dvd-digital-versatile-disc

[35] Wikipedia contributors. DVD. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2004- [cit. 11-04-2021]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/DVD

[36] VALENTA, Jan. Integrovaný obvod – základní kámen informační revoluce: Cena "za IC z TI pro IT." Vesmír [online]. Praha: Vesmír, 2001, 5.1.2001 [cit. 26-05-2021]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2001/cislo-1/integrovany-obvod-ndash-zakladni-kamen-informacni-revoluce.html

[37] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Integrované obvody. Encyklopedie fyziky [online]. 2006 – 2021 [cit. 27-05-2021]. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/351-integrovane-obvody

[38] Wikipedia contributors. RAID. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 17.08.2020 [cit. 04-09-2020]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=RAID&oldid=18931503

[39] Wikipedia contributors. Semiconductor memory. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2004- [cit. 26-05-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Semiconductor_memory

[40] Wikipedia contributors. Read-only memory. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 28-05-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Read-only_memory

[41] Computer History Museum. 1965: Semiconductor read-only-memory chips appear [online]. California [cit. 15-06-2021]. Dostupné z: https://www.computerhistory.org/siliconengine/semiconductor-read-only-memory-chips-appear/

[42] Computer History Museum. 1971: Reusable programmable rom introduces iterative design flexibility [online]. California [cit. 15-06-2021]. Dostupné z: https://www.computerhistory.org/siliconengine/reusable-programmable-rom-introduces-iterative-design-flexibility/

[43] PELIKÁN, Jaroslav. Vnitřní paměti [online]. Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, 1999 [cit. 15-06-2021]. Dostupné z: https://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/ARCHIT/TEXTY/INTPAM.HTML

[44] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Čtyřicet let od vzniku mžikových pamětí (Flash). Root.cz [online]. Praha: Internet Info, s.r.o. , 14.04.2020 [cit. 15-06-2021]. ISSN: 1212-8309. Dostupné z: https://www.root.cz/clanky/ctyricet-let-od-vzniku-mzikovych-pameti-flash/#k05

[45] ANTOŠOVÁ, Marcela a Vratislav DAVÍDEK. Číslicová technika: [učebnice]. České Budějovice: Kopp, 2003, dotisk 1. vyd, s. 212-213. ISBN 80-7232-207-9. Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:f2df31c0-3307-11e6-a344-5ef3fc9ae867

[46] KLÍMEK, Adolf a Josef ZÍKA. Polovodičové součástky a mikroelektronické struktury. Praha: SNTL, 1989, s. 84. Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:997ad410-831f-11ea-9d07-005056822549

[47] Intel a paměti Flash. České vysoké učení technické v Praze [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2003 [cit. 23-06-2021]. Dostupné z: http://noel.feld.cvut.cz/vyu/scs/prezentace2003/Flash-Intel/

[48] PAVLIS, Jakub. Technologie SSD - SLC, TLC i MLC - vyšší kapacita za méně peněz má i svou stinnou stránku. Notebook.cz [online]. 29.01.2014 [cit. 23-06-2021]. Dostupné z: https://notebook.cz/clanky/technologie/2014/technologie-ssd-tlc-vs-mlc

[49] Simms International PLC. 3D NAND – An Overview [online]. United Kingdom, © 2021 [23-06-2021]. Dostupné z: https://www.simms.co.uk/tech-talk/3d-nand-overview/

[50] MICHELONI, Rino a Luca CRIPPA. Solid State Drives (SSDs). Solid-State-Drives (SSDs) Modeling: Simulation Tools & Strategies [online]. 2017. Springer, Cham, s. 1-17 [cit. 02-07-2021]. ISBN 978-3-319-51735-3. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51735-3_1

[51] JAKUBOVÁ, Veronika. Otestovali jsme SSD disky SATA a NVMe. Jak velký je mezi nimi rozdíl?. MasterDC blog [online]. Brno, 01.04.2021 [cit. 02-07-2021]. Dostupné z: https://www.master.cz/blog/ssd-disky-sata-nvme-rozdily-ve-vykonu/

[52] Datart rádce .SSD VS HDD: ZVOLÍTE RYCHLOST, KAPACITU, NEBO SNAD OBOJÍ? Datart.cz [online]. Zlín, 22.04.2019 [cit. 02-07-2021]. Dostupné z: https://www.datart.cz/novinky/radce/ssd-vs-hdd-zvolite-rychlost-kapacitu-nebo-oboji

[53] Wikipedia contributors. USB flash drive. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, , 2003 [cit. 19-07-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/USB_flash_drive

[54] Universal Serial Bus (USB). Techopedia [online]. Alberta, Canada, © 2021 [cit. 19-07-2021]. Dostupné z: https://www.techopedia.com/definition/2320/universal-serial-bus-usb

[55] PALKO, Lukáš. Universal Serial Bus. Automa: časopis pro automatizační techniku [online]. Děčín, 2006(7) [cit. 19-07-2021]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/universal-serial-bus-2006_07_31232_728/

[56] VÁCLAVÍK, Lukáš. Marketingový fail jménem USB aneb když se tvůrci nedohodnou na názvu ani konektoru. Živě.cz [online]. Praha, 14.9.2020 [cit. 26-07-2021]. Dostupné z: https://www.zive.cz/clanky/marketingovy-fail-jmenem-usb-aneb-kdyz-se-tvurci-nedohodnou-na-nazvu-ani-konektoru/sc-3-a-205893/default.aspx

[57] ŠKOPEK, Pavel. Techbox: Paměťové karty nafouknou kapacitu vašeho telefonu. Mobilenet.cz [online]. Praha: 24net, 10.05.2013 [cit. 26-07-2021]. Dostupné z: https://mobilenet.cz/clanky/techbox-pametove-karty-nafouknou-kapacitu-vaseho-telefonu-11910

[58] Speed Class. SD Association [online]. California [cit. 26-07-2021]. Dostupné z: https://www.sdcard.org/developers/sd-standard-overview/speed-class/

[59] Slovník: Blu-ray. Svět Hardware [online]. Brno: oXyShop s.r.o. [cit. 29-07-2021]. Dostupné z: https://www.svethardware.cz/slovnik/b#blu-ray

[60] Wikipedia contributors. Blu-ray. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, , 2003 [cit. 29-07-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Blu-ray#Drive_speeds

[61] DEMBOWSKI, Klaus. Mistrovství v hardware. Brno: Computer Press, 2009. str. 163-169. ISBN 978-80-251-2310-2.

[62] VÍTEK, Jan a Petr STRÁNSKÝ. Funkčnost, rozhraní a technologie pevných disků: Fyzická struktura. Svět Hardware [online]. Brno: oXyShop s.r.o. , 20.1.2009 [cit. 02-09-2020]. Dostupné z: https://www.svethardware.cz/funkcnost-rozhrani-a-technologie-pevnych-disku/16088

[63] KOŠŤÁL, Lubor a Milada ŠKORPILOVÁ. Magnetické paměti a mechaniky: Geometrie pevného disku [online]. Střední škola informačních technologií a sociální péče, Brno, Purkyňova 97. , 2012 [cit. 02-09-2020]. Dostupné z: https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/6907/mod_resource/content/1/Magnetick%C3%A9%20pam%C4%9Bti.pdf

[64] Wikipedia contributors. Serial ATA. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 21. 07. 2020. [cit. 03-09-2021]. Dostupné: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Serial_ATA&oldid=18860906

[65] Wikipedia contributors. Serial Attached SCSI. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 16.08.2020 [cit. 03-09-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Serial_Attached_SCSI&oldid=973245234

[66] PETŘÍČEK, Lukáš. Vývoj modulů DRAM a operační paměti. Svět Hardware [online]. Brno: oXyShop s.r.o. , 16.10.2006 [cit. 01-08-2021]. Dostupné z: https://www.svethardware.cz/vyvoj-modulu-dram-a-operacni-pameti/15115

[67] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Statické a dynamické paměti. Root.cz [online]. Praha: Internet Info, s.r.o. , 12. 6. 2008 [cit. 01-08-2021]. ISSN: 1212-8309. Dostupné z: https://www.root.cz/clanky/staticke-a-dynamicke-pameti/

[68] Wikipedia contributors. SRAM. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2008- [cit. 01-08-2021]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/SRAM

[69] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Preferie: Práce se synchronními a asynchronními DRAM. Root.cz [online]. Praha: Internet Info, s.r.o. , 19. 6. 2008 [cit. 01-08-2021]. ISSN: 1212-8309. Dostupné z: https://www.root.cz/clanky/prace-se-synchronnimi-a-asynchronnimi-dram/

[70] DDR vs DDR2. Diffen.com. Diffen LLC, n.d. , 2014 [cit. 01-08-2021]. Dostupné z: https://www.diffen.com/difference/DDR_vs_DDR2

[71] Wikipedia contributors. DDR3 SDRAM. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2005- [cit. 01-08-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/DDR3_SDRAM

[72] Wikipedia contributors. DDR4 SDRAM. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2008- [cit. 01-08-2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/DDR4_SDRAM

[73] OLŠAN, Jan. Co přinesou paměti DDR5?: Zlepšení pro výkon, až 8400 MHz, možná i ECC pro všechny. Cnews.cz [online]. Praha: Internet Info, 06.04.2021 [cit. 01-08-2020]. Dostupné z: https://www.cnews.cz/pameti-ddr5-detaily-az-8400mhz-zlepseni-vykon-ochrana-dat-on-die-ecc

[74] OLŠAN, Jan. PC s pamětí DDR5 mohou mít atypické kapacity RAM 24, 48, 96 GB: Samsung chystá 24Gb čipy. Cnews.cz [online]. Praha: Internet Info, 02.08.2021 [cit. 01-08-2020]. Dostupné z: https://www.cnews.cz/pameti-ddr5-umozni-atypicke-kapacity-24gb-48gb-96gb-samsung-chysta-24gb-cipy/

[75] PŘISTÁL, Aleš. Jak rozeznávat hlavní typy cloudových služeb?. CHIP [online]. Praha: Burda International CZ s.r.o. , 08.11.2015 [cit. 09-08-2021]. ISSN 1210-0684. Dostupné z: https://www.chip.cz/novinky/jak-rozeznavat-hlavni-typy-cloudovych-sluzeb/

[76] VÁCLAVÍK, Lukáš. Na trh zamíří první paměťová karta SD Express: Rychlost přibližuje špičkovým SSD. Živě.cz [online]. Praha, 26.02.2021 [cit. 09-08-2021]. Dostupné z: https://www.zive.cz/clanky/na-trh-zamiri-prvni-pametova-karta-sd-express-rychlost-se-priblizuje-spickovym-ssd/sc-3-a-208735/default.aspx

[77] ŠURKALA, Milan. Fujifilm spolu s IBM vyvinul magnetickou pásku s kapacitou 580 TB. Svět Hardware [online]. Brno: oXyShop s.r.o. , 19.12.2020 [cit. 09-08-2021]. Dostupné z: https://www.svethardware.cz/fujifilm-spolu-s-ibm-vyvinul-magnetickou-pasku-s-kapacitou-580-tb/53887

[78] DOUPAL, František. HAMR nebo MAMR? Aneb bitva o příští generaci HDD. Reseller Magazine [online]. Praha: DCD Publishing s.r.o., 12.02.2019 [cit. 03-09-2020]. Dostupné z:https://www.rmol.cz/novinky/hamr-nebo-mamr-aneb-bitva-o-pristi-generaci-hdd

[79] JAVŮREK, Karel. První disky s technologií HAMR jsou na trhu: Seagate prodává 20TB modely. Živě.cz [online]. Praha, 25.01.2021 [cit. 09-08-2021]. Dostupné z: https://www.zive.cz/clanky/prvni-disky-stechnologii-hamr-jsou-na-trhu-seagate-prodava-20tb-modely/sc-3-a-208106/default.aspx

[80] SCHREIBER, Manuel. Chip 12/2010: H-HDD: Nová generace hybridních pevných disků. CHIP [online]. Praha: BURDA INTERNATIONAL CZ, 1.12.2010 [cit.03-09-2020]. ISSN 1210-0684. Dostupné z: https://www.chip.cz/novinky/trendy/nova-generace-hybridnich-pevnych-disku/

[81] VÍTEK, Jan a Petr STRÁNSKÝ. Funkčnost, rozhraní a technologie pevných disků: Fyzická struktura. In: Svět Hardware [online]. Brno: oXyShop s.r.o., 20.1.2009 [cit.02-09-2020]. Dostupné z: https://www.svethardware.cz/funkcnost-rozhrani-a-technologie-pevnych-disku/16088

[82] Application Performance Class. SD Association [online]. California [cit. 12-08-2021]. Dostupné z: https://www.sdcard.org/developers/sd-standard-overview/application-performance-class/

zadání práce:

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu

Zadání bakalářské práce

Autor:	**Tomáš Češka**
Studium:	I1800161
Studijní program:	B1802 Aplikovaná informatika
Studijní obor:	Aplikovaná informatika
Název bakalářské práce:	**Paměti a paměťová média**
Název bakalářské práce AJ:	Memories and Storage Media

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Cíle práce:

Podat podrobný přehled počítačových pamětí a paměťových médií pro uchovávání dat. Zaměřit se jednak na jejich historický vývoj, ale i na možné trendy jejich vývoje do budoucnosti. Porovnat jednotlivé typy pamětí a paměťových médií z hlediska jejich vybraných parametrů, použitelnosti a dalších důležitých hledisek. Zdůraznit nejdůležitější inovace ve směru vývoje pamětí a paměťových médií, případně použít ilustrativní příklady.

Literatura bude doporučena zadavatelem. Nutností je znalost anglického jazyka.

Garantující pracoviště:	Katedra informačních technologií, Fakulta informatiky a managementu
Vedoucí práce:	prof. RNDr. Peter Mikulecký, Ph.D.
Datum zadání závěrečné práce:	21.10.2019