

Jan Rutar

# Defragmentacija diska

Poročilo pri predmetu Sistemska programska oprema

## Kazalo

Uvod.....	3
Defragmentacija .....	4
Shranjevanje datoteke v pomnilniku .....	4
Fragmentacija diska .....	4
Vrste Fragmentacije.....	4
Posledice fragmentacije .....	5
Preprečevanje fragmentacije .....	5
Defragmentacija.....	5
Postopek defragmentacije .....	6
Defragmentacija v sistemu Windows .....	7
Datotečni sistem FAT .....	7
Datotečni sistem NTFS.....	7
Windows API za defragmentacijo .....	8
Orodje defrag .....	9
Defragmentacija v sistemu Linux .....	10
Datotečni sistem Btrfs .....	10
Datotečni sistem ext2, ext3, ext4 .....	10
Orodje e4defrag.....	11
Defragmentacij v sistemu MacOS .....	12
Datotečni sistem HFS Plus .....	12
Datotečni sistem APFS.....	12

## Uvod

Fragmentacija podatkov na trdem disku je pogost pojav, ki sčasoma vpliva na zmogljivost in učinkovitost računalniških sistemov. Pri pisanju, brisanju in spreminjanju, se datoteke razdelijo na različne dele diska kar vpliva na učinkovitost delovanja trdih diskov. Defragmentacija diska je proces, ki reorganizira te podatke, da zagotovi zvezno shranjevanje datotek in optimizira razpoložljivi prostor na disku.

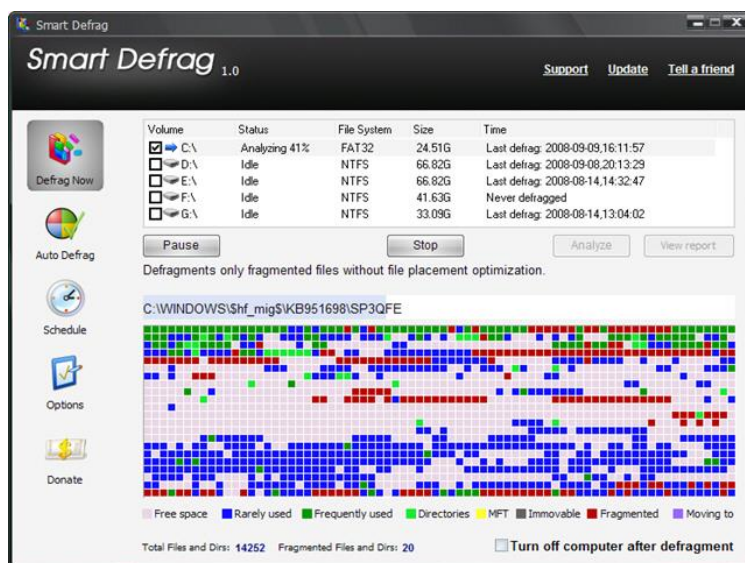
# Defragmentacija

## Shranjevanje datoteke v pomnilniku

Večina današnjih datotečnih sistemov shranjuje datoteke v več tako imenovanih razponov oziroma "extent-ov". Razpon je neprekinjeno območje shranjevanja, dodeljeno datoteki v datotečnem sistemu. Datoteka je lahko sestavljena iz nič ali večih razponov, kjer en fragment datoteke zahteva en razpon.

## Fragmentacija diska

Fragmentacija diska je nagnjenost datotečnega sistema, da ta razporeja datoteke na različna mesta v pomnilniku. Ko je datotečni sistem prvič inicializiran na particiji diska, vsebuje le nekaj majhnih notranjih struktur, sicer pa je en sam neprekinjen blok nezasedenega prostora. Zato lahko datotečni sistem poljubno postavlja nove datoteke na particijo, oziroma lahko datoteke shranjuje povezano, brez rezvrščanja na različne dele pomnilnika. Ko pa se obstoječe datoteke izbrišejo ali skrajšajo, se ustvarijo novi prazni deli, kamor lahko datotečni sistem dodaja nove, za katere pa morda ni dovolj prostora, da jih shrani neprekinjeno. Prav tako ob povečanju že obstoječih datotek, lahko pride do pomanjkanja prostora takoj za datoteko, zato se mora preostali del zapisati nekam drugam v pomnilnik. Sčasoma se prosti deli pomnilnika in novo dodane datoteke vse bolj fragmentirajo



Slika 1: Primer fragmentacije na disku

## Vrste Fragmentacije

Fragmentacija datotečnega sistema se lahko pojavi na več ravneh:

- Fragmentacija znotraj posamezne datoteke
- Fragmentacij prostega prostora
- Zmanjšanje lokalnosti sklicevanja med ločenimi, a sorodnimi datotekami
- Fragmentacija v strukturah podatkov ali posebnih datotekah, rezerviranih za sam datotečni sistem

## Posledice fragmentacije

Fragmentacija datotečnega sistema je najbolj problematična pri trdih diskih, zaradi razlike med hitrostjo zaporednih dostopov in rotacijske zakasnitvije. Fragmentacija ima manjši vpliv na SSD (Solid state drive), saj ti ne uporabljajo mehanskih delov za branje. V vsakem primeru pa potrebujemo dodatne metapodatke za vsak ločen del datoteke, kar zavzame prostor in zahteva dodatno obdelavo in procesiranje.

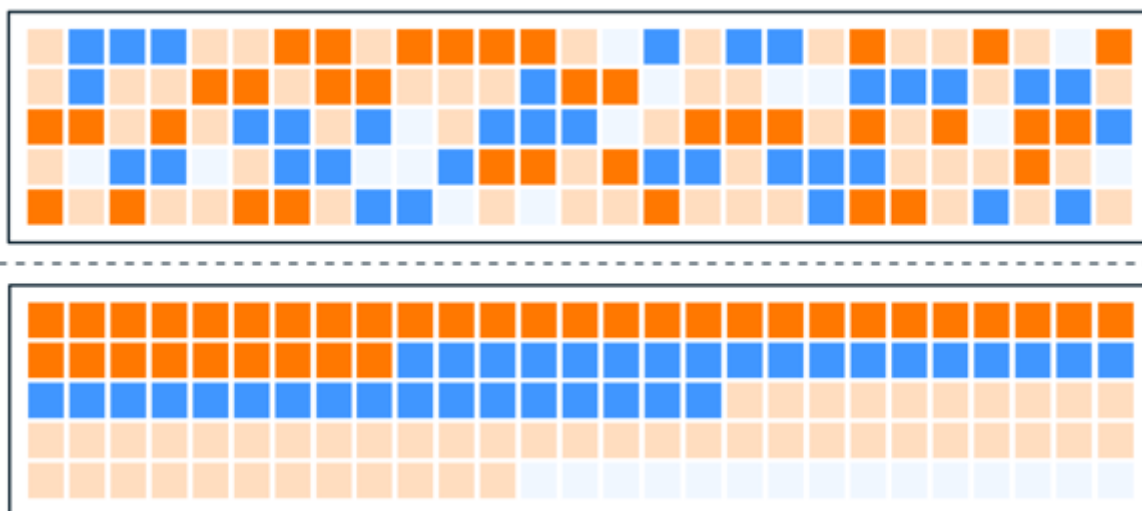
## Preprečevanje fragmentacije

Razvili so se različni načini preprečevanja fragmentacije, v glavnem pa jih delimo v dve skupini: preventivne in retroaktivne. Danes mnogi datotečni sistemi dodelijo večje kose pomnilnika ali kose iz različnih prostih fragmentov za datoteke, katerim se aktivno dodajajo podatki. Prav tako, če je vnaprej znana velikost datoteke, ki jo bomo spreminjali, se lahko vnaprej dodeli potrebe del prostora.

## Defragmentacija

Defragmentacija je proces, ki zmanjšuje stopnjo fragmentacije, bodisi preventivno ali retroaktivno. Sledeče lahko dosežemo z urejanjem vsebine diska, oziroma delov datotek (fragmentov), da se združijo v eno povezano datoteko. Pri tem navadno uporabljamo kopiranje delov datoteke na različna mesta v pomnilniku, zaradi česar se podatki nikoli ne izgubijo.

Med postopkom defragmentacije, program za defragmentiranje, premika datoteke v disku, za kar potrebuje dovolj prostega prostora. Ker je postopek intenzivna operacij, bo v času izvajanja programa delovanje sistema oslabšano, zato je bolje, da se ob tem naprava ne uporablja, prav tako pa reorganizacija diska ne vpliva na lokacijo datoteke definirane v imeniku datotek.



Slika 2: Primer defragmentacije diska

## Postopek defragmentacije

Postopek defragmentacije običajno vključuje več prehodov, vsak z določenimi funkcijami:

- **Analitični prehod:** Program za defragmentacijo analizira datotečni sistem, da prepozna fragmentirane datoteke in prosta območja. Določi obseg fragmentacije in oceni, koliko dela je potrebno.
- **Defragmentacijski prehod:** To je glavni prehod, kjer programska oprema premakne fragmentirane datoteke v zaporedne bloke. Reorganizira podatke, da zmanjša razdaljo, ki jo morajo premikati bralno/pisalne glave, kar pospeši dostop do datotek.
- **Kompaktacijski prehod:** V tem prehodu defragmentator lahko premakne datoteke bližje skupaj, da ustvari večje bloke prostega prostora. To pomaga pri prihodnjih zapisih datotek, saj zmanjšuje fragmentacijo skozi čas.
- **Konsolidacija prostega prostora:** Ta prehod se osredotoča na konsolidacijo prostega prostora na disku. Z gibanjem datotek orodje za defragmentacijo ustvari večja zaporedna območja prostega prostora, kar lahko pomaga preprečiti prihodnjo fragmentacijo.
- **Zaključni prehod:** Ta prehod lahko vključuje posodobitev datotečnega sistema, da odraža nove lokacije datotek, ter zagotavljanje, da so vse spremembe pravilno zabeležene. Lahko vključuje tudi končni pregled, da potrdi, da je bila fragmentacija zmanjšana.

# Defragmentacija v sistemu Windows

## Datotečni sistem FAT

FAT32 shranjuje datoteke kot niz gruč (clusters), ki so povezani z vnosi v tabeli za dodelitev datotek (File Allocation Table, FAT). Vsak vnos vsebuje bodisi številko naslednje gruče v datoteki bodisi posebno vrednost, ki označuje konec datoteke. Ko mora operacijski sistem prebrati ali zapisati datoteko, začne z začetno gručo in sledi povezavam v tabeli FAT, dokler ne doseže konca datoteke.

Gruča	Naslednja Gruča
10	15
15	20
20	Konec datoteke

Fragmentacija datotek v FAT32 se pojavi, kadar datoteke ni mogoče shraniti v zaporedju strnjenih gruč, bodisi zaradi pomanjkanja prostega prostora bodisi zaradi rasti ali krčenja datoteke skozi čas. FAT32 obravnava fragmentacijo datotek tako, da poskuša dodeliti gruče čim bližje obstoječim, da zmanjša razdaljo med njimi.

Sistemi MS-DOS 6.x in Windows 9x vključujejo orodje za defragmentacijo, imenovano Defrag.

## Datotečni sistem NTFS

NTFS uporablja vnose MFT za definiranje datotek, ki jim pripadajo. Vse informacije o datoteki, vključno z velikostjo, časovnimi žigi, dovoljenji in vsebino podatkov, so shranjene v vnosih MFT oziroma v prostoru zunaj MFT, ki ga ti vnosi opisujejo. Ko se datoteke dodajajo na NTFS volumen, se v MFT dodajajo novi vnosi, kar povečuje njegovo velikost. Ob brisanju datotek, se njihovi vnosi v MFT označijo kot prosti in se lahko ponovno uporabijo, vendar MFT ne zmanjša svoje velikosti.

Operacija defragmentacije združi datoteko MFT v eno celoto in prepreči, da bi bila shranjena na več nepovezanih mestih na disku. Na ta način postane datoteka MFT bolj zaporedna. Vendar pa se velikost datoteke MFT po operaciji defragmentacije ne spremeni.

NTFS je bil uveden z operacijskim sistemom Windows NT 3.1, vendar gonilnik datotečnega sistema NTFS ni vseboval nobenih funkcij za defragmentacijo. V sistemu Windows NT 4.0 so bili uvedeni API-ji za defragmentacijo, ki so jih lahko uporabljala orodja tretjih oseb za izvajanje nalog defragmentacije. Novejše različice sistema Windows uporabljajo program defrag za defragmentacijo diska.

## Windows API za defragmentacijo

Za omogočanje defragmentacije brez potrebe po podrobnem poznavanju strukture diska datotečnega sistema so na voljo tri kontrolne kode. Te omogočajo naslednje funkcionalnosti:

- Omogočajo aplikacijam iskanje praznih gruč (clusterjev).
- Določajo lokacijo gruč datotek na disku.
- Premikajo gruč na disku.

Te kontrolne kode prav tako pregledno rešujejo problem onemogočanja in omogočanja drugim procesom, da berejo iz datotek in pišejo vanje med premiki.

Te operacije je mogoče izvajati, ne da bi pri tem onemogočili delovanje drugih procesov. Vendar pa imajo drugi procesi med defragmentacijo diska daljši odzivni čas.

Za defragmentacijo datoteke:

1. **FSCTL\_GET\_VOLUME\_BITMAP**, najde prostor na disku, ki je dovolj velik, da sprejme celotno datoteko.
2. **FSCTL\_GET\_RETRIEVAL\_POINTERS**, pridobi zemljevid trenutne razporeditve datotek na disku.
3. **FSCTL\_GET\_RETRIEVAL\_POINTERS** ki vrne strukturo **RETRIEVAL\_POINTERS\_BUFFER**.
4. **FSCTL\_MOVE\_FILE**, premakne gručo med pregledovanjem strukture.

Dve od operacij, ki se uporabljata v postopku defragmentacije, zahtevata ročaj (handle) za nosilec (volume). Ročaj za nosilec lahko pridobijo samo skrbniki, zato lahko nosilec defragmentirajo samo skrbniki. Aplikacija bi morala preveriti pravice uporabnika, ki želi zagnati programsko opremo za defragmentacijo, in uporabniku ne sme dovoliti defragmentacije nosilca, če nima ustreznih pravic.



## Orodje defrag

defrag <nosilci> | /c | /e <nosilci> [/h] [/m [n]] [/u] [v]

defrag <nosilci> | /c | /e <nosilci> /a [/h] [/m [n]] [/u] [v]

defrag <nosilci> | /c | /e <nosilci> /x [/h] [/m [n]] [/u] [v]

defrag <nosilec> [<parametri>]

Parametri:

Parameter	Opis
<nosilec>	Določa črko pogona ali pot točke priklopa nosilca, ki ga želite defragmentirati ali analizirati.
/a	Izvede analizo na določenih nosilcih.
/b	Izvede optimizacijo zagona za izboljšanje zmogljivosti zagona.
/c	Izvede operacijo na vseh nosilcih.
/d	Izvede tradicionalno defragmentacijo (privzeto). Pri nosilcu z več sloji pa se izvede samo na sloju zmogljivosti.
/e	Izvede operacijo na vseh nosilcih, razen na tistih, ki so navedeni.
/g	Optimizira sloje shranjevanja na določenih nosilcih.
/h	Izvede operacijo z normalno prioriteto (privzeto je nizka).
/i [n]	Optimizacija slojev se izvaja največ n sekund na vsakem nosilcu.
/k	Izvede konsolidacijo plošč (slab consolidation) na določenih nosilcih.
/l	Izvede retrim na določenih nosilcih.
/m [n]	Izvede operacijo na vsakem nosilcu vzporedno v ozadju. Največ n niti optimizira sloje shranjevanja vzporedno.
/o	Izvede ustrezno optimizacijo za vsak tip medija.
/t	Sledi operaciji, ki je že v teku na določenem nosilcu.
/u	Prikazuje napredek operacije na zaslonu.
/v	Prikazuje podrobne informacije o statistiki fragmentacije.
/x	Izvede konsolidacijo prostega prostora na določenih nosilcih.
/?	Prikaže informacije o pomoči.

# Defragmentacija v sistemu Linux

## Datotečni sistem Btrfs

Btrfs je datotečni sistem, ki temelji na principu COW (Copy on Write). Takšni datotečni sistemi imajo veliko prednosti, vendar se soočajo z nekaterimi težavami, ena izmed teh je tudi fragmentacija. Pri pisanju podatkov na disk Btrfs sprva razporedi podatke zaporedno, toda zasnova COW zahteva, da se kakršnekoli kasnejše spremembe datoteke ne smejo zapisati na mesto starega podatka, temveč v prosti blok, kar lahko povzroči fragmentacijo podatkov.

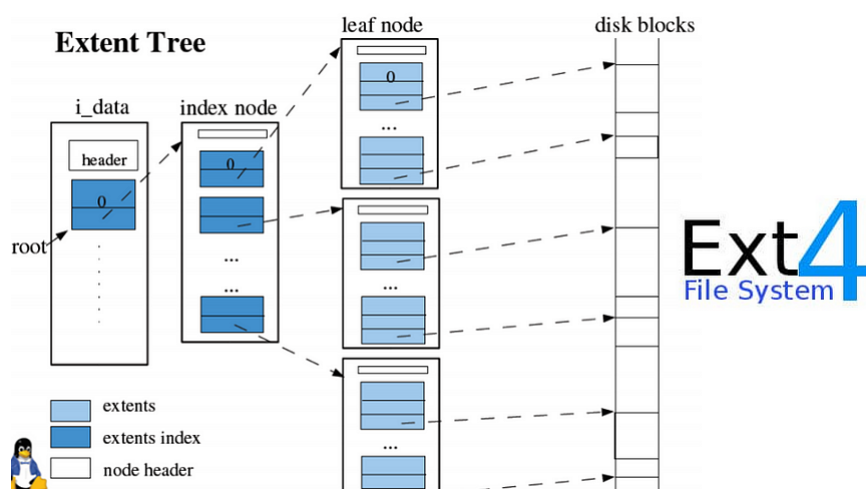
Btrfs že ponuja rešitve za odpravljanje fragmentacije:

- Podpora za tako imenovano "online" defragmentacijo: Na voljo je ukaz "btrfs filesystem defragment", s katerim lahko uporabnik sproži defragmentacijo. Med postopkom reorganizacije datotek, je možno datotečni sistem aktivno uporabljati.
- Izbira montažne opcije "-o nodatacow": Ta možnost onemogoči COW za podatke.
- Uporabe "-o autodefrag": Ta mehanizem zaznava majhne naključne zapise v datoteke in jih dodaja v vrsto za samodejni postopek defragmentacije. Tako se datotečni sistem defragmentira sam med uporabo.

## Datotečni sistem ext2, ext3, ext4

Linux ext2, ext3 in ext4: Ti datotečni sistemi uporabljajo tehnike dodeljevanja, zasnovane za stalno preprečevanje fragmentacije. Posledično defragmentacija v veliki večini primerov ni potrebna. ext2 uporablja orodje za odklopno defragmentacijo, imenovano e2defrag.

Za defragmentacijo datotečnega sistema ext3 lahko uporabimo druga orodja ali tista, neodvisna od datotečnega sistema, kot je defragfs. ext4 je deloma združljiv z ext3, zato imajo defragmentacijski programi na splošno enako podporo zanj. Trenutno je za defragmentacijo datotečnega sistema ext4 mogoče uporabiti e4defrag, ki omogoča tudi spletno defragmentacijo.



Slika 3: Shema datotečnega sistema ext4

Ext4 za preprečevanje fragmentacije uporablja sledeče tehnike:

- Zakasnjena dodelitev (Delayed allocation): ). Po tem sistemu, ko datoteka potrebuje več blokov za absorbiranje zapisov, datotečni sistem odloži odločitev o točni postavitvi na disku, dokler se vsi umazani medpomnilniki ne zapišejo na disk.
- Multy block allocator: Ko je datoteka najprej ustvarjena, razporejevalnik blokov spekulativno dodeli 8 KiB prostora na disku za datoteko ob predpostavki, da bo ta prostor kmalu zapisan. Ko je datoteka zaprta, se neuporabljene spekulativne dodelitve sprostijo, vendar če je spekulacija pravilna, se podatki datoteke zapišejo v en sam večblokovni razpon (extent).
- Ohranitev podatkovnih blokov blizu njihovih inode-ov: To zmanjšuje časovno kazen zaradi premikanja, ko datotečni sistem najprej prebere inode datoteke, da ugotovi, kje so njeni podatkovni bloki, nato pa se premakne do teh blokov za začetek I/O operacij.
- Če je možno so vsi inode zapisani v istem bloku kot imenik: Predpostavlja se, da so vse datoteke v imeniku lahko povezane, zato je koristno, da so vse skupaj.
- Disk je razdeljen v 128MB velike blokovne skupine: Ko je imenik ustvarjen v korenskem (root) imeniku, razporejevalnik pregleda blokovne skupine in postavi nov imenik v najmanj obremenjeno blokovno skupino. Ta način shranjevanja poizkuša izenačiti obremenitev blokovnih skupin.

Seveda, če vse te metode ne uspejo, lahko uporabimo e4defrag za defragmentacijo datotek.

## Orodje e4defrag

`e4defrag [ -c ] [ -v ] target ...`

e4defrag zmanjša fragmentacijo datotek na osnovi obsegov. Datoteke, ki jih cilja e4defrag, so ustvarjene na datotečnem sistemu ext4 z uporabo možnosti `-O extent`. Ciljne datoteke pridobijo bolj zgoščene bloke, kar izboljša hitrost dostopa do datotek.

Cilj (*target*) je lahko običajna datoteka, imenik ali naprava, priklopljena kot datotečni sistem ext4. Če je cilj imenik, e4defrag zmanjša fragmentacijo vseh datotek v njem. Če je cilj naprava, e4defrag pridobi točko priklopa naprave in zmanjša fragmentacijo vseh datotek na tej točki

e4defrag ne podpira swap datotek, datotek v imeniku `lost+found`, ter datotek, dodeljenih v posrednih blokih.

Varno je zagnati e4defrag na datoteki, ki jo hkrati uporablja druga aplikacija. Vsebina blokov datotek se kopira s predpomnilnikom strani (*page cache*), kar lahko povzroči upočasnitev tako za e4defrag kot za aplikacijo, zaradi tekmovanja za pomnilnik in pasovno širino diska.

# Defragmentacij v sistemu MacOS

## Datotečni sistem HFS Plus

HFS Plus, ki je bil uveden leta 1998 z Mac OS 8.1, vključuje več optimizacij algoritmov dodeljevanja, da bi poskušal defragmentirati datoteke med dostopom brez uporabe ločenega orodja za defragmentacijo. Za datoteke, ki so primerne za sprotno ("on-the-fly") defragmentacijo, veljajo nekatere omejitve (vključno z največjo velikostjo 20 MB). Poleg tega je na voljo orodje iDefrag podjetja Coriolis Systems.

Osnovna enota za dodelitev prostora v HFS+ dodelitveni blok, katerega velikost je običajno večkratnik velikosti bloka trdega diska. Glavna metoda dodelitve, ki jo uporablja HFS+, temelji na razponu (extent). Razpon je zaporedje dodelitvenih blokov, ki je v HFS+ predstavljen z parom števil: začetni blokom in številom blokov, ki mu sledijo.

HFS+ uporablja zakasnjeno dodelitev (delayed allocation): namesto da bi dodeljeval bloke, ko se datoteka zapisuje v pomnilnik, datotečni sistem lahko rezervira prostor, dejansko dodelitev pa se zakasni, dokler se predpomnilnik ne zapiše na disk. Tako lahko več majhnih dodelitev združimo v večje povezane dodelitve.

Datoteka dodeljevanja (Allocation File) sledi, kateri dodelitveni bloki so prosti in kateri so v uporabi. Datoteka dodeljevanja se lahko tudi spreminja v velikosti in ni nujno shranjena v neprekinjenem prostoru.

Ko se datoteka odpre na HFS+ volumenu, se preverijo naslednji pogoji:

- Če je datoteka manjša od 20 MB
- Če datoteka ni že v uporabi
- Če datoteka ni samo za branje
- Če ima datoteka več kot osem razponov
- Če je sistem aktiven vsaj tri minute

Če so vsi zgoraj navedeni pogoji izpolnjeni, se datoteka premesti oziroma se defragmentira v realnem času.

## Datotečni sistem APFS

Apple File System (APFS) je optimiziran za shranjevanje na pogonih SSD, saj za razliko od HFS+, ne shranjuje metapodatkov na fiksni lokaciji, temveč jih hrani skupaj z dejanskimi podatki datotek. Ta razdrobljenost metapodatkov pomeni, da se pri naštevanju datotek izvede več iskanj, kar je sprejemljivo za SSD-je, ne pa za trde diske (HDD).

APFS uporablja podobne tehnike za optimizacijo shranjevanja podatkov kot HFS Plus. Apple ni vključil orodja za defragmentacijo v macOS za APFS, saj ni zaznana potreba po tem v vsakodnevem uporabljanju.

# VIRI

<https://en.wikipedia.org/wiki/Defragmentation>

[https://en.wikipedia.org/wiki/File\\_system\\_fragmentation](https://en.wikipedia.org/wiki/File_system_fragmentation)

[https://en.wikipedia.org/wiki/File\\_Allocation\\_Table](https://en.wikipedia.org/wiki/File_Allocation_Table)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Ext4>

[https://en.wikipedia.org/wiki/File\\_system\\_fragmentation](https://en.wikipedia.org/wiki/File_system_fragmentation)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Extent\\_\(file\\_systems\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Extent_(file_systems))

[https://kernelnewbies.org/Linux\\_3.0](https://kernelnewbies.org/Linux_3.0)

<https://docs.kernel.org/filesystems/ext4/overview.html#block-and-inode-allocation-policy>

<https://www.linkedin.com/advice/0/how-does-fat32-handle-file-fragmentation-skills-operating-systems-yufvf>

[https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2012-R2-and-2012/dn466522\(v=ws.11\)](https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2012-R2-and-2012/dn466522(v=ws.11))

[https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/technet-magazine/cc137767\(v=msdn.10\)?redirectedfrom=MSDN](https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/technet-magazine/cc137767(v=msdn.10)?redirectedfrom=MSDN)

<https://www.geeksforgeeks.org/disk-defragmentation-in-operating-system/>

[https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/fileio/defragmenting-files?utm\\_source=chatgpt.com](https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/fileio/defragmenting-files?utm_source=chatgpt.com)

[https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/administration/windows-commands/defrag?utm\\_source=chatgpt.com](https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/administration/windows-commands/defrag?utm_source=chatgpt.com)

<https://web.archive.org/web/20200205220252/http://osxbook.com/software/hfsdebug/fragmentation.html>

<https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/what-does-defragging-do>

<https://developer.apple.com/support/downloads/Apple-File-System-Reference.pdf>

## Slike

Slika 1: <https://www.nsiserv.com/blog/bid/29346/disk-fragmentation-how-it-happens-and-what-defragging-actually-does>

Slika 2: <https://www.avast.com/c-how-to-defrag-pc-hard-drive>

Slika 3: <https://medium.com/@extio/a-comprehensive-guide-to-linux-file-system-types-fcb13cd7d3f3>