

## BENOIT MANDELBROT



Benoit Mandelbrot (20.11.1924 – 14.10.2010) oli Poolas sündinud prantsuse-ameerika matemaatik ja poliitoloog, kellel olid laialdased huvid praktiliste loodusteaduste vastu, eriti aga selle vastu, mida ta nimetas füüsikaliste nähtuste “kareduse viisiks” ja “kontrollimatuks elu osaks”. Ta nimetas ennast fraktalistiks ja ta on tuntud oma panuse poolest fraktalgeomeetrias, kaasa arvatud termini “fraktal” loomisesse, aga samuti ka “kareduse ja iseenesega sarnasuse” teooria arendamist looduses.

Benoit Mandelbrot sündis Varssavis leedulastest juutide perekonda, kus isa oli riidekaupmees ja ema hambaarst. Geopoliitika oli põhjus, miks perekond liikus 1936. a Pariisi, sest seal elas Mandelbroti matemaatikust onu Szolem Mandelbrojt. Kui II maailmasõda algas, siis põgenes perekond natside eest Tulle'i linna, kus Mandelbrot töötas mõnda aega tööriistade valmistajana, olles ohtlikult silmatorkav oma hariduse ja kasvu pärast. Tema haridus jäi ebakorrapäraseks ja katkendlikuks. Hiljem ta rääkis, et ta ei õppinud pähe tähestikku ega üks-kordühte kaugemale viiest. Aga ta oli andekas ja kui Pariis vabastati, tegi ta ära kuupikkused suulised ja kirjalikud eksamid École Normale'i ja École Polytechnique'i. Kõige muu hulgas eksamineeriti ka joonistuuskust ja Mandelbrot avastas, et ta suudab kopeerida Milo Veenust. Aga mis puutub matemaatilistesse eksamitesse, siis seal oskas ka puuduvaid teadmisi osavalt varjata oma geomeetrilise intuitsiooniga, sest ta oli aru saanud, et matemaatilise analüüsi ülesande puhul suutis ta peaaegu alati lahendada ülesande geomeetriselt. Kuid füüsikas ja keemias, kus ta geomeetriat kasutada ei suutnud, sai ta halvad hinded. Mõlemad koolid - École

Normale ja École Polytechnique olid eliitkoolid, millel polnud Ameerikas vasteid. Need kaks kooli valmistasid igal erialal ette 300 tudengit Prantsusmaa ülikoolidele ja tsiviilteenistusele.

Mandelbrot alustas École Normale'is, mis on neist kahest väiksem ja prestiižsem, kuid juba üheainsa päeva pärast lahkus École Polytechnique'i, kuna ta põgenes Bourbaki<sup>1</sup> eest. Mandelbrot alustas õpinguid 1944. a Paul Lévy<sup>2</sup> juhatusel, kelle mõju oli Mandelbrotile väga suur.

Aga siinkohas on mõistlik rääkida Nicolas Bourbakist. Ega vist mitte kusagil mujal kui Prantsusmaal poleks Bourbaki võinud tekkida. Alustas see rühm kui klubi pärast I maailmasõda oma autoritaarsuse armastamisega ja reeglitega õppimiseks. Algatajateks oli olnud Szolem Mandelbrot ja käputäis ebaviisakaid noori matemaatikuid, kes tahtsid Prantsuse matemaatika uuesti üles ehitada. Sõda jättis akadeemilisse katkematusesse suure lünka, eriti aga professorite ja tudengite vahele. Nii see noorte rühm otsustas panna matemaatika uutele alustele. Rühma nimeks valisid nad Bourbaki nime, mis pidi mõjuma atraktiivselt, kuid pidavat olema XIX sajandi kreeka päritolu prantsuse kindrali Charles-Denis Bourbaki nimi (kes muide päris korraliku karjääri lõpus sai hävitava kaotuse Prantsuse-Preisi sõjas). Nimi sündis mänglevalt, kuid mänglevus kadus kiiresti, rühma liikmed kohtusid salaja ja mitte kõigi nimed pole teada, kuid nende arv oli fikseeritud. Viiekümne aastaselt pidi rühma liige lahkuma ja ülejäänud rühm valis hääletamise teel uue andeka matemaatiku liikmeks. Bourbaki mõju laienes varsti kogu kontinendile kui reaktsioon Henry Poincaré vastu, kes ei pööranud suurt tähelepanu tõestustele. Ta olevat öelnud, et tema tulemus peab õige olema, mistõttu seda polegi vaja tõestada.

---

<sup>1</sup> Nicolas Bourbaki on rühma matemaatikute kollektiivne pseudonüüm, kes enamasti on *École normale supérieure*'i vilistlased. Nad alustasid aastatel 1934–1935, ja kavatsesid kirjutada matemaatilise analüüsi õpiku. Kuid ajapikku see siht muutus ambitsioonikamaks, ja kirjutati suur hulk õpikuid Bourbaki nime all. Need pidid parandama modernset puhast matemaatikat. See seeria on tuntud nime *Éléments de mathématique* all ja see on Bourbaki rühma keskne töö. Seeria käsitleb hulkade teooriat, abstraktset algebrat, topoloogiat, analüüsi, Lie rühmi ja Lie algebrad.

<sup>2</sup> Paul Pierre Lévy (1886 – 1971) oli prantsuse matemaatik, kes tegeles aktiivselt tõenäosusteooriaga. tema järgi on nimetatud Lévy protsessid, Lévy lennuteed, Lévy mõõdud, Lévy konstant, Lévy jaotus, Lévy pindala, Lévy arkussiinuse seadus ja fraktaalne Lévy C kõver on kõik nimetatud tema järgi.

Bourbakile selline suhtumine ei meeldinud ja rühm hakkas kirjutama üha fanaatilisemalt teost, mis pihti arusaama matemaatikast muutma loogilisemaks. Tuli alustada kindlatest alusprintsipidest ja tuletama kogu ülejäänu nendest. Rühm rõhutas, et matemaatika on ülim teadustest ja seda ei tohtinud hinnata selle kasutatavuse kaudu reaalsete füüsikaliste nähtuste seletamisel. Ja eriti lubamatud olid joonised, mis pidid matemaatikuid segadusse viima oma visuaalse aparadi kasutamise tõttu. Ka geomeetria polnud usaldusväärne. Ja kuna Prantsusmaa on alati olnud kange kõike reguleerima, siis pole ime, et Bourbaki arusaamad said valitsevateks. See tähendas, et need arusaamad domineerisid ka École Normale'is, aga see polnud Mandelbrotile vastuvõetav. Ta põgenes sellest koolist ja kümme aastat hiljem ka Prantsusmaalt Ameerika Ühendriikidesse. Kuid siis tulid mängu arvutid ja andsid Bourbaki formalismile lammutava hoobi, aga see pole rühmitust tapnud – rühm tegutseb edasi.

Ameerikas lahkus Mandelbrot ka akadeemilisusest, valides IBM'i Thomas J. Watson uurimiskeskuse. Ja edaspidi ta ei näinud kunagi ennast olevat seotud ühegi distsipliiniga, mida ta just parasjagu viljeles. Ka isegi matemaatikud võisid öelda, et Mandelbrot oli ükskõik kes, kuid mitte matemaatik. Tõepoolest, ta uuris matemaatilist lingvistikat, mänguteooriat, majandusteadust, väikeste ja suurte linnade skaleerivaid regulaarsusi. Palju aega kulutas ta müra ilmumise uurimisele arvutitevahelistes telefoniliinides – see müra oli juhuslik ja see ilmus klastritena. Mandelbrot tegi kindlaks, et tegu oli Cantori hulkadega ja nendega sai võidelda vaid infopakettide korduva saatmisega. Siis uuris ta riikide rannajoone pikkust ja avastas, et see sõltub mõõtja mõõdulati pikkusest ja on tegelikult lõpmata pikk. See uurimine viis Mandelbroti ootamatult dimensioonide käsitlemisele. Mis siin võiks imelikku olla – kõik ju teadsid, et punktil pole dimensiooni, joonel on üks, pinnal on kaks, ruumil on kolm – kõik tundub ju korras olevat? Aga mis dimensioon on nõõrikeral? Vaat see sõltub vaataja kaugusest. Kaugelt vaadates polegi tal dimensiooni, lähemalt on kolm, veel lähemalt on üks. Milline siis see õige on? Mandelbrot võttis kasutusele murdarvulise dimensiooni, mis osutus äärmiselt

kasulikuks. 1975. a, lapates poja ladina keele sõnaraamatut, leidis Mandelbrot sõna *fractus* – murtud ja tegi sellest kulutulena levima hakanud termini *fraktal*. Fraktalid olid tihedasti seotud Mandelbroti loodud kareduse teooriaga, sest ta oli näinud mägede kujudes, rannajoontes, jõgede sängides, taimede struktuurides, veresoontes, kopsudes ja galaktikate parvedes. Ta pidi leidma mingi matemaatilise valemi kõikide niisuguste kareduse mõõtmiseks. Mandelbrot taipas, et ta saab kasutada fraktaleid just sellise kareduse mõõtmiseks. Ta polnud esimene selliste “karedate” objektide käsitlemisel, kuid see oli käinud juhuslikult ja erinevate objektide puhul erinevalt. Mandelbrot tõi selle kõik ühise nimetaja alla. Ta leidis, et fraktalid pole sugugi ebaloomulikud, vaid intuiitselt paremad loodust kirjeldama kui kunstlikud ja traditsionaalsed Eukleidese geomeetria objektid. Kui Mandelbrot oli kirjutanud raamatu *Fraktalgeomeetria looduses*, siis tänu oma stiili kirglikkusele ja visuaalse ning geomeetrilise intuitsiooni tõttu oli raamat arusaadav ka mittespetsialistidele. Sellisena tekitas raamat suurt huvi fraktalite ning kaose teooria vastu. Mandelbrot pani oma ideed tööle ka kosmoloogias, pakkudes 1974. a välja uue seletuse Olbersi paradoksile<sup>3</sup>. Ta näitas, et fraktalteooria järeldused on küllaldased, kuid mitte vajalikud paradoksi seletamiseks. Mandelbrot postuleeris, et kui tähed on Universumis fraktaalset jaotunud, siis pole Olbersi paradoksi seletamiseks Suurt Pauku vajagi. Mandelbroti teooria ei nõuaks Suur Paugu hüpoteesi kõrvaldamist, kuid lubab öötaeval tume olla ka ilma Suure Pauguta.

Mandelbrot on kuulus ka omanimelise hulga poolest, mis on kahemõõtmeline ja väga keeruleine, eriti kui seda suurendatakse. Hulk sai tegelikult oma alguse kompleksses dünaamikas, mida uurisid XX sajandi alguses kaks prantsuse matemaatikut Pierre Fatou ja Gaston Julia. Hulk on defineeritud kompleksstasandil funktsioonina

$$f(z) = z^2 + c,$$

---

<sup>3</sup> Olbersi paradoks ehk tumeda öötaeva paradoks ütleb, et kui Universum on lõpmatu ja igaveselt staatiline, siis ei saa öötaevas tume olla, vaid peab olema peaaegu lõpmatult hele.

mis jääb lõplikuks absoluutväärtuse mõttes, kui seda itereeritakse alates  $z = 0$ . lõpmatuseni. Mandelbroti hulga kujutised on lõpmatu keerulise piiriga, mis ilmutab aina peenemaid rekursiivseid detaile, kui suurendus kasvab. Matemaatiliselt saab öelda, et Mandelbroti hulga piir on fraktalkõver. Mandelbroti auhindu on nii palju, et lugejat on õigem suunata saidile: [https://en.wikipedia.org/wiki/Benoit\\_Mandelbrot](https://en.wikipedia.org/wiki/Benoit_Mandelbrot).

Nimetagem siin kohal vaid kõige olulisemad:

Wolfi auhind 1993. a; Euroopa Gefüüsika seltsi Lewis Fry Richardsoni auhind 200. a; Jaapani auhind 2003. a; ja Ameerika Matemaatikaseltsi Einsteini lektorium 2006. a.

Väike asteroid *27500 Mandelbrot* sai oma nime Mandelbroti auks. 1990. a nimetati Mandelbrot Prantsusmaa Auleegioni rüütliks ning 2006. a nimetati ta Auleegioni ohvitseriks; Johns Hopkinsi ülikool andis Mandelbrotile au teaduskraadi 2010. a.

Mandelbrot suri kõhunäärme kasvaja tõttu 85 aastaseks Cambridge'is (Massachusetts, USA). Tema järelhüüe *Economist*'is kiidab teda kui fraktalgeomeetria isa. Menukitest esseede autor Nassim Nicholas Taleb märgib, et Mandelbroti raamat *The (Mis)Behavior of Markets* on tema arvates sügavaim ja kõige realistlikum finantsidest kirjutatud raamat üldse.

## **Kasutatud allikad**

[https://en.wikipedia.org/wiki/Nicolas\\_Bourbaki](https://en.wikipedia.org/wiki/Nicolas_Bourbaki)

<https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Mandelbrot/>

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

[https://en.wikipedia.org/wiki/Benoit\\_Mandelbrot](https://en.wikipedia.org/wiki/Benoit_Mandelbrot)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Paul\\_L%C3%A9vy\\_\(mathematician\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_L%C3%A9vy_(mathematician))

J. Gleick, *Chaos: Making a New Science*, Open Road Media, 2011