Forenzika datotečnih sustava

Luka Ruklić
Predrag Pale

Second hand disks

NEWS

Survey: 40% of hard drives bought on eBay hold personal, corporate data

„A New York computer forensics firm found that 40% of the hard disk drives it recently purchased in bulk orders on eBay contained personal, private and sensitive information."

(Computer World, 2009)

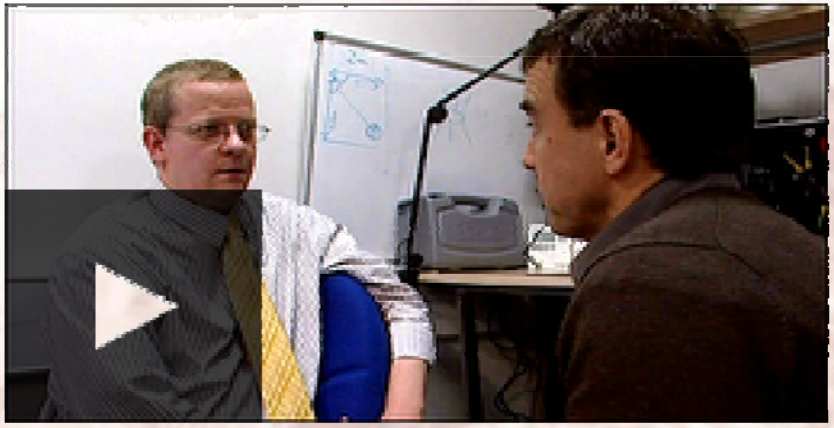
http://www.computerworld.com/article/2530795/data-center/survey--40--of-hard-drives-bought-on-ebay-hold-personal--corporate-data.html

Thrown away hard disks

Missile data found on hard drives

Sensitive information for shooting down intercontinental missiles as well as bank details and NHS records was found on old computers, researchers say.

Of 300 hard disks bought randomly at computer fairs and an online auction site, 34% still held personal data.



Prof Andrew Blyth said he found pictures of someone with a gun and also pornography

„Details of test launch procedures for the THAAD (Terminal High Altitude Area Defense) ground-to-air missile defense system were found on a disk bought on eBay."

(BBC News, 2009)

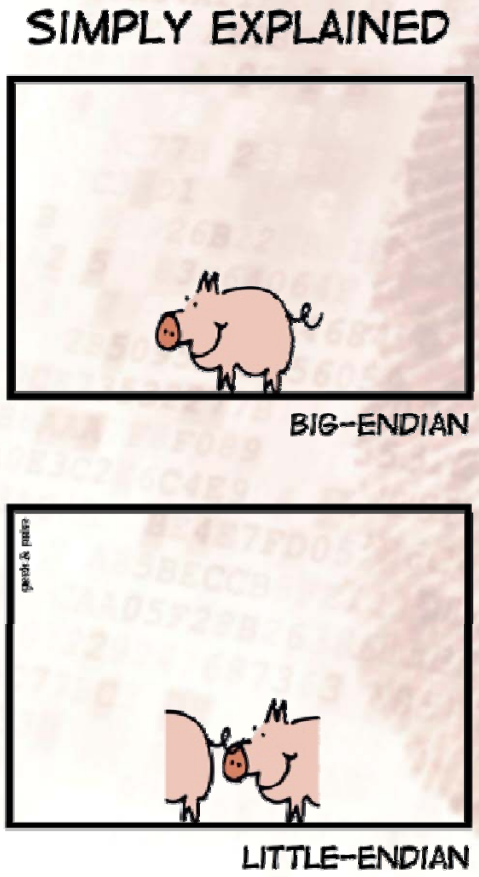
Ciljevi ovog predavanja

- Cilj ovog predavanja NIJE
  - naučiti studente kako koristiti moderne forenzičke softverske alate i metode
    - iako će i oni biti spomenuti
- Cilj je
  - pokazati forenziku na **najosnovnijoj razini**
  - te dati uvid kako **datotečni sustavi funkcioniraju**,
  - jer to je ujedno i **temelj** svakog naprednijeg forenzičkog alata
- U sklopu ovog predavanja
  - obradit će se **osnovni koncepti** najpopularnijih datotečnih sustava
  - čime će studenti steći potrebno znanje
    za nastavak samostalnog istraživanja teme o datotečnim sustavima

Preduvjeti za razumijevanje

- Student mora poznavati pretvaranje vrijednosti između dekadskog, heksadekadskog i binarnog brojevnog sustava
  - gradivo kolegija Digitalna logika

- Razlikovati
  - *Big-endian*
    - *"network byte order"*
    - *2015 = 0x07 0xdf*
  - *Little-endian*
    - *microprocessors*
    - *Intel*
    - *2015 = 0xdf 0x07*



Picture taken from:
geekandpoke.typepad.com/.a/6a00d8341d3df553ef01543533e604970c-pi

Datotečni sustav

- U **fokusu** računalne forenzike nalazi se ***trajna*** memorija računala
  - koja **čuva** podatke i **nakon gašenja** računala
    - tipično: **diskovi**, memorijske kartice, USB drive, …

- Kako bi računalo moglo upravljati memorijom i prepoznati značenje svakog pojedinog bita
  - svaka trajna memorija mora biti oblikovana (engl. *format)*
  - *u DATOTEČNI SUSTAV*

- Prilikom analize datotečnog sustava
  - najčešći ciljevi su **pronaći** datoteke,
  - **vratiti** obrisane datoteke i
  - **prepoznati** sakrivene podatke

Što je datotečni sustav

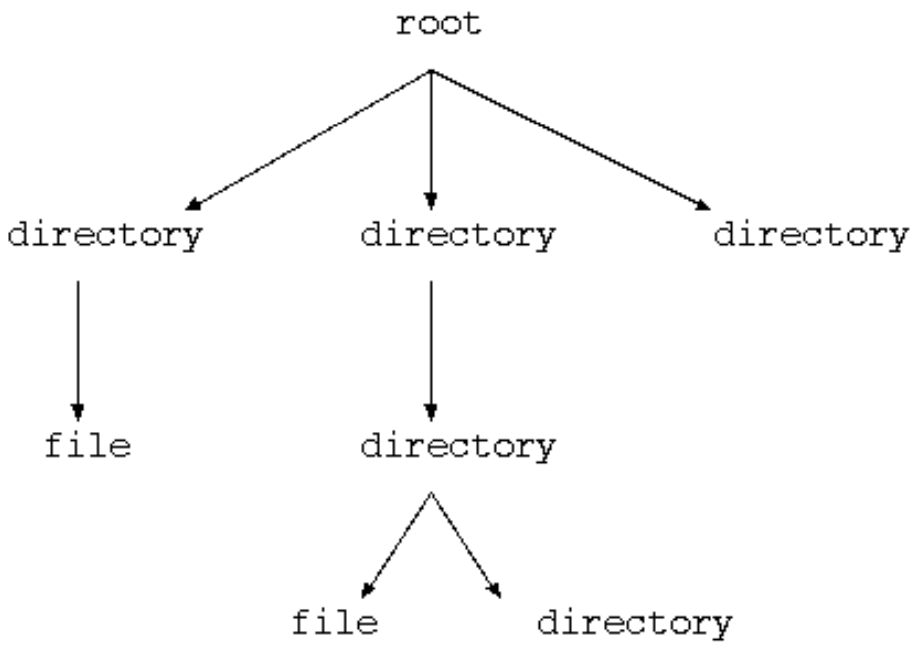
- **Datotečni sustav** je
  - **Apstrakcija**, pojam
  - organizacijska **shema** za trajne memorije
  - napravljena **za potrebe**
    - organiziranja, spremanja i dohvaćanja podataka
  - **omogućuje** računalu rad s datotekama/pdoatcima
  - danas je uglavnom **hijerarhijski**/stablast

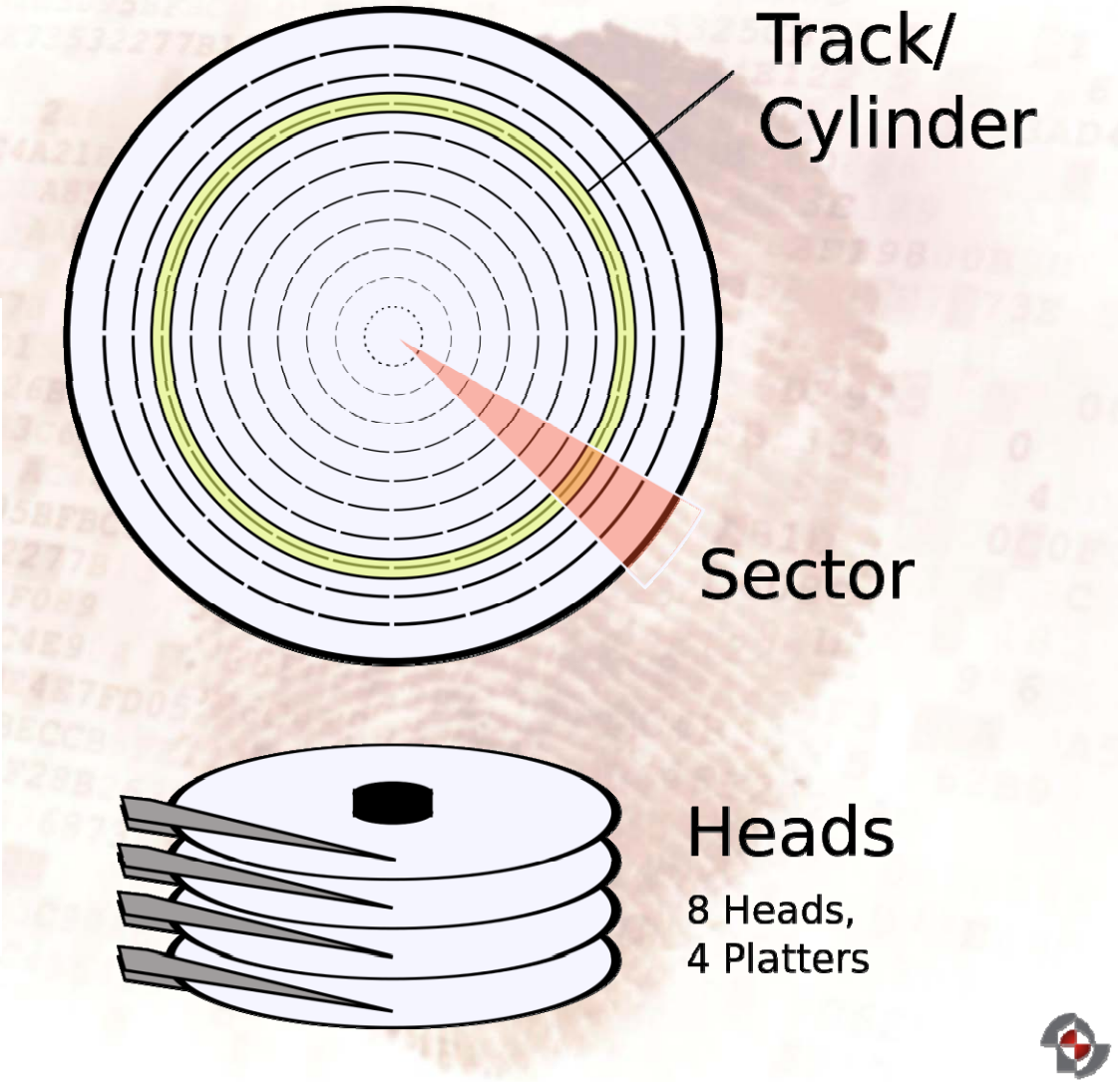
Kako bi mogao izgledati datotečni sustav?

- Sekvencijalni datotečni sustav
- Tipičan za neke (sekvencijalne) medije:

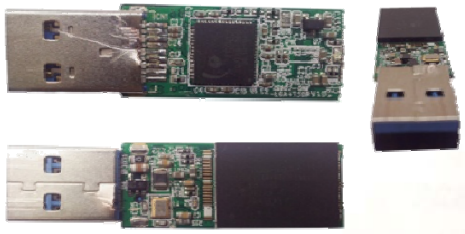
Slučajni pristup (random access)

- ali medij je ipak i dalje djelomično sekvencijalan
- no, omogućuje
  - Hijerarhijski datotečni sustav

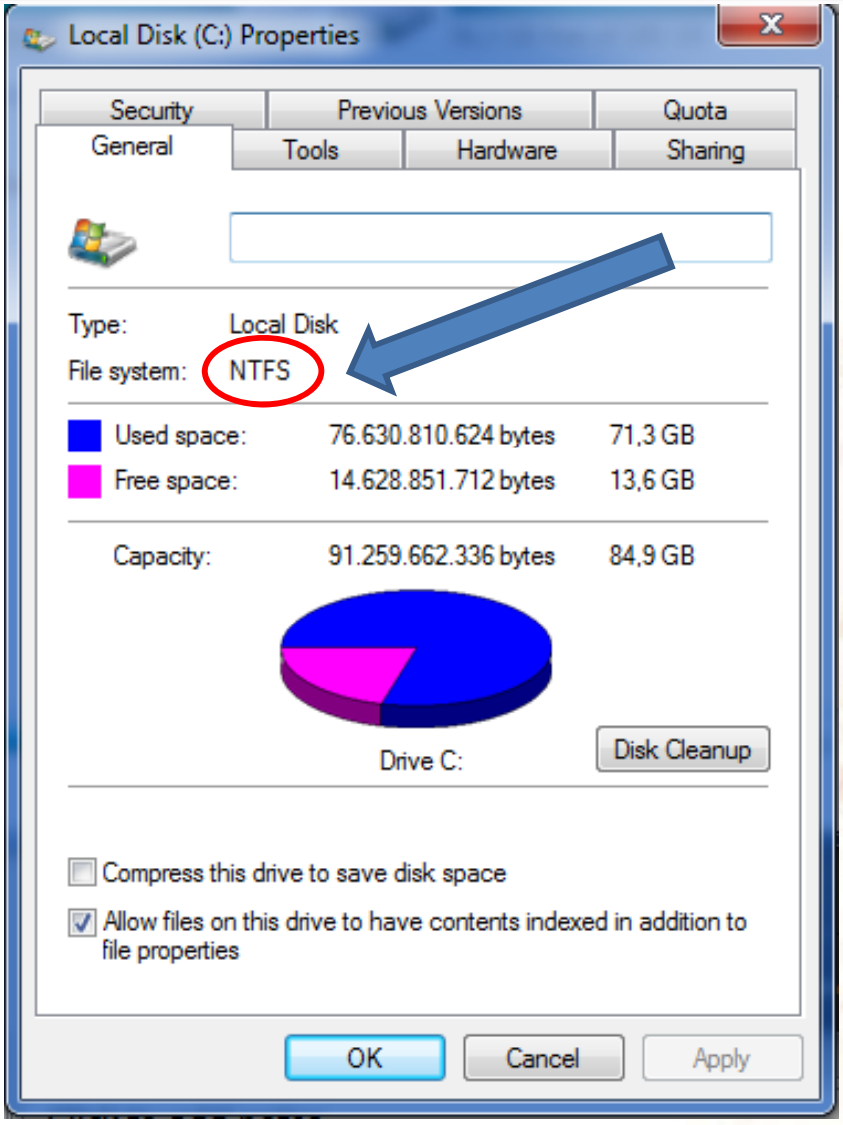


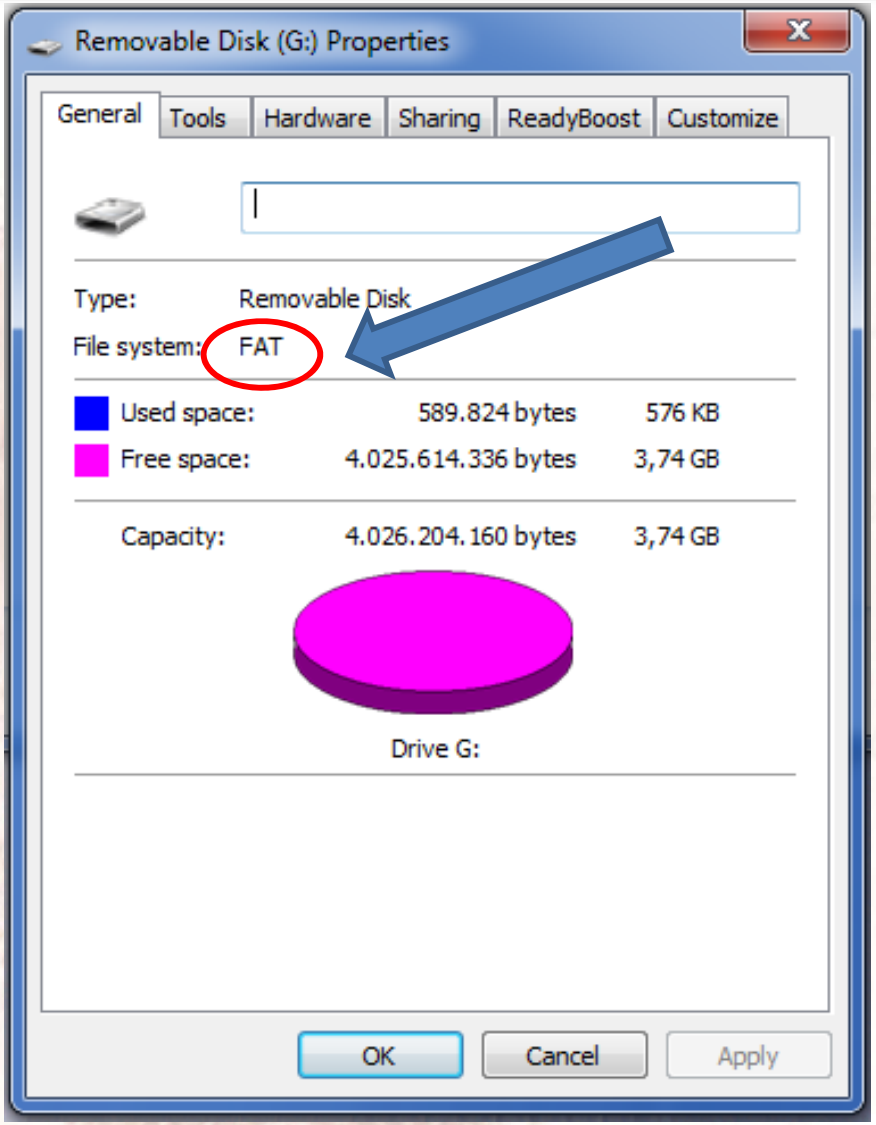


Datotečni sustav je neovisan o uređaju



Različite vrste datotečnih sustava





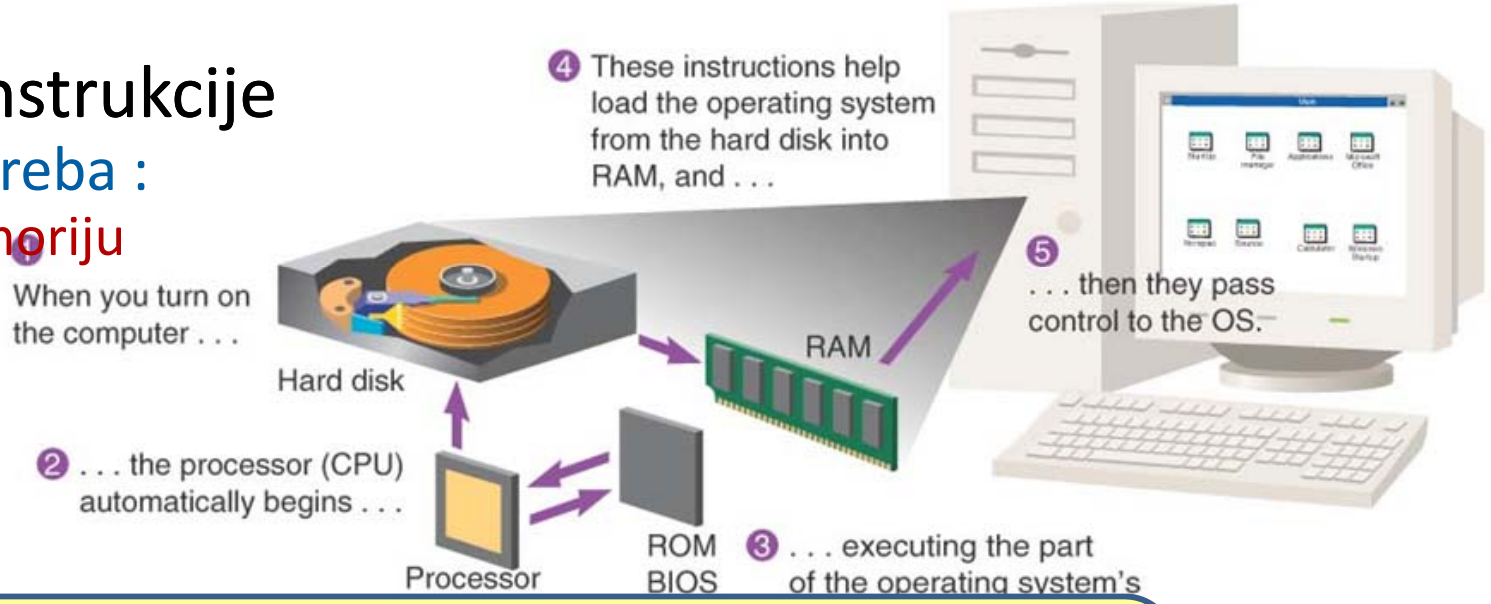
Različita **svojstva** i fizički **raspored**

Najčešće korišteni datotečni sustavi

- Najčešći:
  - Windows: FAT12, FAT16, FAT32, exFAT, NTFS
  - UNIX: ext, ext2, ext3, ext4
- ostali
  - HFS, HFS+ (Mac OS)
  - ISO9660, UDF (CD/DVD)
  - JFS, ReiserFS, XFS, UFS
  - Google File System, Hadoop Distributed File System
  - ... i mnogi drugi

Pokretanje računala

- Kada se računalo pokreće,
- obično traži pristup nekoj vrsti trajne memorije
  - najčešće tvrdom disku, no može i
    - prijenosna memorija, CD, DVD
- s koje čita
  te traži daljnje instrukcije
  - aplikaciju koju treba :
    - učitati u memoriju
    - i pokrenuti

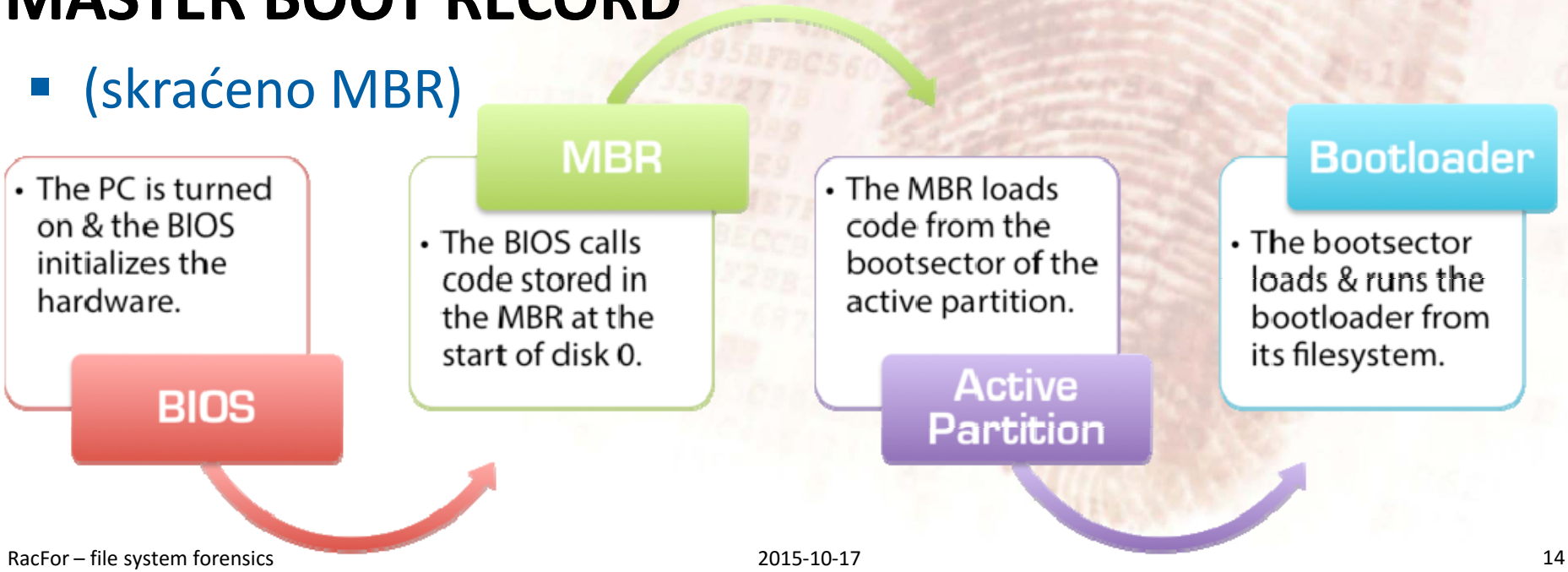


- No kako računalo zna
  kojim je datotečnim sustavom oblikovana memorija?
- Gdje da traži upute o pokretanju?

Organizacija diska

- Radi bolje organizacije i lakšeg upravljanja, svaka memorija je podijeljena na **SEKTORE**
  - memorijske skupine od 512 bajtova

- U prvom fizičkom sektoru memorije računalo očekuje **MASTER BOOT RECORD**
  - (skraćeno MBR)



MBR = Master Boot Record

MBR ima 512 bajta, a sastoji se od tri dijela:

1. Bootstrap **kod**, 446 bajta
2. Tablica s **particijama**, 4 * 16 bajta = 64 bajta
3. **Potpis**/Magični broj, 2 bajta 0x**55** 0x**AA**

This diagram is NOT proportional!

1 Bootstrap kod

- **izvršivi kod** (program) čiji je zadatak
  1. **pronaći** aktivnu particiju
     - skeniranjem particijskih tablica,
  2. **pročitati** koji je početni sektor aktivne particije,
  3. **prekopirati program** iz početnog sektora aktivne particije **u memoriju** te
  4. **pokrenuti** učitani program

2 Tablica s particijama

- **Particija**
  - Je jedan dio na fizičkom disku
    - Može se gledati kao manja, logička jedinica diska
  - Korisna je za razvdajanje
    - sistemskih aplikacija od podataka ili
    - nekoliko (različitih) operacijsklih sustava,
    - područje za straničenje (swapping/paging) za operacijske sustave, itd.
  - može pomoći ukoliko su dijelovi diska oštećeni

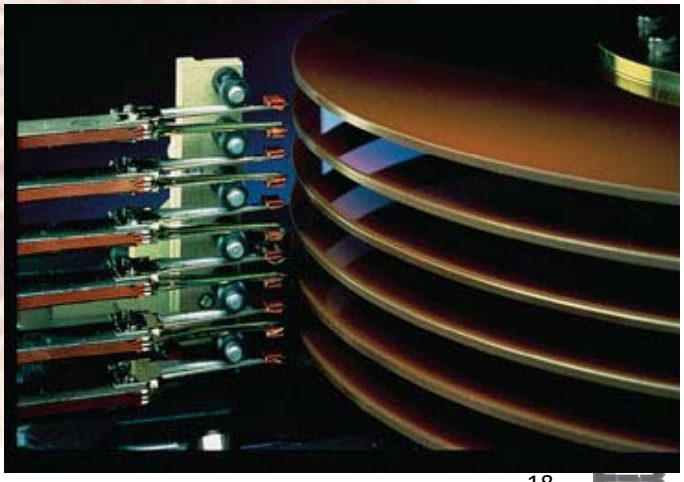
- MBR ima 4 zapisa za particije
  - svaka ima **16 bajtova**

- **Svaki zapis particije** sadrži podatke koji nam govore:
  - je li particija **aktivna?**
  - kojim datotečnim sustavom je **formatirana**
  - na kojem sektoru **počinje**
  - koliko je **velika**

Particijska tablica

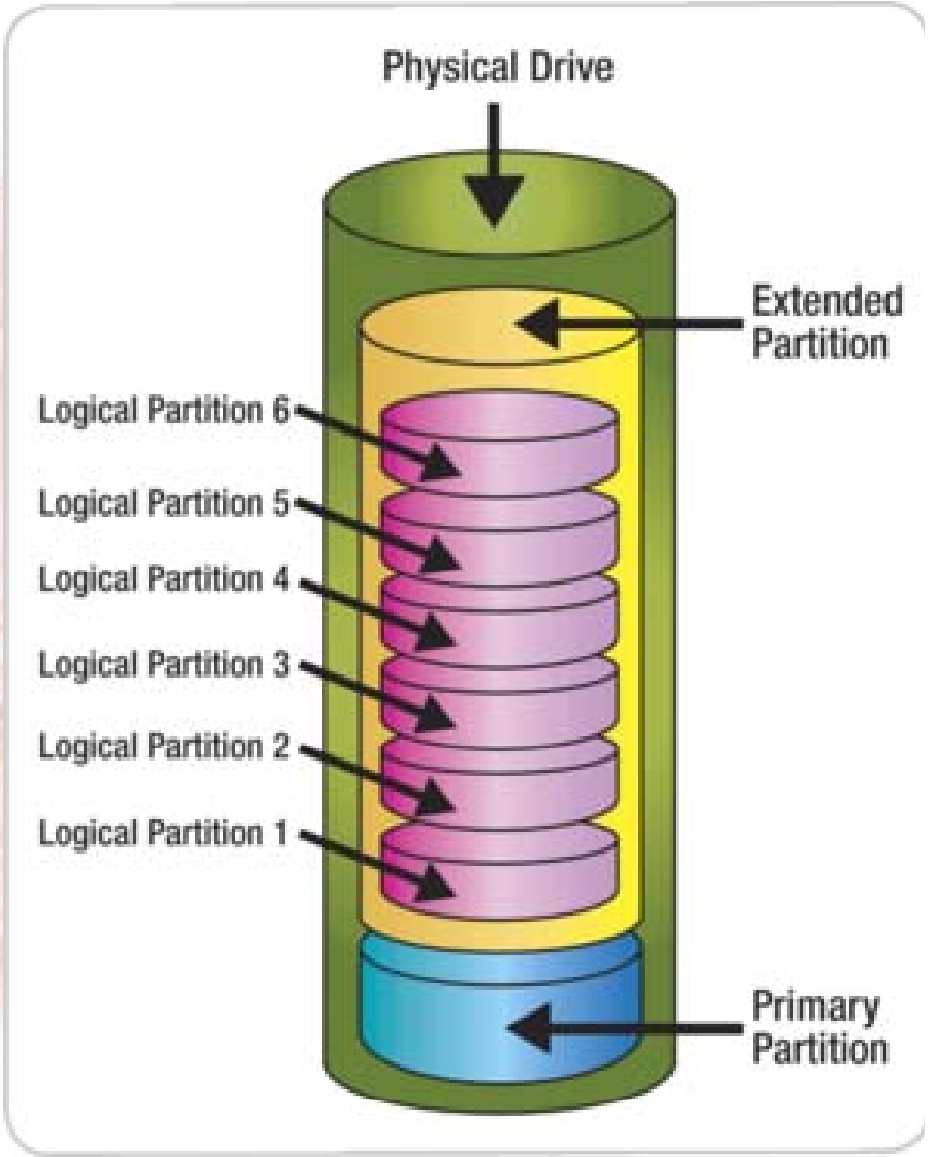
Structure of a *16-byte* Partition Table Entry		
Relative Offsets (*within entry*)	Length (*bytes*)	Contents
0	1	Boot Indicator (80h = *active*)
1 - 3	3	Starting CHS values
4	1	*Partition-type* Descriptor
5 - 7	3	Ending CHS values
8 - 11	4	Starting Sector
12 - 15	4	Partition Size (in sectors)

- CHS je kratica za Cilindar – Glava – Sektor (**Cyllinder** – **Head** – **Sector)**
- ta polja su jedino relevantna, ako se radi o mehaničkom tipu tvrdog diska
  - *flash* memorija ili SSD diskovi ne sadrže ove dijelove
- povijesni razlozi



Tipovi particija

- Primarne particije (max 4)
- Produžene particije (max 1)
  - extended boot record (EBR)
  - extended partition boot record (EPBR)
- Prvi sektor sadrži EBR
  - EBR je sličan kao i MBR
  - Ali samo prva dva zapsia particijske tablcie se koriste
    - Prvi opisuje ***trenutnu*** logičku particiju
    - Drugi opisuje gdje se ***nalazi početak iduće*** particije
      - znači, povezana lista (s neograničenim #) particija se može stvoriti



3 Potpis/Magični broj

- na kraju **MBR** zapisa
- polje veličine **2 bajta**,
  - uvijek sadrži vrijednost **0x55 0xAA**
- označava kraj MBR-a
- Način za provjeru je li
  - MBR uopće tamo
  - te je li ispravan

Sadržaj MBR-a

Offset(h)	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	
00000000	33	ED	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	3í..............
00000010	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	....
00000020	33	ED	FA	8E	D5	BC	00	7C	FB	FC	66	31	DB	66	31	C9	3íúŽŐĽ.|űüf1Űf1É
00000030	66	53	66	51	06	57	8E	DD	8E	C5	52	BE	00	7C	BF	00	fSfQ.WŽÝŽĹRI.|ż.
00000040	06	B9	00	01	F3	A5	EA	4B	06	00	00	52	B4	41	BB	AA	.ą..óĄęK...R´A»Ş
00000050	55	31	C9	30	F6	F9	CD	13	72	16	81	FB	55	AA	75	10	U1É0öůÍ.r..űUŞu.
00000060	83	E1	01	74	0B	66	C7	06	F1	06	B4	42	EB	15	EB	00	.á.t.fÇ.ń.´Bë.ë.
00000070	5A	51	B4	08	CD	13	83	E1	3F	5B	51	0F	B6	C6	40	50	ZQ´.Í..á?[Q.¶Ć@P
00000080	F7	E1	53	52	50	BB	00	7C	B9	04	00	66	A1	B0	07	E8	÷áSRP».|ą..f˘°.č
00000090	44	00	0F	82	80	00	66	40	80	C7	02	E2	F2	66	81	3E	D..,€.f@€Ç.âňf.>
000000A0	40	7C	FB	C0	78	70	75	09	FA	BC	EC	7B	EA	44	7C	00	@|űŔxpu.úĽě{ęD|.
000000B0	00	E8	83	00	69	73	6F	6C	69	6E	75	78	2E	62	69	6E	.č..isolinux.bin
000000C0	20	6D	69	73	73	69	6E	67	20	6F	72	20	63	6F	72	72	missing or corr
000000D0	75	70	74	2E	0D	0A	66	60	66	31	D2	66	03	06	F8	7B	upt...f`f1Ňf..ř{
000000E0	66	13	16	FC	7B	66	52	66	50	06	53	6A	01	6A	10	89	f..ü{fRfP.Sj.j.‰
000000F0	E6	66	F7	36	E8	7B	C0	E4	06	88	E1	88	C5	92	F6	36	ćf÷6č{Ŕä..á.Ĺ’ö6
00000100	EE	7B	88	C6	08	E1	41	B8	01	02	8A	16	F2	7B	CD	13	î{.Ć.áA¸..Š.ň{Í.
00000110	8D	64	10	66	61	C3	E8	1E	00	4F	70	65	72	61	74	69	Ťd.faĂč..Operati
00000120	6E	67	20	73	79	73	74	65	6D	20	6C	6F	61	64	20	65	ng system load e
00000130	72	72	6F	72	2E	0D	0A	5E	AC	B4	0E	8A	3E	62	04	B3	rror...^¬´.Š>b.ł
00000140	07	CD	10	3C	0A	75	F1	CD	18	F4	EB	FD	00	00	00	00	.Í.<.uńÍ.ôëý....
00000150	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	....
00000160	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	....
00000170	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	....
00000180	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	....
00000190	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	....
000001A0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	....
000001B0	DC	50	03	00	00	00	00	00	7C	78	5D	7D	00	00	80	02	ÜP......|x]}..€.
000001C0	01	00	06	B0	E0	FD	40	00	00	00	B6	FF	77	00	00	00	...°ŕý@...¶˙w...
000001D0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	....
000001E0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	....
000001F0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	55	AA	..............UŞ

Bootstrap kod Tablica s particijama Potpis/Magični broj

Nedostaci MBR-a

1. Samo četiri unosa u tablici za particije
   - ograničavaju disk na **maksimalno četiri fizičke particije**
     - može se donekle rješiti kreiranjem logičkih particija

2. Polje za veličinu particije u particijskoj tablici je veličine 32 bita, što znači da je **maksimalna veličina particije 2^{32} bajtova**, odnosno 2 TiB

- Shodno tome, pojavila se alternativa Master Boot Recordu:
  - **GUID Partition Table** (GPT)

GPT – GUID partition table

- novi standard koji polako zamjenjuje MBR
  - Linux, Mac OS X, Windows 8.x & 10
- naziv dolazi od činjenica da
  - svaka particija ima globalno jedinstveni identifikator (GUID)
- za razliku od MBR
  - nema ograničenja na broj i veličine particija
- za razliku od MBR
  - koji je spremljen na samo jednom mjestu u memoriji,
  - GPT sprema kopije
    - po čitavom disku,
    - tako osiguravajući konzistentnost diska

Što dalje?

- U sklopu ovog predmeta
  - obradit će se osnovni koncepti FAT, NTFS i ext datotečnih sustava
- Računalo prvo utvrdi
  - koja particija je **bootable**
  - kojim datotečnim sustavom je formatirana particija
    - 0x07 = NTFS
    - 0x83 = Linux
    - *Više kodova*= FAT
  - i gdje se nalazi
- onda računalo počinje čitati podatke s tog područja
  - i onda pokreće aplikaciju - **bootloader**

http://datarecovery.com/rd/hexadecimal-flags-for-partition-type/

- Ovdje se datotečni sustavi počinju razlikovati

Što je to dual boot?

- Više particija su “bootable”
  - Ali samo neke particije su označene kao aktivne (bootable)
- bootloader je ta aktivna particija
  - Koja je tako (re)dizajnirana da može pokrenuti bilo koji OS
    - LILO, GRUB, NTLDR
  - obično Linux
    - dolazi u distribuciji
- Detektira sve bootalbe OS na disku
- Pita korisnika koji OS želi pokrneuti
- Zatim učita bootloader s odabrane particije
- I pokrene OS

Kako su datotečni sustavi organizirani

FAT16, FAT32

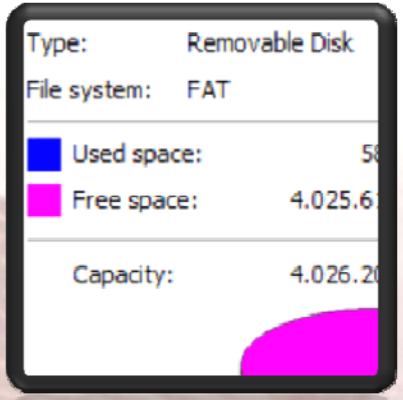
NTFS

ext2

ext3

FAT16

Puno ime	16-bit File Allocation System
Pripadnost	DOS/Windows
God. pojavljivanja	1984
MBR identifikator	0x04, 0x06



Prednosti:

- Najbolja prenosivost među platformama
- Jednostavan povrat obrisanih datoteke

Mane:

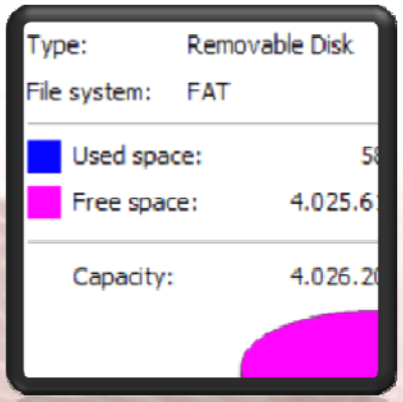
- Veličina particije ograničena na 4 GB
- Maksimalna veličina datoteke 4 GB (minus 1 bajt)
- Jednostavan povrat obrisanih datoteka (?!)
- Nema kontrole nad korisnikovim pristupom datotekama
- Ograničen broj zapisa u korijenskom direktoriju (512)

Bio:

Datotečni sustav kojeg je razvio Microsoft, prethodile su mu 8-bitna i 12-bitna inačica. Odlike su mu **jednostavnost** i **robusnost**. Kompatibilan je s gotovo svim operacijskim sustavima.
Memorija je podijeljena u skupine sektora naziva **klasteri**. Naziv datotečnog sustava dolazi od tablice koju koristi za alokaciju klastera po datotekama.

FAT32

Puno ime	32-bit File Allocation System
Pripadnost	DOS/Windows
God. pojavljivanja	1996
MBR identifikator	0x0B, 0x0C



Prednosti:

- Dobra prenosivost među platformama
- Nema 4 GB ograničenja za veličinu particija kao kod FAT16 inačice

Mane:

- Veličina particije ograničena na 2 TB
- Maksimalna veličina datoteke 4 GB (minus 1 bajt)
- Nema kontrole nad korisnikovim pristupom datotekama

Bio:

Nova inačica datotečnog sustava iz FAT obitelji, nastala nakon FAT16 sustava.

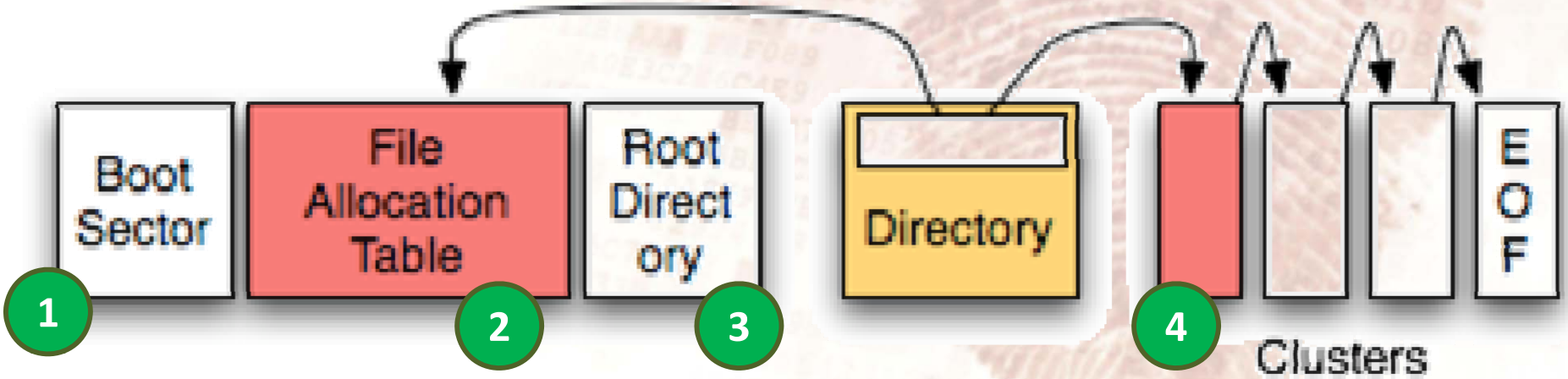
Veličina particije je porasla, kao i maksimalni broj zapisa u korijenskom direktoriju.

FAT32 se smatra 10-15 % efikasniji u korištenju memorije od FAT16 sustava.

FAT datotečni sustavi

FAT16 datotečni sustav sastoji se od:

1. Boot sektora
2. Tablice za alokaciju datoteka (FAT)
3. Korijenskog direktorija
4. Klastera s podacima



1 Boot sektor

Naredba skoka

- Naredba **EB**, **3C**, **90**
  se prevodi u:
  |JUMP TO| OFFSET 3C | NO OPERATION |
- procesor **skače** na početak **izvršivog** (*boot*) koda.

OEM naziv

BIOS blok parametara

- ključni podaci o particiji
  - broj bajtova po sektoru,
  - ukupni broj sektora u klasteru,
  - broja rezerviranih sektora
  - itd.

Izvršivi *boot* kod

Potpis

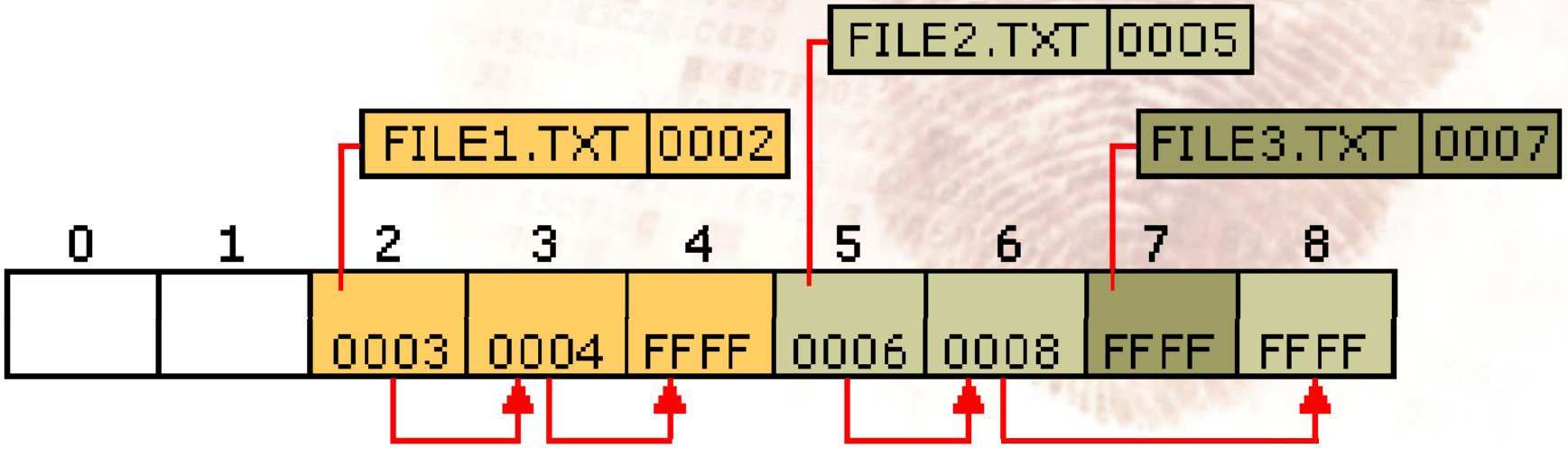
- 0xAA55

```
Offset(h)  00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F

00008000   EB 3C 90 4D 53 44 4F 53 35 2E 30 00 02 80 08 00   ë<.MSDOS5.0..€..
00008010   02 00 02 00 00 F8 F0 00 3F 00 FF 00 40 00 00 00   .....řđ.?.˙.@...
00008020   B6 FF 77 00 80 00 29 A8 96 92 32 4E 4F 20 4E 41   ¶˙w.€.)¨–’2NO NA
00008030   4D 45 20 20 20 20 46 41 54 31 36 20 20 20 33 C9   ME    FAT16   3É
00008040   8E D1 BC F0 7B 8E D9 B8 00 20 8E C0 FC BD 00 7C   ŽŃLđ{ŽŮ¸. ŽŔü˝.|
00008050   38 4E 24 7D 24 8B C1 99 E8 3C 01 72 1C 83 EB 3A   8N$}$‹Á™č<.r..ë:
00008060   66 A1 1C 7C 26 66 3B 07 26 8A 57 FC 75 06 80 CA   f˝.|&f;.&ŠWüu.€Ę
00008070   02 88 56 02 80 C3 10 73 EB 33 C9 8A 46 10 98 F7   ..V.€Ă.së3ÉŠF..÷
00008080   66 16 03 46 1C 13 56 1E 03 46 0E 13 D1 8B 76 11   f..F..V..F..Ń‹v.
00008090   60 89 46 FC 89 56 FE B8 20 00 F7 E6 8B 5E 0B 03   `‰Fü‰Vţ¸ .÷ć‹^..
000080A0   C3 48 F7 F3 01 46 FC 11 4E FE 61 BF 00 00 E8 E6   ĂH÷ó.Fü.Nţaż..čć
000080B0   00 72 39 26 38 2D 74 17 60 B1 0B BE A1 7D F3 A6   .r9&8-t.`±.I˝}ó¦
000080C0   61 74 32 4E 74 09 83 C7 20 3B FB 72 E6 EB DC A0   at2Nt..Ç ;űrćëÜ
000080D0   FB 7D B4 7D 8B F0 AC 98 40 74 0C 48 74 13 B4 0E   ű}´}‹đ¬.@t.Ht.´.
000080E0   BB 07 00 CD 10 EB EF A0 FD 7D EB E6 A0 FC 7D EB   »..Í.ëď ý}ëć ü}ë
000080F0   E1 CD 16 CD 19 26 8B 55 1A 52 B0 01 BB 00 00 E8   áÍ.Í.&‹U.R°.»..č
00008100   3B 00 72 E8 5B 8A 56 24 BE 0B 7C 8B FC C7 46 F0   ;.rč[ŠV$I.|‹üÇFđ
00008110   3D 7D C7 46 F4 29 7D 8C D9 89 4E F2 89 4E F6 C6   =}ÇFô)}ŚŮ‰Nň‰NöĆ
00008120   06 96 7D CB EA 03 00 00 20 0F B6 C8 66 8B 46 F8   .–}Ëę... .¶Čf‹Fř
00008130   66 03 46 1C 66 8B D0 66 C1 EA 10 EB 5E 0F B6 C8   f.F.f‹ĐfÁę.ë^.¶Č
00008140   4A 4A 8A 46 0D 32 E4 F7 E2 03 46 FC 13 56 FE EB   JJŠF.2ä÷â.Fü.Vţë
00008150   4A 52 50 06 53 6A 01 6A 10 91 8B 46 18 96 92 33   JRP.Sj.j.‘‹F.–’3
00008160   D2 F7 F6 91 F7 F6 42 87 CA F7 76 1A 8A F2 8A E8   Ň÷ö‘÷öB‡Ę÷v.Šň Šč
00008170   C0 CC 02 0A CC B8 01 02 80 7E 02 0E 75 04 B4 42   ŔĚ..Ě¸..€~..u.´B
00008180   8B F4 8A 56 24 CD 13 61 61 72 0B 40 75 01 42 03   ‹ôŠV$Í.aar.@u.B.
00008190   5E 0B 49 75 06 F8 C3 41 BB 00 00 60 66 6A 00 EB   ^.Iu.řĂA»..`fj.ë
000081A0   B0 42 4F 4F 54 4D 47 52 20 20 20 20 0D 0A 52 65   °BOOTMGR    ..Re
000081B0   6D 6F 76 65 20 64 69 73 6B 73 20 6F 72 20 6F 74   move disks or ot
000081C0   68 65 72 20 6D 65 64 69 61 2E FF 0D 0A 44 69 73   her media.˙..Dis
000081D0   6B 20 65 72 72 6F 72 FF 0D 0A 50 72 65 73 73 20   k error˙..Press
000081E0   61 6E 79 20 6B 65 79 20 74 6F 20 72 65 73 74 61   any key to resta
000081F0   72 74 0D 0A 00 00 00 00 00 00 00 00 AC CB D8 55 AA   rt.........¬ËŘUŞ
```

2 Tablica za alokaciju datoteka

- tablica sadrži unos za **svaki klaster** na particiji
  - koji sadrži podatke
- svaki klaster sadrži pokazivač na **idući** klaster u datoteci
  - ili na indikator kraja datoteke (oznaka **0xFFFF**)
- tablica može biti **duplicirana** (redundancija podataka), broj kopija je zapisan u *boot* sektoru
- Primjer: 3 datoteke raspoređene u 7 klastera:



3 Korijenski (root) direktorij

- sektor (ili više sektora)
  koji sadrže 32 bitne zapise o datotekama
  sadržanim u korijenskom direktoriju
- zapisi sadrže podatke poput:
  - **naziva datoteke,**
  - **programske ekstenzije**
    - .txt, .pdf, .rar
  - vremena
    - stvaranja datoteke,
    - zadnjeg pristupa i
    - modifikacije
  - **lokacije na disku** (starting cluster) te
  - **veličine**

byte offset	
0	Filename (8 bytes)
8	Extension (3 bytes)
11	File attribute (1 byte)
12	Case (1 byte)
13	Creation time (milliseconds) (1 byte)
14	Creation time (2 bytes)
16	Creation date (2 bytes)
18	Last access date (2 bytes)
20	Reserved (2 bytes)
22	Last modification time (2 bytes)
24	Last modification date (2 bytes)
26	Starting Cluster (2 bytes)
28	File size (4 bytes)

4 Klaster

- nalaze se u memoriji
  neposredno **nakon korijenskog direktorija**
- korisnički podaci su pohranjeni u **klasterima**
  - u nekoliko uzastopnih sektora na disku
- **veličina** klastera je određena u *boot* sektoru (npr. 64 kB)
  - zapisano na lokaciji 0x0D
  - brojem disk sektora (512 bajtova svaka) koji čine jedan klaster
    - 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128
- **Klaster** je najmanja jedinica granulacije
  - primjerice:
    ako je datoteka veličine 10 kB,
    ona će i dalje zauzeti čitav klaster od 64 kB
  - javlja se problem neiskorištenog prostora
- Stvara problem **neiskorištenog prostora**
  - mogućnost **sakrivanja podataka** u njemu!

NTFS

Puno ime	New Technology File System
Pripadnost	Windows
God. pojavljivanja	1993
MBR identifikator	0x07

Prednosti:

- Nema ograničenja za veličine datoteka kao FAT
- Efikasnije koristi prostor od FAT32 sustava
- NTFS ima sustav vođenja dnevnika (engl. *journaling*) kojim sprječava korupciju podataka

Mane:

- Nekompatibilan s nekim programima i sustavima
- Noviteti ne odgovaraju svim tipovima diskova

Bio:

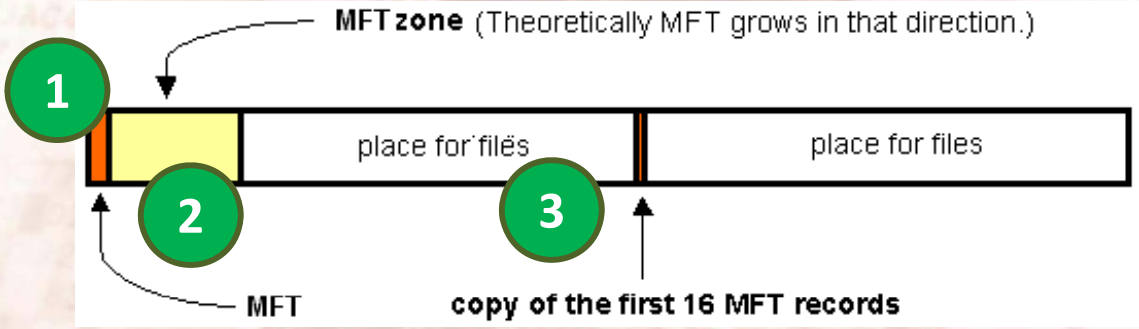
Još jedan datotečni sustav kojeg je stvorio Microsoft, prvenstveno kako bi rješio neke nedostatke koje je imao FAT kao što su veličina datoteka, manjak sigurnosti i nedostatak sustava vođenja dnevnika.

Unatoč tome, noviteti koje je donio NTFS su kod nekih memorija suvišni (npr. prijenosni *flash* diskovi) te ne donose uvijek poboljšanje.

NTFS

- Stvoren za brzo obavljanje operacija čitanja, pisanja i pretraživanja na velikim diskovima

1. Particijski boot sector
1. MFT= Master File Table
2. Područje za datoteke
3.



- sve u NTFS sustavu je datoteka
- NTFS je zamišljen kao baza podataka
- Microsoft-ova dokumentacija kaže:

"MFT je relacijska baza podataka koji se sastoji od redova datoteka zapisa i stupaca atributa datoteka. Ona sadrži barem jedan unos za svaku datoteku na NTFS jedinici, uključujući i samog MFT."

1 Boot sektor particije

1. Boot sektor particije

- Sličan boot sektorima u FAT datotečnom sustavu
- BPB (BIOS parameter block) i produženi (extended) BPB sadrže polja koji opisuju:
  - Broj bajtova po sektoru, **broj sektora po klasteru,** broj rezervirnaih sektora, **ukupan broj sektora** itd.
  - ali, najvažnije, sadrži **lokaciju Master File Table** (MFT)

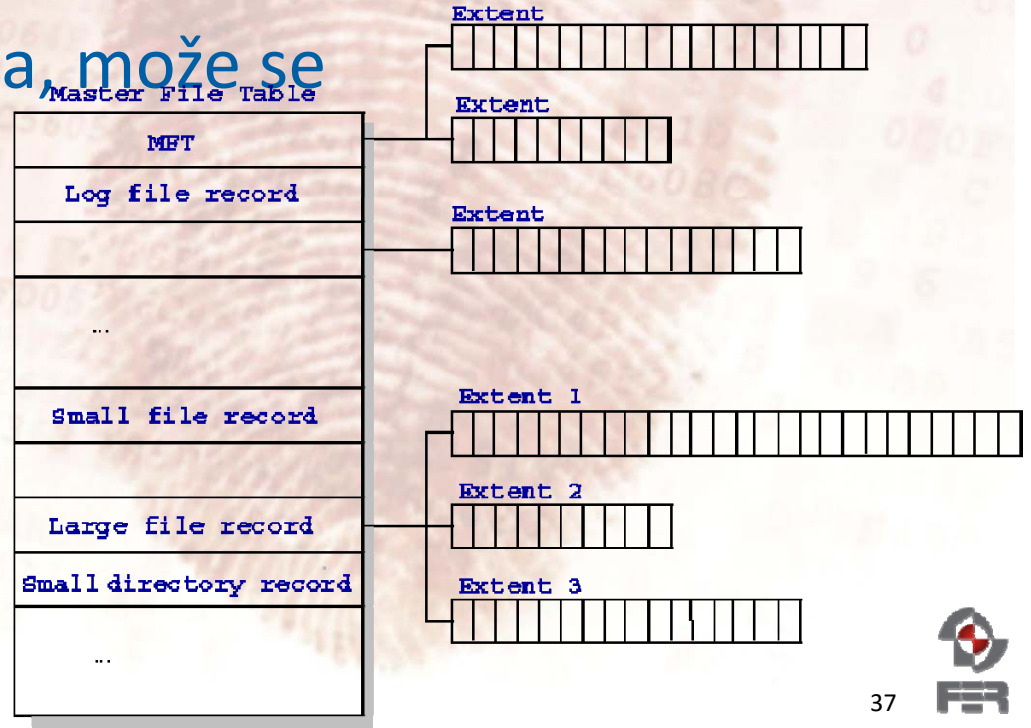
Offset(h)	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	
00000000	EB	52	90	4E	54	46	53	20	20	20	20	00	02	08	00	00	ëR.NTFS .....
00000010	00	00	00	00	00	F8	00	00	3F	00	FF	00	3F	00	00	00	.....ř..?.˙.?...
00000020	00	00	00	00	80	00	80	00	89	34	02	00	00	00	00	00	....€.€.‰4.....
00000030	85	17	00	00	00	00	00	00	02	00	00	00	00	00	00	00	….....

e.g. Ukupan broj sektora (0x023489 = 144521 bytes = 70 MB)
Lokacija MFT (0x1785 = **cluster 6021**)

Opis svih polja je dostupan na: http://ntfs.com/ntfs-partition-boot-sector.htm

Master File Table (MFT)

- Svaka datoteka na NTFS jedinici je predstavljena zapisom
  - Zapisi su pohranjeni u MFT
  - Veličina zapisa je varijablino (obično 1024 bajta)
- Ako je prvi MFT zapis korumpiran/oštećen, NTFS čita idući zapis kako bi pronašao MFT mirror datoteku
- Ako je datoteka dovoljno mala, može se pohraniti u MFT zapisu, unutar '**data attribute**' polja
- Velike datoteke će svoje podatke pohraniti kao vanjske atribute



Brisanje datoteka u NTFS sustavu

- Kada se datoteka obriše u NTFS sustavu, ona se označava kao obrisana
  unutar MFT zapia te datoteke
- primjer:
  - Zapis datoteke, prije i poslije nego što se datoteke obrišu:

PRIJE:

```
Offset(h)  00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
0178F000   46 49 4C 45 30 00 03 00 B0 50 10 00 00 00 00 00  FILE0...°P......
0178F010   01 00 02 00 38 00 01 00 E0 01 00 00 00 04 00 00  ....8...ŕ.......
0178F020   00 00 00 00 00 00 00 00 08 00 00 00 28 00 00 00  ............(...
```

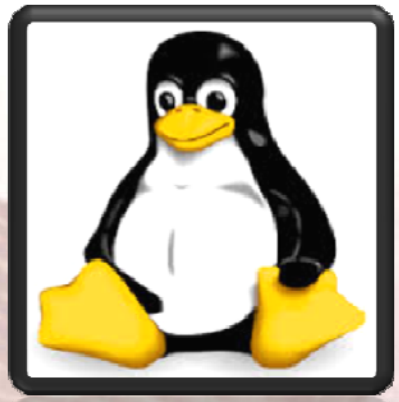
POSLIJE:

```
Offset(h)  00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
0178F000   46 49 4C 45 30 00 03 00 0F 63 10 00 00 00 00 00  FILE0....c......
0178F010   02 00 01 00 38 00 00 00 68 01 00 00 00 04 00 00  ....8...h.......
0178F020   00 00 00 00 00 00 00 00 09 00 00 00 28 00 00 00  ............(...
```

- 2 bajta udaljeni za 22 pokazuju da je datoteka obrisana
  - tj bajtovi 22. i 23. MFT za taj upis

ext2

Puno ime	extended file system 2
Pripadnost	Unix
God. pojavljivanja	1993
MBR identifikator	0x83



Prednosti:

- Ograničenja za maksimalnu veličinu datoteke i particije su puno bolja u odnosu na FAT sustave (do 2 TB za datoteke i 32 TB za particije)

Mane:

- Windows operacijski sustavi ga ne prepoznaju bez dodatnih *drivera*
- Nema sustav vođenja dnevnika

Bio:

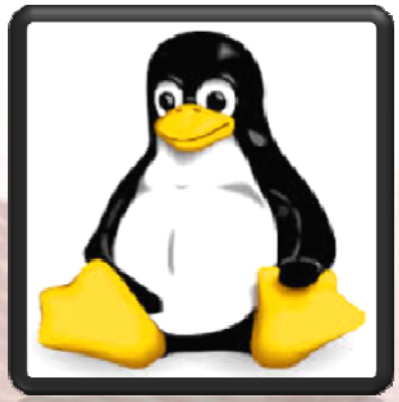
Razvio ga je Remy Card za Linux operacijski sustav kao unaprijeđenje ext sustava.

Ext2 je razvijan prvenstveno na Linux OS te nije nativno podržan na Windowsima.

Obrisane datoteke je relativno lako vratiti.

ext3

Puno ime	extended file system 3
Pripadnost	Unix
God. pojavljivanja	2001
MBR identifikator	0x83



Prednosti:

- Ograničenja za maksimalnu veličinu datoteke i particije su puno bolja u odnosu na FAT sustave (do 2 TB za datoteke i 32 TB za particije)

Mane:

- Windows operacijski sustavi ga ne prepoznaju bez dodatnih *drivera*
- Obrisane datoteke je često nemoguće vratiti

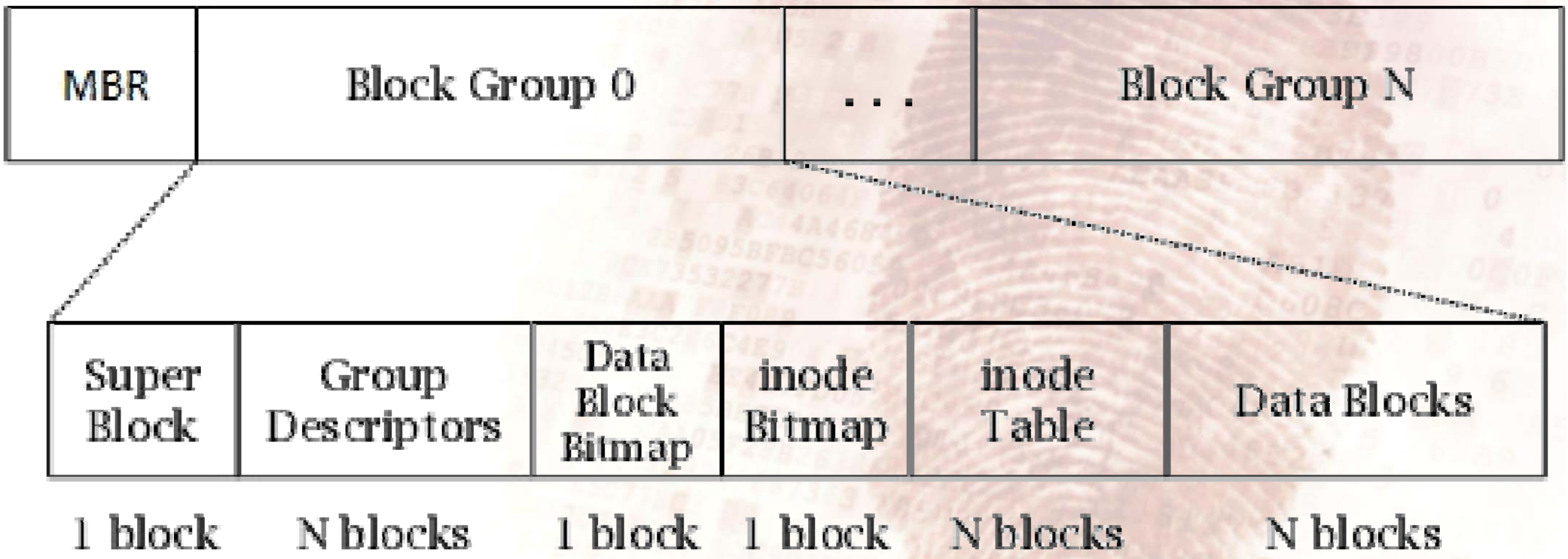
Bio:

Razvio ga je Stehpen Tweedie za Linux operacijski sustav kao unaprijeđenje ext2 sustava.

Ext3 je strukturom izuzetno sličan ext2 datotečnom sustavu. Temeljne razliku su način na koji ext3 briše datoteke i sustav vođenja dnevnika koji ext3 uvodi.

Ext datotečni sustavi

- struktura svih datotečnih sustava iz ext obitelji je slična
  - ext, ext2, ext3, ext4



Ext datotečni sustavi

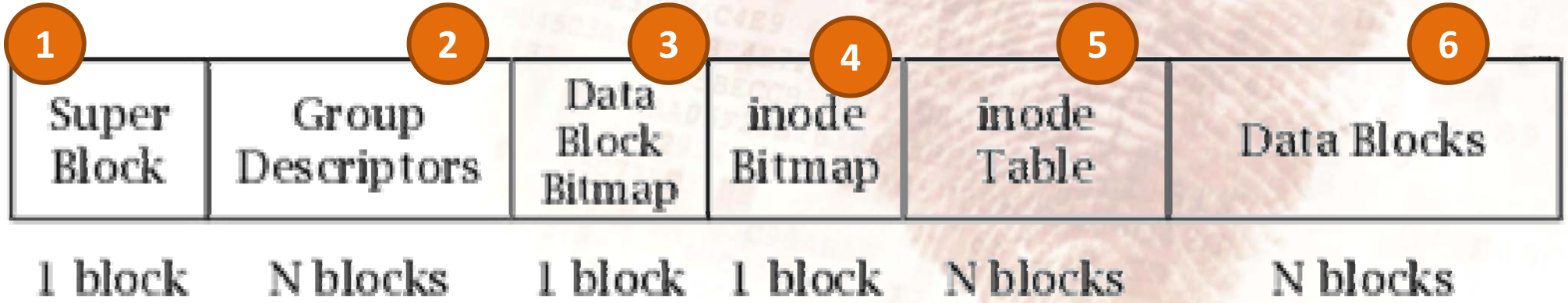
- koncept svih *ext* datotečnih sustava zasniva se na:
  - **blokovima**,
  - **grupama blokova** i
  - **indeksnim čvorovima** (engl. *inode*)

- **BLOK** =
  - osnovna jedinica pohrane
  - koja se sastoji od skupine sektora
    - može biti velik 1, 2, 4 or 8 kB

- **GRUPA BLOKOVA** –
  više blokova spojenih u logičku cjelinu

Struktura Ext datotečnog sustava

1. Superblok
2. Opisnik grupe blokova (eng. *block group descriptor*)
3. Bitovna mapa blokova (eng. *data block bitmap*)
4. Bitovna mapa indeksnih čvorova (eng. *inode bitmap*)
5. Tablica indeksnih čvorova
6. Blokovi podataka



1 Superblok

- ekvivalent *boot* sektoru u FAT sustavima
- original se nalazi na početku particije u prvoj grupi blokova,
  - a svaka iduća grupa blokova sadrži njegovu kopiju (redundancija)
- sadrži osnovne podatke o particiji poput
  - ukupnog broja **indeksnih čvorova**,
  - ukupnog broja **blokova**,
  - ukupnog broja slobodnih indeksnih čvorova i slobodnih blokova,
  - veličine blokova,
  - broja blokova u jednoj grupi blokova i sl.

2 Opisnik grupe blokova

(engl. *block group descriptor*)

- prvi blok u grupi blokova nakon superbloka,
- u njemu su definirani parametri grupe blokova poput:
  - položaja bitovne mape blokova,
  - bitovne mape indeksnih čvorova,
  - položaja tablice indeksnih čvorova

Bitovna mapa blokova i indeksnih čvorova

3 Bitovna mapa blokova (engl. *data block bitmap*)

- polje bajtova u kojem svaki BIT označava jedan blok;
  - ako je bit postavljen na 0, blok je slobodan,
  - ako je bit postavljen na 1, blok je zauzet
- ekvivalent tablici za alokaciju datoteka (FAT) u FAT datotečnim sustavima

4 Bitovna mapa indeksnih čvorova (engl. *inode bitmap*)

- isto kao i bitovna mapa blokova,
- samo se odnosi na indeksne čvorove u tablici indeksnih čvorova

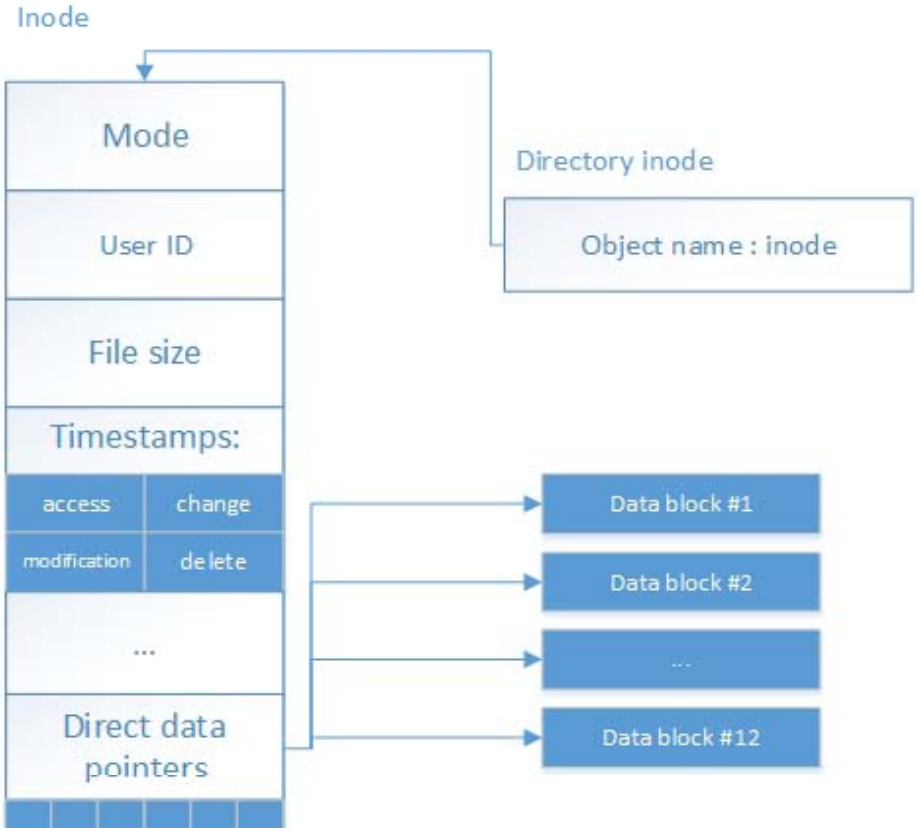
5 Tablica indeksnih čvorova

- sadrži sve indeksne čvorove za grupu blokova

5 Inode – *indeksni čvor*

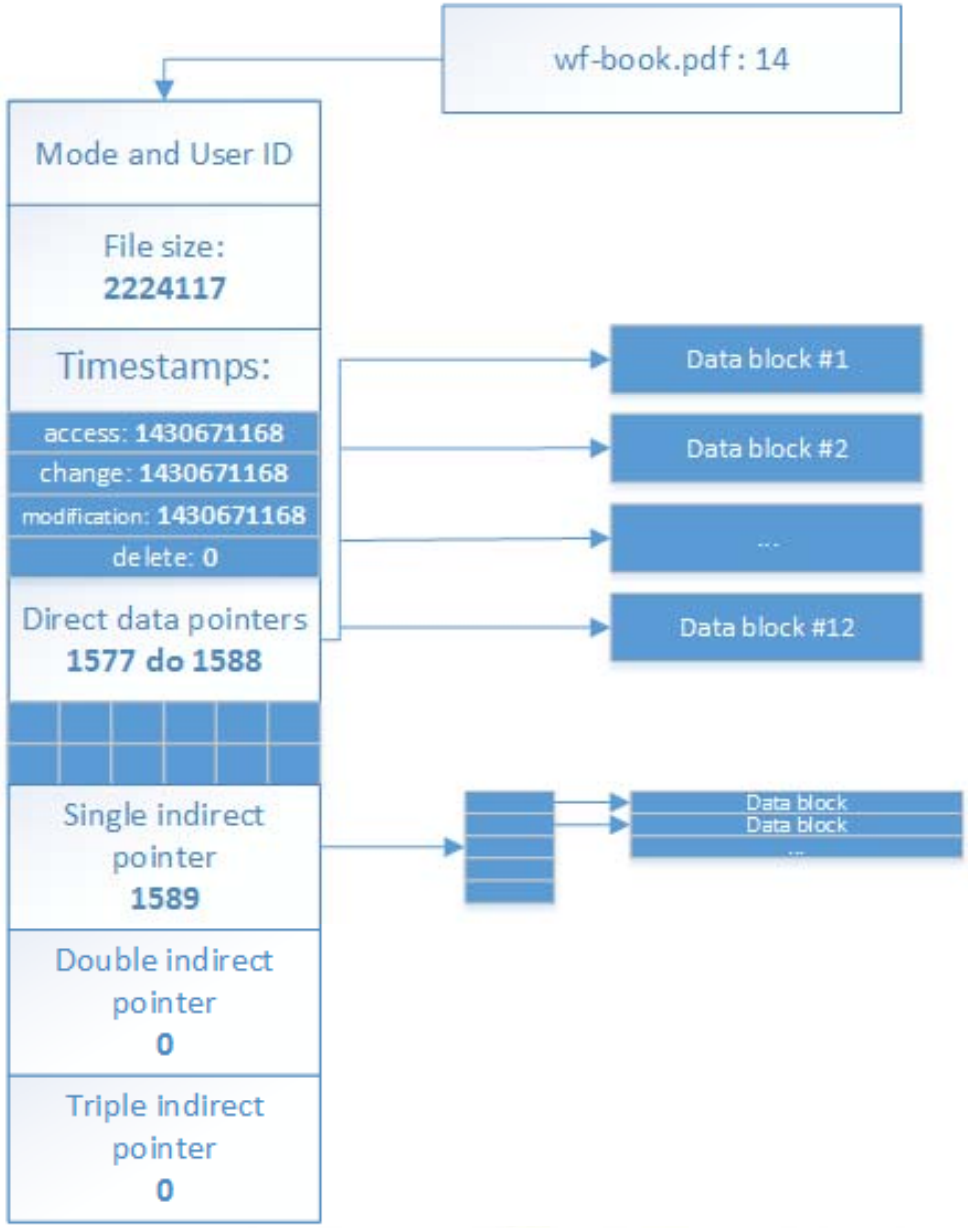
- **glavna** podatkovna **struktura** ext sustava
- **svaki objekt** unutar datotečnog sustava **je predstavljen** odgovarajućim **indeksnim čvorom**
- podrazumijevana veličina je **128** bajtova
- sadrži polja koja određuju:
  - što je indeksni čvor
    - npr. datoteka, direktorij …
  - **veličinu** objekta kojeg indeksni čvor predstavlja (u bajtovima)
  - **vremena** stvaranja, zadnjeg pristupa i uređivanja objekta na koji se čvor odnosi
  - **polje pokazivača** na blokove gdje je pohranjen sadržaj objekta
- indeksni čvor **NE** sadrži
  - **sadržaj** datoteke
  - **ime** datoteke

Inode


Inode
Mode
User ID
File size
Timestamps:
access
change
modification
delete
...
Direct data pointers
Directory inode
Object name : inode
Data block #1
Data block #2
...
Data block #12

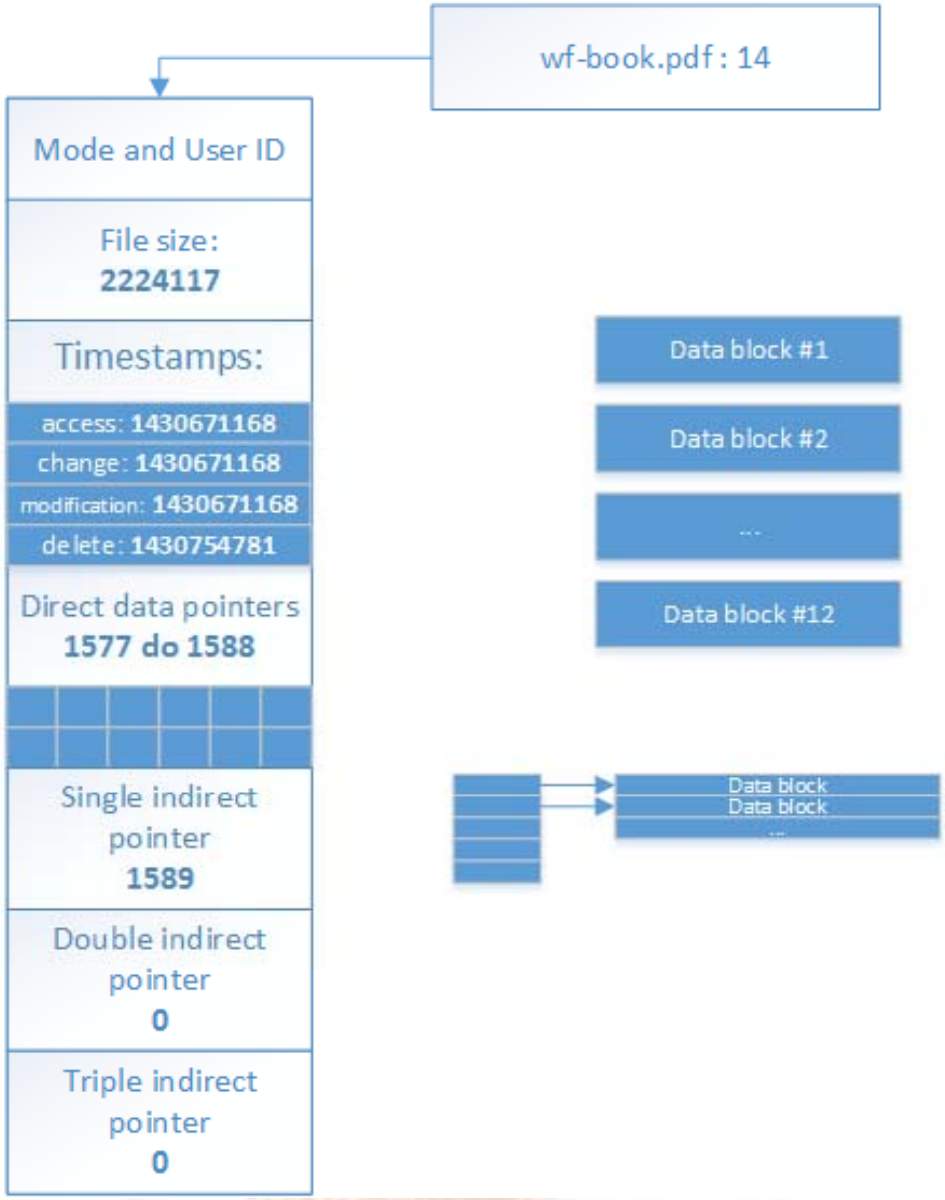
Inode - sadržaj

- Ova slika prikazuje indeks čvora datoteke pohranjene na ext datotečnom sustavu
- brisanje datoteka je vrlo različito na ext2 i ext3 / 4 datotečnim sustavima
- Sljedeće dvije prikaznice objašnjavaju proces brisanja datoteke na ext2 i ext3 datotečnim sustavima



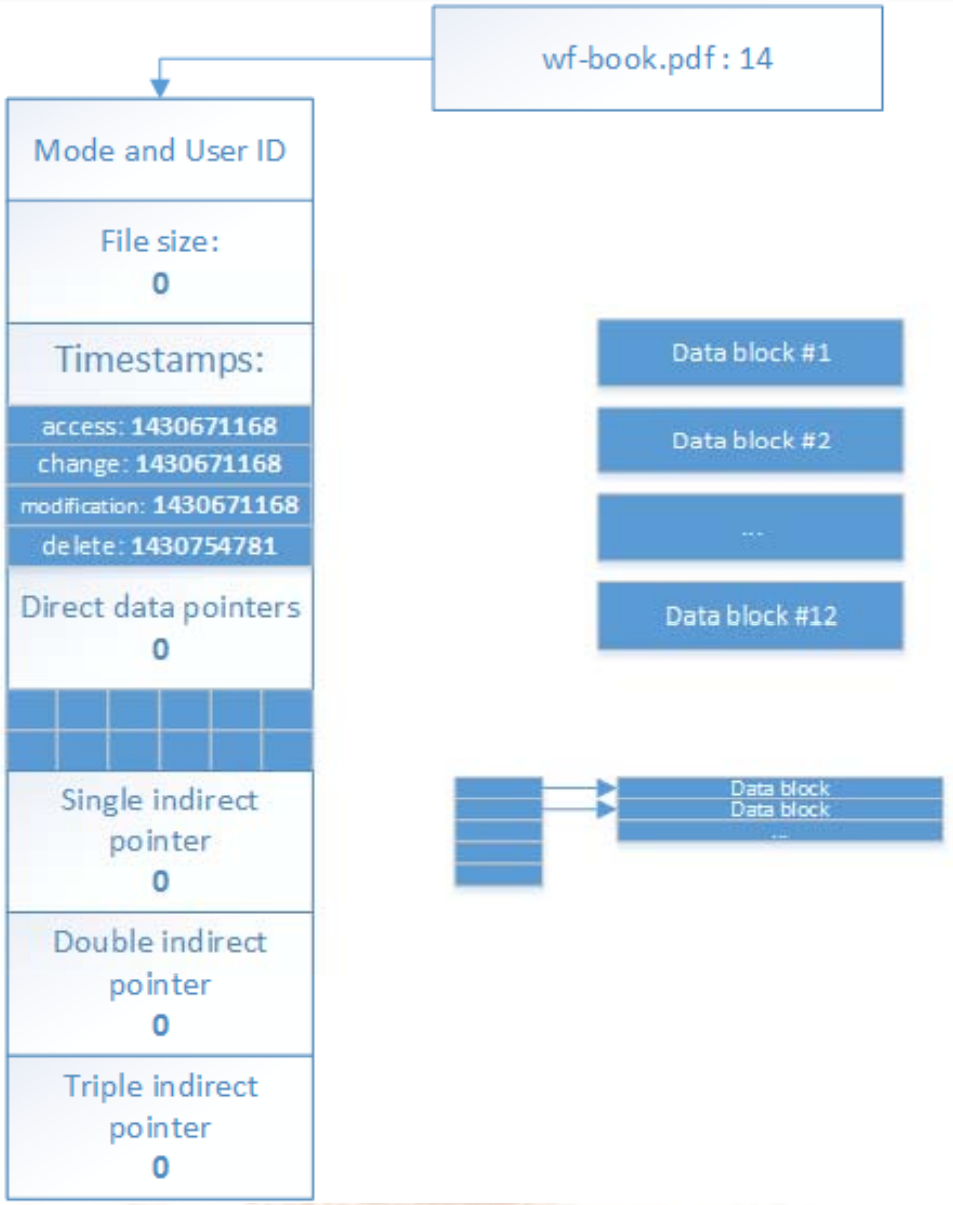
ext2 inode

- nakon brisanja datoteke
  - dotad zauzeti blokovi u bitovnim mapama
    - prebacuju iz 1 u 0
- a sadržaj indeksnog čvora ostaje isti
- pa je lako vratiti obrisane datoteke
- referirajući se na vrijednosti u indeksnom čvoru
- ali samo pod uvjetom
  - da sadržaj ili indeksni čvor već nije "pregažen" drugim podacima



ext3/ext4 inode

- osim promjena u bitovnim mapama
  - na 0 se postavljaju i
    - pokazivači na klastere
    - te veličina datoteke
- sadržaj datoteke i dalje postoji na disku,
  - ali ga više nije moguće povezati u smislenu cjelinu
- zbog ovoga se datoteke na ext3/ext4 sustavima
  - u većini slučajeva smatraju trajno obrisanima



Ext datotečni sustavi

No, unatoč tvrdnjama s prošle stranice, ipak postoje načini kako vratiti podatke na ext3/ext4 sustavima:

1. **Pretraga običnog teksta**
   - metoda primjenjiva i na svakom drugom datotečnom sustavu
   - memorija se pretražuje u potrazi za određenim riječima
   - ukoliko je datoteka s traženom riječi bila zapisana u *plain textu*
     - primjerice: .txt, .html, .cpp, .java
   - program za analizu memorije će je pronaći
   - no, ako datoteka nije u *plain textu*
     - primjerice .rar, .pdf, .doc
   - ili ako je riječ o slici,
   - pretraga običnog teksta će se vjerojatno pokazati beskorisnom
   - također, ova metoda neće uspjeti sastaviti datoteku ukoliko je ona zauzimala više blokova

Journaling

Sustav vođenja dnevnika (engl. *journaling*)

- svojstvo ext3/ext4 sustava
  na koje se oslanjaju mnogi programi za povrat podataka (npr. *extundelete*)
- sustav vodi **dnevnik svih promjena** koje se događaju inodovima
  s namjerom da se podaci zaštite u slučaju pada sustava
- tri moda rada dnevnika:
  - ***Journal*** (čuvaju se i podaci i meta podaci mijenjanih datoteka),
  - ***Write Back*** (čuvaju se samo meta podaci) i
  - ***Ordered*** (kompromis između dvije opcije, čuvaju se samo meta podaci no promjene se prvo zapisuju u dnevnik, a tek onda na disk)

Journaling + i -

- metoda očuvanja konzistencije podataka
- može se iskoristiti u forenzičkoj analizi
- ukoliko je datoteka obrisana
  - onda su na ext3/ext4 također nulu postavljeni i pokazivači u indeksnom čvoru
- međutim
  - ako nađemo spomenuti indeksni čvor u dnevniku i pročitamo vrijednost pokazivača;
  - saznali smo koji sve blokovi spremaju sadržaj tražene datoteke
- nedostaci povrata podataka pomoću dnevnika:
  - popunjavanje dnevnika kreće ponovno ispočetka prilikom svakog demontiranja (engl. *unmount*) i montiranja (engl. *mount*) sustava
  - u dnevnik se zapisuje na principu cirkularne liste,
    - kada je dnevnik prepun, popunjavanje kreće ispočetka i prepisuju se najstariji podaci
  - Najveća moguća veličina dnevnika na uređaju je 400 MiB (102400 blokova)
- zato povrat podataka treba napraviti što brže nakon brisanja, jer ti podaci mogu uskoro biti prepisani i nedostupni

HxD Editor

- brz, robusan i svestran *hex* editor za Windows platformu
- *freeware*, preuzimanje i korištenje je besplatno
- instalacija nije potrebna,
  - postoji prenosiva (engl. *portable*) inačica

- **Mogućnosti**:
  - uređivanje diska i memorije,
  - pretraga memorije,
  - provjera zaštitnih suma,
  - sigurno brisanje datoteka (engl. *file shredding*),
  - usporedba datoteka,
  - izvoz dijelova memorije u zasebne datoteke itd.

http://mh-nexus.de/en/hxd/

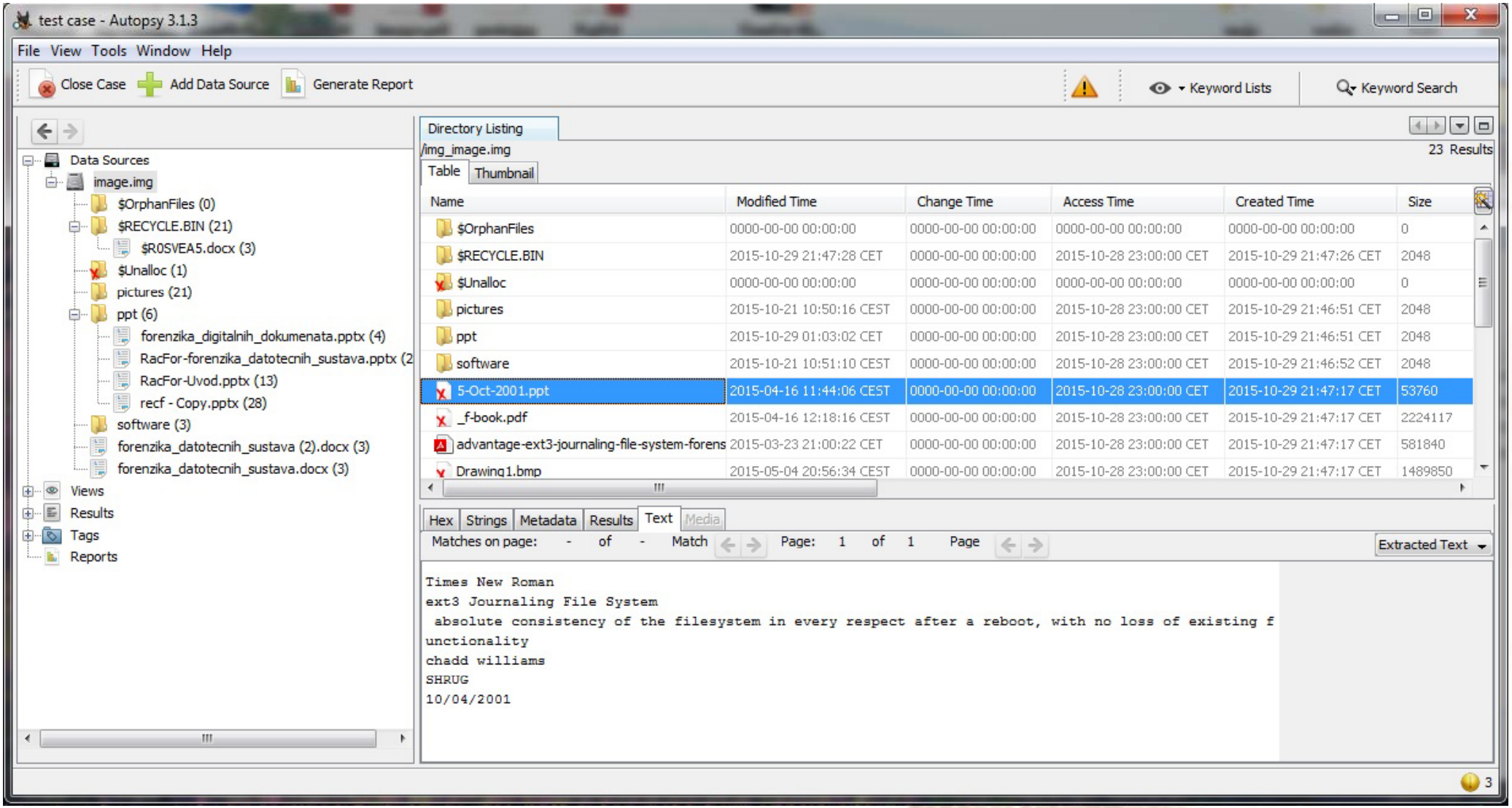
Autopsy

- jedan od popularnijih alata za forenzičku analizu memorije
- *freeware, open source*
- dostupan za:
  - Windows, UNIX i OS X platforme

- Mogućnosti:
  - pretraga ključnih riječi,
  - *hash* filtriranje,
  - ekstrakcija *web* artefakata poput kolačića,
  - povijesti pretraživanja,
  - rekonstrukcija i ekstrakcija obrisanih datoteka
  - itd.

http://www.sleuthkit.org/

Autopsy primjer



Brisanje datoteka - pregled

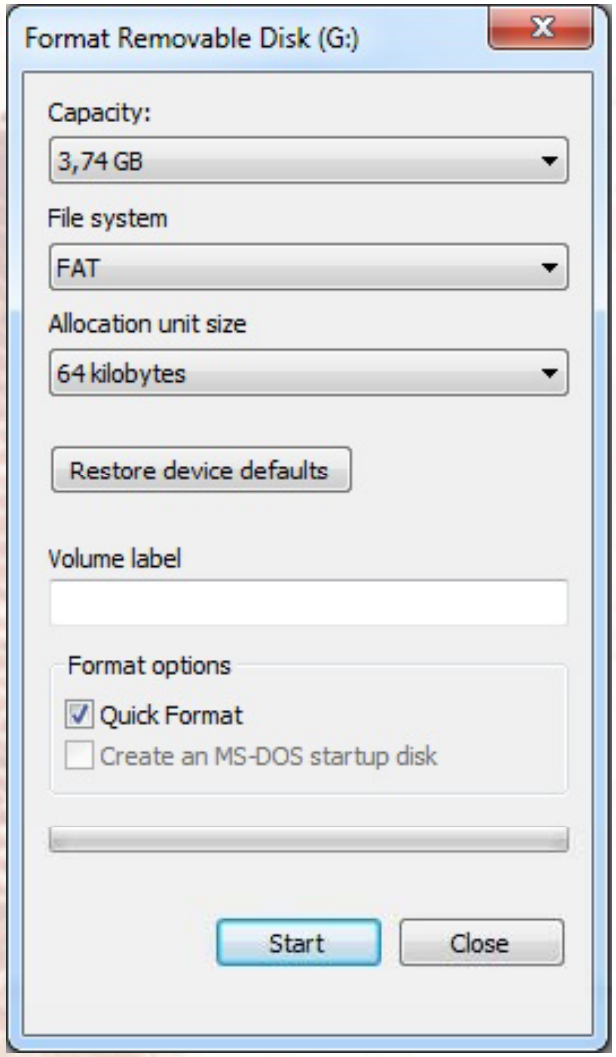
- svaki datotečni sustav briše datoteke na svoj način:
  - FAT, ext2
    - **povrat** datoteka vrlo **jednostavan**
  - ext3, ext4
    - **mala vjerojatnost** uspješnog povrata obrisanih datoteka
  - NTFS, ostali datotečni sustavi ?

Sigurno brisanje – Formatiranje diska

- prikaz stanja diska
  - prije formatiranja,
  - nakon brzog formatiranja (engl. *quick format*) i
  - nakon običnog formatiranja

- Je li formatiranje sigurno?
- Format vs *zero-fill*?
- Povrat podataka nakon *zero-fill* metode?

- Idući slajdovi prikazuju različite načine formatiranja
  - s USB flash diskom od 4 GB na Win7



Disk – prije formatiranja

```
00008000  EB 3C 90 4D 53 44 4F 53 35 2E 30 00 02 80 08 00  ë<.MSDOS5.0..€..
00008010  02 00 02 00 00 F8 F0 00 3F 00 FF 00 40 00 00 00  .....řđ.?.˙.@...
00008020  B6 FF 77 00 80 00 29 3F 1F 66 3C 4E 4F 20 4E 41  ¶˙w.€.)?.f<NO NA
00008030  4D 45 20 20 20 20 46 41 54 31 36 20 20 20 33 C9  ME    FAT16   3É
00008040  8E D1 BC F0 7B 8E D9 B8 00 20 8E C0 FC BD 00 7C  ŽŃLđ{ŽŮ¸. ŽŔü˝.|
```

Boot block

```
00009000  F8 FF FF FF FF FF 04 00 FF FF FF FF FF FF FF FF  ř˙˙˙˙˙..˙˙˙˙˙˙˙˙
00009010  09 00 0A 00 FF FF 0C 00 0D 00 0E 00 0F 00 10 00  ....˙˙..........
00009020  11 00 12 00 FF FF 14 00 15 00 16 00 17 00 18 00  ....˙˙..........
00009030  19 00 1A 00 1B 00 1C 00 1D 00 1E 00 1F 00 20 00  .............. .
00009040  21 00 22 00 23 00 24 00 25 00 26 00 27 00 28 00  !."."#.$.%.&.'.(.
00009050  29 00 2A 00 2B 00 2C 00 2D 00 2E 00 2F 00 30 00  ).*.+.,.-.../.0.
00009060  31 00 32 00 33 00 34 00 35 00 36 00 37 00 38 00  1.2.3.4.5.6.7.8.
00009070  39 00 3A 00 3B 00 3C 00 3D 00 3E 00 3F 00 40 00  9.:.;.<.=.>.?.@.
00009080  41 00 42 00 43 00 44 00 45 00 46 00 47 00 48 00  A.B.C.D.E.F.G.H.
```

FAT tablica

```
00045000  43 4F 44 45 53 20 20 20 54 58 54 20 18 82 52 A1  CODES   TXT .,R˙
00045010  47 47 5D 47 00 00 17 A1 47 47 02 00 28 00 00 00  GG]G...˙GG..(...
00045020  46 45 52 2D 4C 4F 47 4F 50 4E 47 20 18 7A C1 A1  FER-LOGOPNG .zÁ˙
00045030  47 47 5D 47 00 00 4A A1 47 47 03 00 21 05 01 00  GG]G..J˙GG..!...
00045040  4D 4F 42 49 4C 45 20 20 20 20 20 10 08 4C D0 A1  MOBILE     ..LĐ˙
00045050  47 47 47 47 00 00 1D A1 47 47 05 00 00 00 00 00  GGGG...˙GG......
00045060  E5 45 4C 45 54 45 44 20 20 20 20 20 08 55 97 0E  ÍELETED     .U—.
00045070  48 47 48 47 00 00 35 A1 47 47 0B 00 14 00 00 00  HGHG..5˙GG......
```

Korijenski direktorij

```
00049000  53 6F 6D 65 20 74 65 78 74 0D 0A 49 6E 73 74 72  Some text..Instr
00049010  75 63 74 69 6F 6E 73 0D 0A 53 6F 6D 65 20 6F 74  uctions..Some ot
00049020  68 65 72 20 74 65 78 74 00 00 00 00 00 00 00 00  her text........
00049030  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
```

Nasumična datoteka na disku

Disk – nakon brzog formatiranja

```
00008000  EB 3C 90 4D 53 44 4F 53 35 2E 30 00 02 80 08 00  ë<.MSDOS5.0..€..
00008010  02 00 02 00 00 F8 F0 00 3F 00 FF 00 40 00 00 00  .....řđ.?.˙.@...
00008020  B6 FF 77 00 80 00 29 9A 77 F3 D4 4E 4F 20 4E 41  ¶˙w.€.)šwóÔNO NA
00008030  4D 45 20 20 20 20 46 41 54 31 36 20 20 20 33 C9  ME    FAT16   3É
00008040  8E D1 BC F0 7B 8E D9 B8 00 20 8E C0 FC BD 00 7C  ŽŃLđ{ŽŮ¸. ŽŔü˝.|
```

Boot block

```
00009000  F8 FF FF FF 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ř˙˙˙............
00009010  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009020  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009030  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009040  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009050  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009060  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009070  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009080  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
```

FAT tablica

Nule

```
00045000  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045010  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045020  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045030  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045040  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045050  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045060  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045070  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
```

Korijenski direktorij

```
00049000  53 6F 6D 65 20 74 65 78 74 0D 0A 49 6E 73 74 72  Some text..Instr
00049010  75 63 74 69 6F 6E 73 0D 0A 53 6F 6D 65 20 6F 74  uctions..Some ot
00049020  68 65 72 20 74 65 78 74 00 00 00 00 00 00 00 00  her text........
00049030  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
```

Nasumična datoteka na disku

Potrebno vrijeme: ~ **3 sekunde**

Disk – nakon formatiranja

```
00008000  EB 3C 90 4D 53 44 4F 53 35 2E 30 00 02 80 08 00  ë<.MSDOS5.0..€..
00008010  02 00 02 00 00 F8 F0 00 3F 00 FF 00 40 00 00 00  .....řđ.?.˙.@...
00008020  B6 FF 77 00 80 00 29 9A 77 F3 D4 4E 4F 20 4E 41  ¶˙w.€.)šwóÔNO NA
00008030  4D 45 20 20 20 20 46 41 54 31 36 20 20 20 33 C9  ME    FAT16   3É
00008040  8E D1 BC F0 7B 8E D9 B8 00 20 8E C0 FC BD 00 7C  ŽŃLđ{ŽŮ¸. ŽŔü˝.|
```

Boot block

```
00009000  F8 FF FF FF 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ř˙˙˙............
00009010  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009020  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009030  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009040  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009050  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009060  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009070  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00009080  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
```

FAT tablica

Nule

```
00045000  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045010  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045020  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045030  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045040  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045050  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045060  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00045070  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
```

Korijenski direktorij

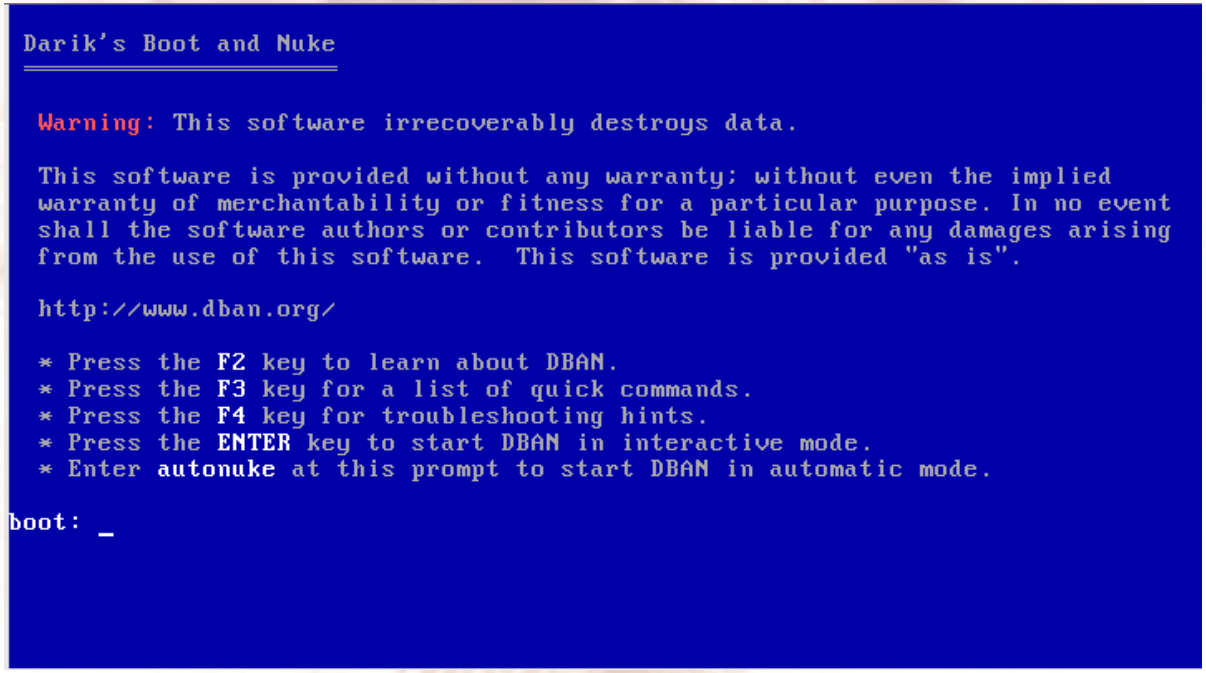
```
00049000  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00049010  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00049020  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00049030  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
```

Nasumična datoteka na disku

Potrebno vrijeme: ~ **12 minuta**

Kako sigurno obrisati podatke?

- **Brisanje** datoteka, quick format
  - **Samo metapodatci** se brišu, podatci se mogu rekonstruirati, NIJE SIGURNO
- Formatiranje, zero-fill
  - disk se **popunjava nulama**
    - Windows *format*,
    - *dd* na Linux,
    - *DBAN*, *KillDisk*
  - Ova metoda bi trebala biti sigurna za prosječnog korisnika
  - problem loših sektora
    - format će ih preskočiti
    - podatci će ostati
    - i moguće ih je rekonstruirati



Kako sigurno obrisati podatke?

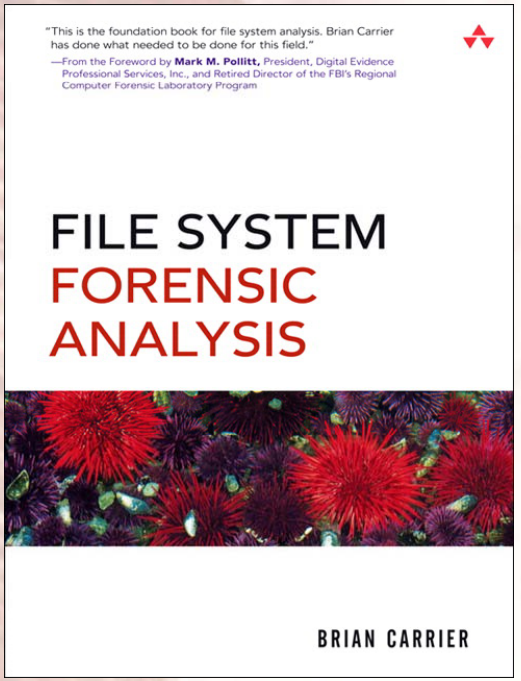
- Rad Petera Gutmanna (s novim diskovima, njegov rad je možda zastarjeo)
  - Nula koje je obrisana nulom
  - Može se razlikovati od
  - One koja je obrisana jedinicom
  - Uz vjerojatnost višu od 50%

- Disk wipe
  - Standard US vlade DoD 5220.22-M (3-pass) predlaže dase sljedeći proces sastoji od tri faze:
    - Prebriši sve lokacije koje je moguće adresirati:
      - znak (nula)
      - komplement znaka (jedinica)
      - nasumični znak

- Fizičko uništavanje
    - jaki magneti,
    - bušilice,
      čekić,
    - kiselina
  - Su najučinkovitiji način

Literatura

- Brian Carrier:
  „File system forensic analysis”
  - Jedna od najboljih knjiga o datotečnim sustavima



- D. Farmer, W. Venema:
  „Forensic discovery”

- D. Poirier:
  „The Second Extended File System”

RacFor.zesoi.fer.hr

RacFor@zesoi.fer.hr