








Modelarea piețelor financiare

Capitolul 16: Active digitale și DeFi



Daniel Traian PELE

Academia de Studii Economice din București
IDA Institute Digital Assets
Blockchain Research Center
AI4EFin Artificial Intelligence for Energy Finance
Academia Română, Institutul de Prognoză Economică
MSCA Digital Finance

Ce măsurători trebuie adaptate pentru activele digitale?

> *"A purely peer-to-peer version of electronic cash would allow online payments to be sent directly from one party to another without going through a financial institution."*
>
> — *Nakamoto (2008)*

- Bitcoin a pornit ca numerar electronic fără intermediar; azi este un activ financiar
  - valoarea de piață a Bitcoin: 1,63 mii de miliarde USD (*US dollar*, dolarul american) pe 18 sept. 2026, adică 82,5% din valoarea celor cinci monede mari
- Randamentele cripto provin dintr-o piață de 7 zile, comparată cu piețe cu 5 zile de tranzacționare
  - volatilitatea anualizată a Bitcoin în 2018–2026: 64%, de 3,3 ori cea a indicelui S&P 500 (19%; *Standard & Poor's*)
- Legătura Bitcoin–acțiuni s-a schimbat în 2020, nu la lansarea ETF-urilor spot în ianuarie 2024
  - ETF: Exchange-Traded Fund, fond tranzacționat la bursă care deține moneda
  - data rupturii, la minimul sumei pătratelor reziduurilor: 9 mart. 2020; statistica sup-Wald 20,12, peste valoarea critică 5% de 11,55
  - corelația randamentelor zilnice Bitcoin și S&P 500: 0,01 înainte de ruptură, 0,40 după
- Paritatea de 1 USD a unui stablecoin depinde de rezerve și de decontarea răscumpărărilor
  - după închiderea Silicon Valley Bank, USD Coin a atins minimul zilnic de 0,8774 USD sîmbătă, 11 martie 2023

▸ Graficul central: Corelația dintre Bitcoin și acțiuni

Activele digitale: ce este diferit și cum măsurăm

Active digitale, prețuri și lichiditate

- Ce măsurători trebuie adaptate pentru cripto-active, stablecoin-uri și pool-uri DeFi?
- Partea I: piața cripto, faptele stilizate ale randamentelor, indicii cripto (CRIX), stablecoin-urile
- Partea a II-a: DeFi (Decentralized Finance, finanțe descentralizate) și formatorii automați de piață, ETF-urile spot (Exchange-Traded Funds, fonduri tranzacționate la bursă care dețin moneda) și acțiunile „cripto”
  - Cripto-activele ca clasă de active, un studiu de caz, o trecere prin bucla de cercetare asistată de inteligența artificială (AI, Artificial Intelligence)
- Detalii și subiecte avansate: Aprofundări

Rezultatele învățării

- calculați statisticile unei piețe de 7 zile pe calendarul corect și intervale de încredere pentru indicele cozii (*tail index*), volatilitate și corelații
- calculați un indice ponderat cu valoarea de piață, cu divizor, și estimați paritatea unui stablecoin ca model autoregresiv cu prag (AR cu prag)
- derivați prețul unui schimb într-un pool cu produs constant și interpretați furnizarea de lichiditate ca vînzare de volatilitate
- interpretați eroarea de urmărire a ETF-urilor, coeficienții beta cripto și afirmațiile despre clasa de active, cu teste care țin cont de orele de închidere și de datele necunoscute ale rupturilor
- Aprofundări și Anexa: lectură pentru familiarizare

Blockchain, monede și tokenuri



Bustul lui Satoshi Nakamoto, Graphisoft Park, Budapesta

Foto: Fekist (2021); CC BY-SA 4.0; Wikimedia Commons

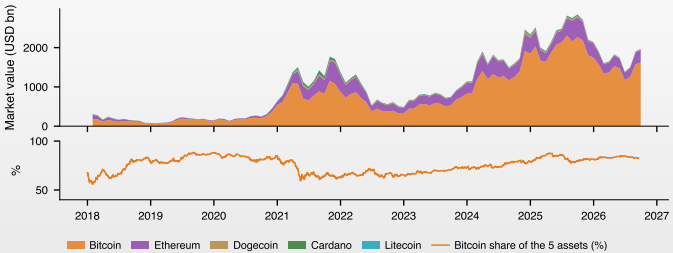
- **Blockchain** Nakamoto (2008): un registru comun de blocuri, fiecare cu amprenta (hash) blocului anterior
  - Securizat prin dovada muncii (Bitcoin) sau dovada mizei (Ethereum din 15 septembrie 2022, ethereum.org: The Merge)
- Emisiunea de Bitcoin se înjumătățește periodic (halving) Bitcoin.org FAQ
  - pînă la plafonul de 21 de milioane de monede
- Pe 18 sept. 2026 existau 20,09 milioane de monede
- **Monedele** sînt activele native ale unui blockchain
  - **tokenurile** (stablecoin-uri, tokenuri de guvernanță, fonduri tokenizate) sînt emise de **contracte inteligente** Buterin (2014)
  - DeFi este construit din astfel de contracte Schär (2021)
- Lucrări de sinteză
  - Böhme, Christin, Edelman & Moore (2015) și Lin, Pele & Ren (2025) pentru tehnologie și guvernanță
  - Härdle, Harvey & Reule (2020) pentru economie

Date cripto pe 7 zile alături de piețe cu 5 zile de tranzacționare

Seria	Conținut	Perioada
Prețuri cripto	Bitcoin, Ethereum, Solana, Dogecoin, Cardano, Litecoin; zilnic, 7 zile din 7	2018–2026
Stablecoin-uri	Prețurile Tether (USDT), USD Coin (USDC), Dai (DAI); oferta pe monede (DefiLlama)	2019–2026
Oferta de monede	Monede în circulație, zilnic (Coin Metrics Community Data)	2018–2026
DeFi	Valoarea totală blocată, toate blockchain-urile și pe blockchain-uri (DefiLlama)	2020–2026
ETF-uri și acțiuni	ETF-uri spot pe Bitcoin (IBIT) și Ether (ETHA), Coinbase, Strategy; S&P 500, Nasdaq 100 (ETF-ul QQQ), aur (XAU/USD, USD pe uncie)	2018–2026
Universul de active	26 de active: cripto, indici bursieri, valute, mărfuri, obligațiuni	2019–2026

- Închideri zilnice pînă la 18 septembrie 2026; cripto-activele au date în toate zilele săptămînii
- Analizele care combină mai multe active folosesc zilele comune
  - întîi aliniem prețurile, apoi calculăm randamentele
- Unele teste folosesc istorii mai lungi și serii suplimentare

Valoarea de piață a cinci criptomonede



- **Valoarea de piață** a monedei i la sfîrșitul lunii t: $M_{i,t} = P_{i,t} \times Q_{i,t}$
  - $P_{i,t}$: prețul în USD
  - $Q_{i,t}$: monedele în circulație
  - Bitcoin: 1,63 mii de miliarde USD pe 18 sept. 2026
- Cele cinci monede valorează azi 1 970 de miliarde USD, față de maximul de 3 135 de miliarde (6 oct. 2025)
- Valoarea urmează prețurile, iar oferta se modifică lent
- Ponderea Bitcoin: 82,5% azi, între 55,8% (1 feb. 2018) și 88,5% (5 sept. 2019)

MFM_ch16_market_value ▶ Interactiv

Faptele stilizate: întrebarea și datele

- **Întrebarea**: au randamentele cripto aceleași fapte stilizate ca acțiunile, dar la altă scară?
  - cozi groase, gruparea volatilității (*volatility clustering*), drawdown-uri adînci
- De ce contează: VaR, ES și orice interval de încredere depind de grosimea cozii
  - VaR: Value at Risk; ES: Expected Shortfall
  - Dacă momentul de ordin 4 este infinit, kurtosis-ul empiric nu estimează niciun parametru: avem nevoie de indicele cozii α, care măsoară grosimea cozii
- Activele de comparație
  - S&P 500: activul de risc de referință
  - aurul: Bitcoin este comparat cu el ca „aur digital"
- Perioada 2018–2026: aceeași fereastră pentru toate activele
  - include crahul din martie 2020, iarna cripto din 2022 și lansarea ETF-urilor spot
- Calendarul: statisticile fiecărui activ pe propriul calendar
  - 7 zile pentru cripto, 5 pentru acțiuni
  - perechile de active: pe zilele comune

Măsurile: randament, volatilitate, asimetrie, drawdown, grupare

- Randamentul log zilnic în %: $r_t = 100\,(\ln P_t - \ln P_{t-1})$
  - P_t: închiderea din ziua t, fiecare serie pe propriul calendar
- Volatilitatea anualizată $\sigma_a = s\sqrt{A}$
  - s: abaterea standard empirică a lui r_t
  - A: perioadele de randament pe an, aproximativ 365 pentru cripto și 252 pentru acțiuni
- Asimetria $S = \overline{(r - \bar{r})^3}/s^3$, cu bara pentru media empirică: $S < 0$ înseamnă o coadă stîngă mai lungă
- Drawdown-ul maxim $\mathrm{MDD} = \min_t(P_t/\max_{u \le t} P_u - 1)$
  - cea mai mare cădere față de maximul curent, între -100% și 0
- Gruparea volatilității $\hat{\rho}_1(|r|)$: autocorelația empirică a lui $|r_t|$ la lagul 1
  - definiția: Capitolul 1
  - o valoare > 0: mișcările mari tind să urmeze mișcări mari

VaR și ES istorice

- $\mathrm{VaR}_{1\%} = -q_{1\%}(r)$ și $\mathrm{ES}_{2{,}5\%} = -\frac{1}{0{,}025}\int_0^{0{,}025} q_u(r)\,du$ istorice, zilnice
  - definițiile: Capitolul 7
  - $q_p(r)$: cuantila empirică de ordin p a randamentelor
  - ES istoric: integrala funcției cuantile empirice, cu pondere fracționară pentru observația de la frontieră
  - De ce două niveluri: regulile Basel pentru riscul de piață au înlocuit VaR la 1% cu ES la 2,5% (Basel Committee, MAR33, par. 33.3)
  - Pentru distribuția Normală cele două sînt apropiate, $2{,}326\sigma$ și $2{,}338\sigma$
  - $\mathrm{ES}_p \geq \mathrm{VaR}_p$ este valabilă la același p, nu între niveluri diferite

Estimarea indicelui cozii: estimatorul Hill

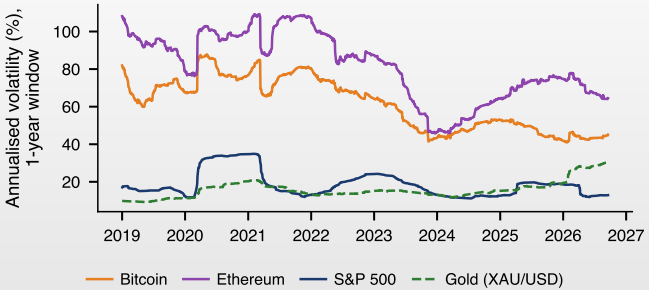
- Coada de tip lege de putere a pierderii zilnice $L = -r$: $P(L > x) \sim Cx^{-\alpha}$ pentru x mare
  - $C > 0$: o constantă de scală
  - α: **indicele cozii** (cu cît α este mai mic, cu atît coada este mai grea)
  - Momentul $E|r|^q$ este finit doar pentru $q < \alpha$
- Estimatorul Hill Hill (1975) din cele mai mari k pierderi: $\hat{\alpha}_H = \left(\frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} \ln(L_{(j)}/L_{(k+1)})\right)^{-1}$
  - $L_{(1)} \geq L_{(2)} \geq \ldots$: pierderile ordonate descrescător
  - k este 5% din numărul pierderilor, iar $L_{(k+1)}$ are rolul de prag
  - Rapoarte $L_{(j)}/L_{(k+1)}$ mari în medie dau un $\hat{\alpha}_H$ mic: o coadă grea
  - Eroarea standard (SE, Standard Error) $\mathrm{SE} = \hat{\alpha}_H/\sqrt{k}$ pentru date independente și identic distribuite (i.i.d.), iar intervalul de încredere (CI, Confidence Interval) 95% este $\hat{\alpha}_H \pm 1{,}96\,\mathrm{SE}$ (condițiile și dependența în Anexă)

Cripto-active, acțiuni și aur, 2018–2026

	n	σ_a (%)	S	MDD (%)	$\hat{\rho}_1(\lvert r\rvert)$	$\hat{\alpha}_H$	CI 95%	$\mathrm{VaR}_{1\%}$	$\mathrm{ES}_{2{,}5\%}$
Bitcoin	3 182	64	−0,95	−82	0,17	2,73	[2,12; 3,33]	10,2	10,3
Ethereum	3 182	84	−0,82	−94	0,16	2,67	[2,08; 3,26]	13,5	13,7
Solana	2 351	117	−0,22	−96	0,28	2,85	[2,12; 3,58]	14,5	17,2
Dogecoin	3 182	124	4,88	−92	0,37	2,83	[2,22; 3,45]	13,8	16,4
S&P 500	2 189	19	−0,65	−34	0,36	2,87	[2,07; 3,67]	3,4	3,8
Aur	2 269	17	−0,55	−28	0,13	2,75	[1,99; 3,51]	3,0	3,2

- Randamente log zilnice, în %, Solana din aprilie 2020; VaR și ES sînt pierderi ale randamentului log
- Volatilitatea Bitcoin este de 3,3 ori cea a S&P 500
- VaR 1% zilnic al Bitcoin: 10,2% ca randament log, adică o pierdere de 9,7% din valoarea poziției
- Indicii Hill sînt între 2,67 și 2,87 pentru toate cele șase active
  - cripto-activele sînt mai volatile
  - dar datele nu indică diferențe semnificative între indicii cozii (testele în Anexă)
- Toate cele șase CI 95% i.i.d. se află sub 3,7: $\alpha < 4$, deci $E|r|^4 = \infty$, este plauzibil, dar nu este dovedit
- Dacă $\alpha < 4$, excesul de kurtosis empiric $K = \overline{(r-\bar{r})^4}/s^4 - 3$ nu estimează un parametru finit: raportăm $\hat{\alpha}_H$ cu CI
- Tipul de dovadă: descriere (arată ce s-a întîmplat în date, fără un test al cauzei)

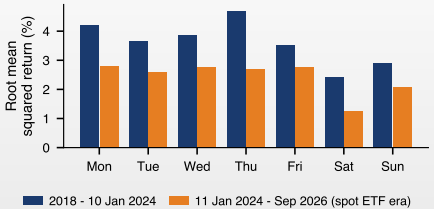
Volatilitatea în timp



- Abaterea standard anualizată a randamentelor log zilnice pe o fereastră mobilă (*rolling window*) de un an
- Bitcoin a scăzut de la 88% la 45% azi, Ethereum de la 109% la 64%
  - evoluție compatibilă cu maturizarea pieței, dar graficul nu identifică o cauză
- Bitcoin este încă de 3,5 ori mai volatil decît S&P 500 (13%)
  - aurul a ajuns la 30% în 2026, maximul perioadei analizate

MFM_ch16_stylised ▶ Interactiv

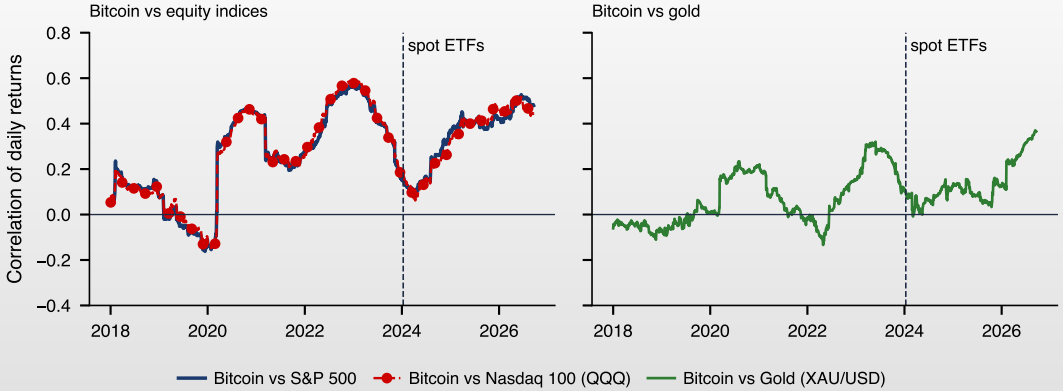
O piață de 7 zile, cu volatilitate redusă în weekend



- Rădăcina mediei pătratelor randamentelor zilnice Bitcoin, pe zilele săptămînii
- Raportul dintre dispersia din weekend și cea din zilele lucrătoare
  - 0,45 înainte și 0,39 după 11 ianuarie 2024 (lansarea ETF-urilor spot)
- Bitcoin se tranzacționează și sîmbăta
  - dar în weekend lipsesc știrile macroeconomice, bursa americană și fluxurile ETF
- Toate zilele sînt mai calme după lansarea ETF-urilor
  - rădăcina mediei pătratelor în zilele lucrătoare trece de la 4,01% la 2,73%
- Anualizăm cu 365 de zile, dar nu tratăm toate zilele ca identice
- Modificarea raportului este testată în Seminarul 16, B1

MFM_ch16_weekday ▶ Interactiv

Corelația dintre Bitcoin și acțiuni (1/2)



MFM_ch16_correlation ▶ Interactiv

Corelația dintre Bitcoin și acțiuni (2/2)

- Graficul: corelația randamentelor log zilnice pe o fereastră mobilă de 250 de zile comune
- Corelațiile pe toată perioada, Bitcoin și S&P 500
  - 0,02 în 2017–2019 ($n = 754$)
  - 0,39 în 2020–2023 ($n = 1\,006$)
  - 0,38 după ETF-uri ($n = 674$ de zile)
- Bitcoin și Nasdaq 100: la fel ca pentru S&P 500 (0,38 după ETF-uri)
- Bitcoin și aurul: $-0{,}02$ în 2017–2019, 0,12 în 2020–2023 și 0,22 după ETF-uri
- Beneficiul de diversificare este mai mic decît înainte de 2020 Bouri et al. (2017), Liu & Tsyvinski (2021)
- Graficul sugerează o ruptură la începutul lui 2020, nu în ianuarie 2024
  - ipoteza este testată în continuare

MFM_ch16_correlation

Beta Bitcoin față de S&P 500: CAPM

- CAPM (Capital Asset Pricing Model): $E[r_i] - r_f = \beta_i \, (E[r_m] - r_f)$, cu $\beta_i = \mathrm{Cov}(r_i, r_m)/\mathrm{Var}(r_m)$
  - r_f: rata fără risc, r_m: randamentul pieței (aici S&P 500), r_i: randamentul Bitcoin
- De ce beta, nu doar corelația: $\beta = \rho \, \sigma_{\mathrm{BTC}}/\sigma_{\mathrm{SPX}}$
  - Corelația arată cît de strînsă este legătura, beta cît se mișcă Bitcoin la o mișcare de 1% a S&P 500 (raportul de acoperire)
  - Pe zilele comune din 2016–2026: $\rho = 0{,}259$ și $\sigma_{\mathrm{BTC}}/\sigma_{\mathrm{SPX}} = 3{,}68$ dau $\beta = 0{,}95$
- Estimarea: $\hat{b}$ din regresia $r_t^{\mathrm{BTC}} = a + b \, r_t^{\mathrm{SPX}} + u_t$, randamente log zilnice în %

Ruptura legăturii Bitcoin–acțiuni în 2020 (1/2): modelul și sup-Wald

- Regresia beta pe 2 693 de zile comune din ianuarie 2016
  - (a, b) se pot schimba la o dată necunoscută τ: o pereche înainte de τ, alta după
- $W(\tau)$: statistica Wald pentru H_0 (aceleași (a, b) înainte și după τ)
  - cu covariante Newey–West (8 laguri) în fiecare regim
- sup-Wald Andrews (1993): $\sup_{\tau \in [0{,}15\,T;\,0{,}85\,T]} W(\tau)$, cel mai mare W din cele 70% centrale ale celor T zile
  - Sub H_0, sup nu este χ^2_2, pentru că τ este ales astfel încît W să fie mare
  - Valoarea critică la 5%, 11,55, este simulată din distribuția limită (▸ Anexă)
- Mai multe rupturi la date necunoscute: testele secvențiale și CI din Bai & Perron (1998)
  - testul unei a doua rupturi, $\sup F(2 \mid 1) = 10{,}33$, $p = 0{,}16$: nicio ruptură suplimentară detectată la 5%

Ruptura legăturii Bitcoin–acțiuni în 2020 (2/2): rezultatul

- sup $W = 20{,}12$: ipoteza fără ruptură este respinsă
  - $p = 0{,}0008$, din 20 000 de simulări ale distribuției limită
  - peste valoarea critică 5% de 11,55
  - covariațele Newey–West cer momente finite ale scorului $x_t u_t$ și dependență slabă, condiții puse sub semnul întrebării de cozile din Capitolul 1
  - Maximul este atins pe 14 aug. 2017, la două zile de tranzacționare de marginea intervalului admis, departe de data estimată a rupturii
  - Respingerea nu depinde de acest punct: la data estimată, $W = 18{,}81$, peste valoarea critică 1% de 15,18
- Data rupturii, estimată prin cele mai mici pătrate: 9 mart. 2020
  - data τ care minimizează suma pătratelor reziduurilor (SSR) celor două regimuri
  - CI 95% Bai (1997): 11 feb. 2019 – 29 dec. 2021, un interval care exclude ianuarie 2024
  - intervalul este asimetric: varianța S&P 500 crește de la 0,75 la 1,61, varianța reziduală scade de la 20,9 la 12,5
  - La lansarea ETF-urilor, $W = 2{,}31$, mult sub valoarea critică
- Corelația: 0,01 înainte, 0,40 după
  - diferența 0,39, CI 95% [0,24; 0,46] (bootstrap pe blocuri, la data estimată)
  - ajustată pentru volatilitate (Forbes–Rigobon, în Aprofundări), corelația din 2020–2023 scade de la 0,39 la 0,23, dar creșterea rămîne pozitivă
- Tipul de dovadă: descriere
  - modelul cu o ruptură datează schimbarea coeficienților (a, b), nu identifică un mecanism
  - $\rho = b\,\sigma_{\mathrm{SPX}}/\sigma_{\mathrm{BTC}}$ depinde și de varianțe: o ruptură în (a, b) nu este o ruptură a corelației

Beta înainte și după ruptură, cu SE HAC

- Aceeași regresie pe fiecare regim, estimată prin OLS (*Ordinary Least Squares*, cele mai mici pătrate), cu SE Newey–West
  - SE HAC: robuste la heteroscedasticitate și autocorelare (*heteroskedasticity and autocorrelation consistent*)
  - 1 051 de zile comune înainte de 9 mart. 2020, 1 642 după
- Înainte: $\hat{b} = 0{,}07$, SE HAC 0,22 (SE OLS 0,16): $t = 0{,}3$, beta nu diferă semnificativ de 0
- După: $\hat{b} = 1{,}22$, SE HAC 0,14 (SE OLS 0,07): $t = 8{,}6$
- SE HAC sînt de 1,4 ori (înainte) și de 2,1 ori (după) mai mari decît SE OLS
  - intervalele OLS ar fi mult prea înguste
  - SE HAC tratează dependența, dar cer momente finite ale scorului $x_t u_t$, condiție pusă sub semnul întrebării de cozile din Capitolul 1
- După ETF-uri (674 de zile): $\hat{b} = 1{,}20$, SE HAC 0,20
  - în 2020–2023: $\hat{b} = 1{,}15$, SE HAC 0,17
  - lansarea nu indică o schimbare a lui beta

Indicii cripto: întrebarea și datele

- **Întrebarea**: cum construim un reper (*benchmark*) pentru o piață cu multe monede, dominată de una singură?
- De ce contează: randamentul pieței cripto este randamentul unui astfel de indice
  - în testul GRS (testul Gibbons–Ross–Shanken) al modelelor factoriale (Secțiunea 7) și în studiul de caz
- Ponderile după valoarea de piață: indicele poate fi replicat
  - deține monedele în proporția în care le deține piața
- Divizorul: păstrează continuitatea nivelului cînd se schimbă membrii sau cantitățile
- Numărul de constituenți: ales din date, prin regula CRIX, nu fixat dinainte
- Riscul principal: deplasarea de supraviețuire (*survivorship bias*), dacă universul de monede este ales ex post, dintre monedele care există azi

Un indice cripto și divizorul său (1/2)



Universitatea Humboldt din Berlin, unde a fost dezvoltat CRIX

Foto: Diego Delso (2016); CC BY-SA 4.0; Wikimedia Commons

- **CRIX** Trimborn & Härdle (2018): un indice de referință al pieței cripto
  - ponderat cu valoarea de piață
  - publicat la thecrix.de
  - O trecere în revistă a indicilor cripto: Găman, Pele, Härdle & Będowska-Sójka (2026)
- Nivelul în ziua t din perioada de realocare τ:
  $I_t = \sum_{i=1}^{k} P_{i,t}\, Q_{i,\tau} / D_\tau$
  - k: numărul de constituenți (alt k decît cel din estimatorul Hill), iar D_τ: **divizorul**
  - $P_{i,t}$: prețul monedei i în ziua t, iar $Q_{i,\tau}$: monedele ei în circulație, fixe în perioadă
  - Randamentul indicelui este media ponderată a randamentelor constituenților, cu ponderile în valoarea de piață de la începutul perioadei: un indice de tip Laspeyres (cantități fixe în perioadă)

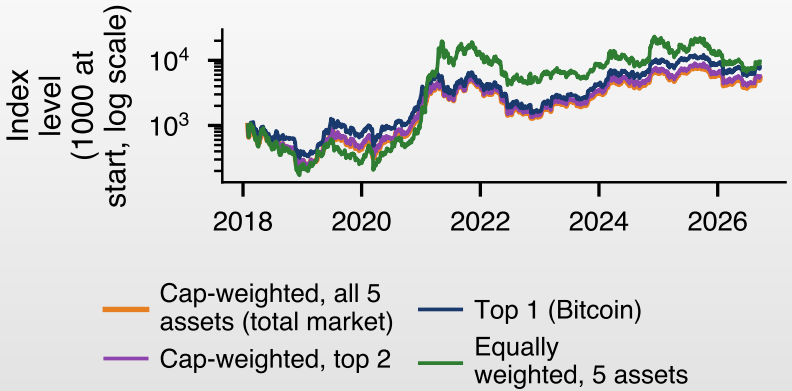
Un indice cripto și divizorul său (2/2)

- La o realocare în ziua t, divizorul este recalculat astfel încît nivelul să nu sară
  - realocare: alte Q, alți membri
  - $D_{\tau+1} = \sum_i P_{i,t} Q_{i,\tau+1} / I_t$
  - Aici realocarea este lunară, cu ponderi de la sfîrșitul lunii anterioare (exemple lucrate: Seminarul 16, A1 și A4)

Cîți constituenți? Regula CRIX și criteriul AIC

- CRIX(k, β) urmărește TMI (*Total Market Index*), indicele tuturor monedelor Trimborn & Härdle (2018)
  - cele mai mari k_1 monede intră cu pondere 1
  - următoarele $s = k - k_1$ cu ponderi libere $\beta = (\beta_1, \ldots, \beta_s)$, estimate din date (aici β sînt ponderi, nu beta de piață)
- Reziduul de urmărire: $\hat{\varepsilon}_t(k, \beta) = \Delta \ln \mathrm{TMI}_t - \Delta \ln \mathrm{CRIX}_t(k, \beta)$
  - diferența zilnică dintre randamentele log ale celor doi indici
- $\mathrm{AIC}(k) = -2 \log L\{\hat{\varepsilon}(k, \hat{\beta})\} + 2s$: regula alege k cu cel mai mic AIC
  - AIC: criteriul informațional Akaike (Akaike Information Criterion)
  - L: verosimilitatea reziduurilor, iar $2s$: penalizarea pentru ponderile libere
  - k este revizuit trimestrial, pe ultimele trei luni de date, iar membrii sînt realocați lunar după valoarea de piață
  - Două reguli de oprire: ECRIX (la prima creștere a AIC) și EFCRIX (la minimul global), cu detaliile funcției de verosimilitate în Anexă
- Aici TMI are doar cele cinci monede cu ofertă publică, deci $k \leq 4$

Indicii cripto din 2018 (1/2)



MFM_ch16_crix ▶ Interactiv

Indicii cripto din 2018 (2/2)

- Scară logaritmică
- Indicele întregii piețe: randament anual compus de 21,4% în 8,6 ani
  - cu o volatilitate de 65,7%
- Bitcoin, considerat separat, a avut o performanță mai bună
  - celelalte monede au pierdut pondere și valoare
- Ponderi egale: 30,0% pe an la o volatilitate de 82,5%
  - rezultat determinat de anul 2021: indicele cu ponderi egale a crescut cu 998%, cel ponderat cu valoarea de piață cu 113%
  - cîteva luni extreme, nu o primă stabilă
- Cele cinci monede sînt alese ex post, dintre supraviețuitorii de azi
  - randamentele indicilor sînt deplasate în sus (deplasarea de supraviețuire, în Aprofundări; Będowska-Sójka, Wójcik & Pele (2026))
- Tipul de dovadă: descriere
  - o comparație ex post pe cinci supraviețuitori, nu dovada că o regulă de ponderare este mai bună

MFM_ch16_crix

Stablecoin-urile: întrebarea și datele

- **Întrebarea**: cît de strîns își țin stablecoin-urile paritatea de 1 USD și ce mecanism o menține?
- De ce contează: sînt componenta de numerar a pieței cripto
  - 303 miliarde USD pe 18 sept. 2026
  - paritatea se poate pierde într-un singur weekend
- Monedele: Tether, USD Coin și Dai, cu prețuri zilnice pe toată perioada
  - Tether și USD Coin: cele mai mari stablecoin-uri acoperite cu monedă fiat
  - Dai: acoperit cu cripto-active
  - Sky Dollar, mai mare azi, există doar din 2024
- Perioada 2021–2026: cotațiile anterioare sînt rare și afectate de zgomot
- Modelul: arbitrajul creează o bandă în jurul parității
  - viteza revenirii depinde de mărimea abaterii
  - deci un AR cu prag, nu un AR(1) liniar

Menținerea parității de 1 USD a unui stablecoin (1/2)

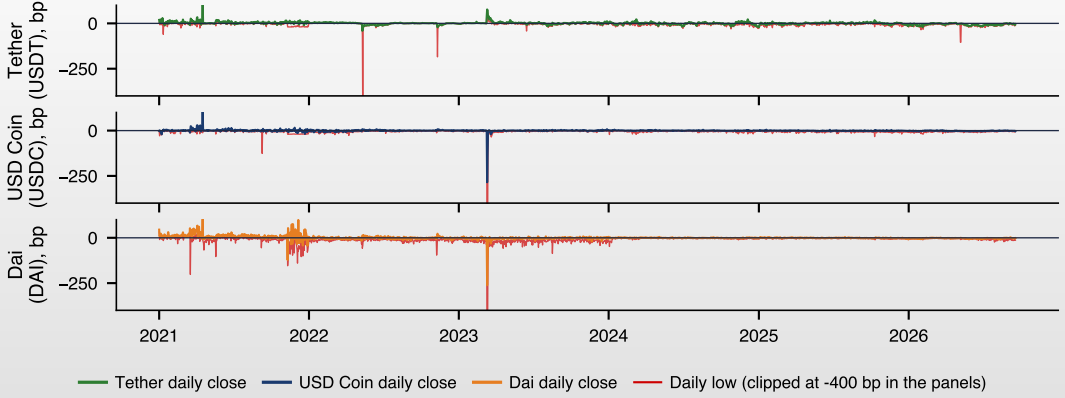
Tipul	Acoperirea	Exemple (mld. USD, 18 sept. 2026)
Acoperit cu monedă fiat	Depozite bancare și titluri de stat americane pe termen scurt deținute de emitent (monedă fiat: monedă emisă de stat, aici USD)	Tether (USDT) 183,33, USD Coin (USDC) 73,92, PayPal USD (PYUSD) 2,81
Acoperit cu cripto-active	Depozite cripto supragarantate sau poziții acoperite (*hedging*), gestionate de contracte inteligente	Sky Dollar (USDS) 6,49, Ethena USDe 4,74, Dai (DAI) 4,77
Algoritmic	Fără garanții externe: oferta se extinde și se contractă prin intermediul unui al doilea token	TerraUSD (prăbușit în mai 2022)

- Participanții autorizați **emit** și **răscumpără** la emitent
  - emit: plătesc 1 USD, primesc 1 monedă
  - răscumpără: returnează 1 monedă, primesc 1 USD
- Arbitrajul ține prețul de piață P (USD) în banda $1 - c_r \leq P \leq 1 + c_m$
  - c_r, c_m: costurile de răscumpărare și de emitere pe monedă, în USD
  - Sub bandă: cumpărăm și răscumpărăm
  - Deasupra benzii: emitem și vindem
  - Dovezi empirice: Lyons & Viswanath-Natraj (2023)
  - Emiterea Tether și prețul Bitcoin: Griffin & Shams (2020)

Menținerea parității de 1 USD a unui stablecoin (2/2)

- Banda nu mai funcționează cînd răscumpărarea se oprește sau acoperirea este pusă la îndoială
- Regulile pentru rezerve și răscumpărare: MiCA, Regulation (EU) 2023/1114, GENIUS Act, Public Law 119-27

Abaterile de la 1 USD (1/2)



MFM_ch16_stablecoins ▶ Interactiv

Abaterile de la 1 USD (2/2)

- Închiderea și minimul zilnic minus 1 USD, în puncte de bază (1 pb = 0,01%), 2021–2026
  - Minimele sub −400 pb sînt trunchiate la marginea panoului
- Abaterea standard a închiderii, 2021–2026: 7,3 pb (Tether), 7,5 pb (USD Coin), 10,8 pb (Dai)
  - Peste 50 pb în mai puțin de 1% din zile
- Episoadele de stres sînt rare, dar severe
  - minimul USD Coin: −1 226 pb (11 mart. 2023)
  - minimul Tether: −515 pb (12 mai 2022)
- Un stablecoin este o creanță combinată cu o opțiune put vîndută pe rezerve
  - pe fiecare monedă, deținătorul primește $\min(1, R) = 1 - \max(1 - R, 0)$
  - R: valoarea rezervei pe monedă, în USD
  - 1 USD sigur minus un put pe R cu prețul de exercitare 1, vîndut emitentului: în cele mai multe zile nu se întîmplă nimic, în cîteva este posibilă o pierdere mare

MFM_ch16_stablecoins

Benzile de arbitraj implică un AR cu prag (1/2): abaterea și modelul

- Abaterea de la paritate în puncte de bază: $d_t = 10^4(P_t - 1)$
  - P_t: închiderea zilnică în USD
  - $P_t = 0{,}997$ dă $d_t = -30$ pb
- Autoregresia cu prag (TAR), forma de echilibru din Balke & Fomby (1997): $d_t = \begin{cases} \phi_{\text{in}}\, d_{t-1} + \varepsilon_t, & |d_{t-1}| \le c \\ \phi_{\text{out}}\, d_{t-1} + \varepsilon_t, & |d_{t-1}| > c \end{cases}$
  - c: semilățimea benzii, în pb, iar ε_t: un șoc cu media 0
  - În interiorul benzii arbitrajul nu este profitabil și revenirea este lentă, în afara ei revenirea este rapidă
  - ϕ_{in}, ϕ_{out}: persistența în interiorul și în exteriorul benzii
  - Timpul de înjumătățire $\ln 0{,}5 / \ln|\phi|$: numărul de zile în care o abatere se reduce la jumătate

Benzile de arbitraj implică un AR cu prag (2/2): pragul și testul de liniaritate

- $\hat{c}$ prin cele mai mici pătrate pe o grilă de valori $|d_{t-1}|$
  - păstrînd cel puțin 15% din zile în fiecare regim
  - $\hat{c}$ este o limită empirică între regimuri: egală cu costul, $10^4 c_r$ pb, doar pentru o bandă simetrică ($c_r = c_m$) și fără alte fricțiuni
- H_0: $\phi_{\text{in}} = \phi_{\text{out}}$ (un singur AR(1) liniar, fără bandă), față de H_1: cele două persistențe diferă
  - Pentru un c dat, $W(c)$ este statistica Wald pentru H_0, cu erori standard White White (1980) (robuste la heteroscedasticitate)
  - Testul folosește $\sup_c W(c)$, cea mai mare valoare pe grilă
- Sub H_0, pragul c nu apare în model: nu este identificat, deci $\sup_c W(c)$ nu este χ^2_1 (problema Davies)
  - Valorile critice χ^2_1 sînt prea mici pentru un maxim calculat pe multe valori c: testul ar respinge prea des, de aceea p se obține prin bootstrap Hansen (1996)

Estimările AR cu prag pentru cele trei stablecoin-uri

	$\hat{c}$ (pb)	$\hat{\phi}_{\text{in}}$ (SE)	$\hat{\phi}_{\text{out}}$ (SE)	sup W	p bootstrap	p (χ^2_1)	$\hat{\phi}$ liniar
Tether	8,6	0,86 (0,02)	0,69 (0,11)	7,4	0,084	0,006	0,73
USD Coin	2,9	0,59 (0,04)	0,28 (0,03)	32,5	0,001	$<$ 0,001	0,29
Dai	6,0	0,72 (0,08)	0,32 (0,07)	13,8	0,005	$<$ 0,001	0,33

- USD Coin și Dai: liniaritatea este respinsă (bootstrap în AR(1), cu multiplicatori independenți)
  - revenirea este mult mai rapidă în afara benzii
  - USD Coin: timpul de înjumătățire este 0,5 zile în afara benzii, față de 1,3 zile în interior
  - USD Coin, $p = 0{,}001$: cea mai mică valoare posibilă cu $B = 999$ replicări, iar valoarea p (*p-value*) adevărată poate fi și mai mică
  - Fără 9–16 martie 2023, pentru USD Coin se obține $p = 0{,}29$ (bootstrap), dar 0,019 (χ^2_1): rezultatul depinde de o singură săptămînă de stres, iar χ^2 respinge prea des (pas cu pas: Seminarul 16, B5)
- Tether: cea mai largă bandă ($\hat{c} = 8{,}6$ pb) și revenire lentă în interior
  - liniaritatea nu este respinsă la 5%
  - compatibil cu mai puțini participanți care răscumpără direct Ma, Zeng & Zhang (2025)
- Tipul de dovadă: descriere
  - $\hat{c}$ este aproape de limita impusă de regula celor 15% din zile pe regim (*trimming*) (USD Coin, Tether): timpii de înjumătățire depind de această estimare imprecisă, testul de liniaritate nu

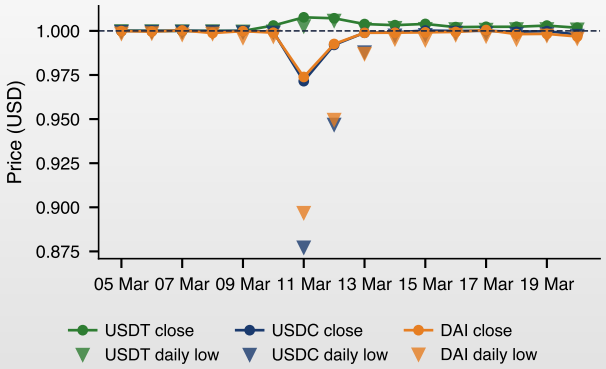
AR cu prag: inferența cu dependență temporală

- Valorile p din tabel sînt condiționate de AR(1) și de multiplicatori η_t independenți
  - autocorelația la lagul 1 a scorului $d_{t-\mathbf{1}}\hat{e}_t$: $-0{,}20$ (Tether), $-0{,}23$ (USD Coin), $-0{,}11$ (Dai)
  - reziduurile AR(1) rămîn autocorelate: Ljung–Box cu 10 laguri, $p < 0{,}01$ pentru toate trei
- Două corecții, cu pragul $\hat{c}$ reestimat de fiecare dată
  - multiplicatori constanți pe blocuri de 13 zile consecutive (bootstrap wild dependent, Shao (2010))
  - laguri Δd_{t-j} adăugate pînă cînd Ljung–Box nu mai respinge la 5%

	p AR(1), independenți	p AR(1), blocuri	p cu laguri, blocuri	laguri	Holm
Tether	0,084	0,083	0,223	5	0,446
USD Coin	0,001	0,001	0,001	2	0,003
Dai	0,005	0,011	0,376	8	0,446

- Holm: valori p corectate pentru testarea multiplă, pe familia celor trei monede, pe coloana cu laguri și blocuri
- Doar respingerea pentru USD Coin rezistă ambelor corecții; pentru Dai ea depinde de specificația AR(1)

Martie 2023: falimentul unei bănci afectează USD Coin



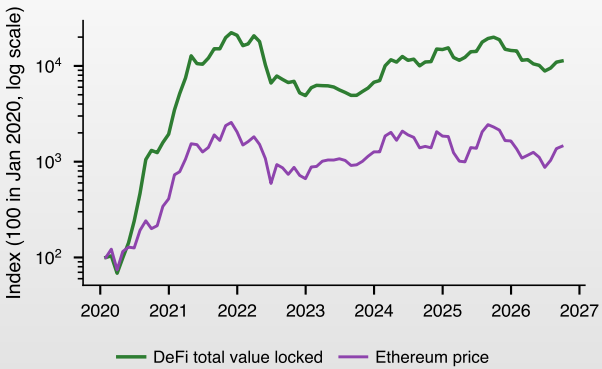
- Închiderea zilnică (linii) și minimul zilnic (triunghiuri), 5–20 martie 2023
- Vineri, 10 martie: Silicon Valley Bank (SVB) este închisă
  - FDIC este numită administrator FDIC (2023)
  - FDIC: Federal Deposit Insurance Corporation, instituția americană de garantare a depozitelor
  - USD Coin avea o parte din rezerve acolo Diop, Chevallier & Sanhaji (2024)
- În weekend, răscumpărările nu se puteau deconta, banda a dispărut
  - Minimul USD Coin 0,8774 USD sîmbătă, 11 martie (închidere 0,9715)
  - Dai, acoperit cu cripto-active, a coborît la 0,8970

MFM_ch16_stablecoins ▶ Interactiv

DeFi: întrebarea și datele

- **Întrebarea**: cum stabilește un pool de lichiditate prețul fără registru de ordine?
  - și cine suportă costul arbitrajului?
- De ce contează: pool-ul este contrapartea fiecărui schimb
  - furnizorul de lichiditate deține o poziție cu gamma negativă: pierde, față de reper, la mișcările mari ale prețului în orice direcție
- Modelul: produsul constant $x \cdot y = k$ (Uniswap v2)
  - forma de bază a pool-urilor ponderate și a lichidității concentrate
- Pool-ul analizat: Ether față de un stablecoin
  - un singur activ riscant, iar pierderile se citesc direct în USD
- Reperul: LVR (pierderea față de reechilibrare), nu simpla deținere
  - separă costul arbitrajului de direcția prețului
- Dimensiunea pieței: valoarea totală blocată (TVL, Total Value Locked)

Valoarea totală blocată în DeFi



- Valoarea totală blocată (TVL) și prețul Ether
  - TVL: valoarea tokenurilor depuse în protocoalele DeFi, toate blockchain-urile (DefiLlama)
  - Sfîrșit de lună, 100 în ianuarie 2020, scară logaritmică
- TVL: 0,6 miliarde USD în ianuarie 2020, 177 de miliarde la maxim (9 nov. 2021)
  - 88 de miliarde azi (cu 50% sub maxim)

MFM_ch16_defi ▶ Interactiv

Formatorul de piață cu produs constant (1/2): pool-ul și un schimb

- Un pool de lichiditate deține rezervele x din tokenul X și y din tokenul Y Adams, Zinsmeister & Robinson (2020)
  - de ex. X = Ether, Y = USD Coin
  - acceptă orice tranzacție care păstrează $x \cdot y = k$
  - k: invariantul, stabilit de depuneri (alt k decît numărul de constituenți ai indicelui)
  - Prețul (marginal) al pool-ului: $p = y/x$ unități Y pentru un X
- Un participant vinde Δx din X și primește Δy din Y
- Pool-ul păstrează un comision f, deci doar $\gamma \Delta x$ intră în invariant, cu $\gamma = 1 - f$
  - $(x + \gamma \Delta x)(y - \Delta y) = xy \;\Rightarrow\; \Delta y = \dfrac{y \gamma \Delta x}{x + \gamma \Delta x}$
  - Comisionul $(1 - \gamma)\Delta x$ rămîne în rezervă, deci produsul rezervelor crește

Formatorul de piață cu produs constant (2/2): prețul de execuție

- Prețul de execuție $\Delta y/\Delta x = p\,\dfrac{\gamma}{1+\gamma\delta}$, cu $\delta = \Delta x/x$ mărimea ordinului raportată la rezervă
  - **Costul de execuție** (shortfall) față de prețul pool-ului: $1-\gamma/(1+\gamma\delta)$, adică comisionul plus impactul de preț
  - Costul de execuție crește cu f și cu δ
  - Este un cost al celui care tranzacționează, diferit de pierderea impermanentă a furnizorului de lichiditate
- Arbitrajorii mențin p aliniat cu celelalte burse: prețul pool-ului urmează piața Angeris et al. (2019)

Pierderea impermanentă și pierderea față de reechilibrare (1/3): pozițiile

- Un **furnizor de lichiditate** (LP) depune x_0 din X și $y_0 = p_0 x_0$ din Y
  - jumătate–jumătate ca valoare
  - primește o parte din pool
  - p_0 și p_1: prețul la depunere și prețul pieței la un moment ulterior
  - $r = p_1/p_0$: raportul prețurilor (notat P_1/P_0 în grafic)
  - Fără comisioane, arbitrajul duce pool-ul la p_1: din $xy = k$ și $y/x = p_1$, $x_1 = \sqrt{k/p_1}$, $y_1 = \sqrt{k\,p_1}$
- Două valori, în unități Y
  - poziția din pool: $V_{\mathrm{LP}} = p_1 x_1 + y_1 = 2\sqrt{k\,p_1}$
  - simpla deținere a depunerii: $V_{\mathrm{H}} = p_1 x_0 + y_0$

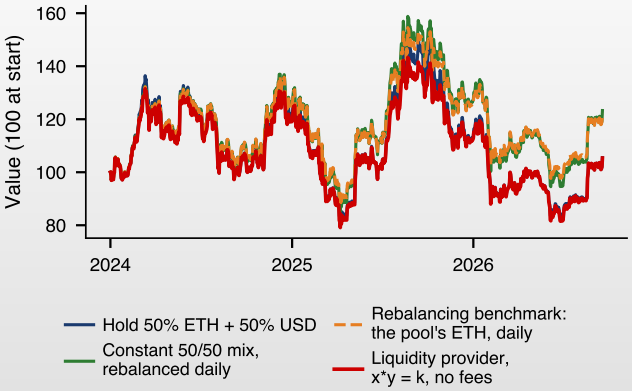
Pierderea impermanentă și pierderea față de reechilibrare (2/3): pierderea impermanentă

- **Pierderea impermanentă** (IL, *Impermanent Loss*): rămînerea în urmă a pool-ului față de deținere
  - folosind $k = p_0 x_0^2$: $\mathrm{IL}(r) = \dfrac{V_{\mathrm{LP}}}{V_{\mathrm{H}}} - 1 = \dfrac{2\sqrt{r}}{1+r} - 1 \leq 0$
  - $\mathrm{IL} = 0$ doar pentru $r = 1$
  - Pentru $r = 2$ sau $r = 0{,}5$, $\mathrm{IL} = -5{,}72\%$, iar pentru $r = 4$ sau $r = 0{,}25$, $\mathrm{IL} = -20{,}00\%$
  - Simetrică în $\ln r$: o dublare și o înjumătățire a prețului costă la fel
  - Mișcările mici costă puțin: IL crește aproximativ cu $(\ln r)^2$
- „Impermanentă”: dispare dacă prețul revine la p_0
- Devine permanentă dacă LP se retrage înainte ca prețul să revină

Pierderea impermanentă și pierderea față de reechilibrare (3/3): LVR

- Un reper mai corect decît simpla deținere: un portofoliu de **reechilibrare** Milionis et al. (2022)
  - deține în fiecare moment aceeași cantitate de Ether ca pool-ul
  - tranzacționează la prețurile pieței
  - Și pool-ul se reechilibrează, dar la prețuri neactualizate (*stale*), de care profită arbitrajorii: tranzacționează mereu în pierdere față de ei
- Pentru $x \cdot y = k$, LVR crește cu rata instantanee $d\mathrm{LVR}_t/(V_t\, dt) = \sigma_t^2/8$
  - LVR (pierderea față de reechilibrare): diferența dintre valoarea portofoliului de reechilibrare și cea a pool-ului
  - derivarea prin Itô în ▸ Anexă
  - V: valoarea pool-ului, iar σ: volatilitatea anualizată a prețului
  - Exemplu: $\sigma = 60\%$ dă $0{,}36/8 = 4{,}5\%$ din valoarea pool-ului pe an
  - Un pool ponderat $x^w y^{1-w} = k$, cu $w \in (0,1)$ ponderea valorică a lui X ($w = 1/2$: produs constant), pierde cu rata $\sigma^2 w(1-w)/2$ (Seminarul 16, A7)
- Comisioanele trebuie să depășească $\sigma^2/8$ pe an pentru ca furnizorul de lichiditate să depășească acest reper, în modelul fără fricțiuni
  - nu pentru a avea un randament pozitiv
  - o afacere de vînzare de volatilitate

Un furnizor de lichiditate într-un pool Ether (1/3)



MFM_ch16_amm ▶ Interactiv

Un furnizor de lichiditate într-un pool Ether (2/3)

- Prețuri zilnice Ether din 1 ianuarie 2024
  - 100 investiți jumătate în Ether, jumătate în USD
  - Pool fără comisioane; linia întreruptă: reperul LVR (Ether-ul pool-ului, reechilibrat zilnic)
  - Portofoliul cu ponderi constante 50/50 (Constant 50/50 mix în legendă): ponderi readuse zilnic la 50/50 (valoare finală 123,3)
- Ether: de la 2 352 la 2 611 USD ($r = 1{,}11$), cu o pierdere impermanentă de doar $-0{,}14\%$
  - Valori finale: deținerea 105,5, pool-ul 105,4, reperul LVR 122,4

Un furnizor de lichiditate într-un pool Ether (3/3)

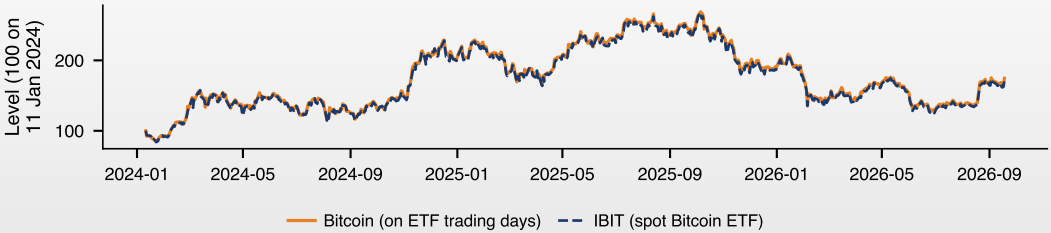
- LVR realizată: 5,83% pe an față de $\sigma^2/8 = 5{,}79\%$ ($\sigma = 68{,}1\%$)
  - CI 95% [4,88; 6,98]% (bootstrap pe blocuri)
  - CI-ul unei variante realizate presupune moment de ordin patru finit, pus sub semnul întrebării în Capitolul 1
- Spre deosebire de pierderea impermanentă, LVR se acumulează la fiecare mișcare
  - în modelul fără fricțiuni, comisioanele ar trebui să aducă aproximativ 5,79% pe an pentru a egala reperul
  - cu comisioane, arbitrajul are loc doar în afara benzii, iar pierderea este mai mică Milionis, Moallemi & Roughgarden (2025)
- De ce reperul LVR depășește deținerea aici?
  - R_T: reperul LVR, V_T^{LP}: pool-ul, V_T^{H}: deținerea
  - $R_T - V_T^{\mathrm{H}} = \mathrm{LVR}_T + (V_T^{\mathrm{LP}} - V_T^{\mathrm{H}})$
  - aici $122{,}4 - 105{,}5 \approx 17{,}0 + (105{,}4 - 105{,}5)$
  - Prețul a încheiat aproape de nivelul inițial ($r = 1{,}11$), deci termenul pierderii impermanente este mic
  - După un trend puternic ($r = 4$: IL $= -20{,}00\%$ din V_T^{H}) acesta poate depăși LVR, iar deținerea poate ieși înainte
- Tipul de dovadă: comparație între proceduri (arată care metodă funcționează mai bine pe aceleași date, nu de ce)
  - trei poziții pe aceeași traiectorie a prețului Ether, fără comisioane

MFM_ch16_amm

ETF-urile spot: întrebarea și datele

- **Întrebarea**: replică un ETF spot moneda pe care o deține?
  - și cît din riscul unei acțiuni „cripto” vine din Bitcoin?
- De ce contează: ETF-urile spot sînt canalul de acces la Bitcoin și Ether
  - din ianuarie 2024, prin ele dețin monedele investitorii de pe bursa americană
- Fondurile: IBIT (*iShares Bitcoin Trust*) și ETHA (*iShares Ethereum Trust*), ETF-urile spot ale BlackRock pe Bitcoin și pe Ether
  - același emitent și același comision de 0,25% pe an BlackRock (2026)
- Măsurile: beta față de monedă, eroarea de urmărire și drift-ul din comision
  - zilnic și săptămînal, pentru că închiderile zilnice nu sînt simultane
- Acțiunile: două canale diferite de expunere la Bitcoin
  - Coinbase: venituri din volumul tranzacțiilor
  - Strategy: Bitcoin în bilanț
- Inferența: SE Newey–West Newey & West (1987), pentru că reziduurile prezintă gruparea volatilității

IBIT replică Bitcoin



- Bitcoin și IBIT în zilele de tranzacționare ale ETF-ului, ambele 100 pe 11 ian. 2024
- Un **ETF spot** deține monedele la o bancă custode și se tranzacționează în programul burselor din SUA (Statele Unite ale Americii)
- **Participanții autorizați** creează sau răscumpără unități contra monede
  - astfel prețul rămîne într-o bandă de costuri în jurul NAV, ca la un stablecoin
  - NAV (net asset value, valoarea activului net): activele fondului la prețurile pieței, pe unitate

MFM_ch16_etf ▶ Interactiv

Calitatea replicării unui ETF (1/2): regresia și eroarea de urmărire

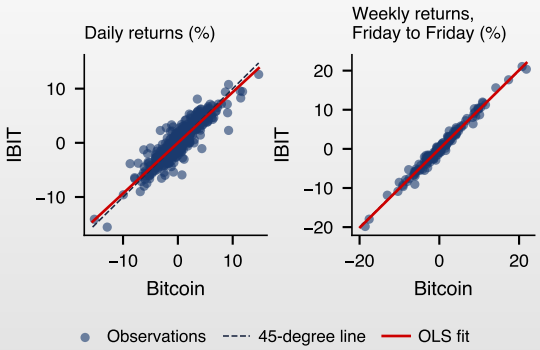
- Regresia în zilele de tranzacționare ale ETF-ului: $r_t^{\mathrm{ETF}} = a + \beta\, r_t^{\mathrm{mon}} + u_t$
  - r_t^{ETF}, r_t^{mon}: randamentele log ale ETF-ului și ale monedei sale
  - O urmărire perfectă are $\beta = 1$ și $R^2 = 1$
- **Eroarea de urmărire** (*tracking error*) $\mathrm{TE} = \text{ab. std.}(r_t^{\mathrm{ETF}} - r_t^{\mathrm{mon}})\sqrt{A}$: volatilitatea anualizată a diferenței de randament
  - ab. std.: abaterea standard empirică
  - $A = 252$ zilnic, 52 săptămînal
- **Drift-ul din comision**: panta lui $\ln(P_t^{\mathrm{ETF}}/P_t^{\mathrm{mon}})$ în funcție de timp, în ani
  - fondul vinde monede ca să-și plătească comisionul
  - deci raportul scade anual cu aproximativ valoarea comisionului

Calitatea replicării unui ETF (2/2): rezultatele

	$\hat{\beta}$ zilnic	R^2 zilnic	$\hat{\beta}$ săpt.	R^2 săpt.	TE zilnic	TE săpt.
IBIT / Bitcoin	0,93	0,82	1,01	0,98	20,8	6,2
ETHA / Ether	0,94	0,83	0,99	0,98	29,9	9,0

- TE (*Tracking Error*, eroare de urmărire) este exprimată în % pe an
- Datele săptămînale arată o urmărire aproape perfectă
- Drift-ul din comision: $-0{,}24\%$ pe an pentru IBIT și $-0{,}24\%$ pentru ETHA, aproape de comisionul de 0,25%
- Datele zilnice subestimează potrivirea: moneda și ETF-ul au închideri la ore diferite
- IBIT tranzacționează în medie 2,2 miliarde USD pe zi
- Tipul de dovadă: descriere

Randamentele zilnice, cele săptămînale și beta Dimson



- IBIT față de Bitcoin: R^2 de 0,82 zilnic, respectiv 0,98 săptămînal
  - stînga: randamente zilnice în zilele comune
  - dreapta: randamente de vineri pînă vineri
- Închiderea zilnică a monedei și cea de la New York sînt separate de cîteva ore
  - O parte din mișcarea din ziua t ajunge în ETF în $t \pm 1$: beta OLS zilnic este deplasat spre zero
  - Newey–West corectează SE, nu deplasarea; beta Dimson, cu randamentele decalate ale monedei, corectează deplasarea

MFM_ch16_etf ▶ Interactiv

Acțiunile „cripto”: Coinbase și Strategy

- **Coinbase**: o bursă cripto din SUA, cu venituri legate de volumul tranzacțiilor
- **Strategy** (fosta MicroStrategy): o companie de software care deține Bitcoin ca principal activ de trezorerie
- Regresie săptămînală cu doi factori: $r_t^{\text{acț}} = a + \beta_{\text{BTC}}\, r_t^{\text{BTC}} + \beta_{\text{SPX}}\, r_t^{\text{S\&P}} + u_t$
  - SE Newey–West, aprilie 2021 – septembrie 2026
  - $r_t^{\text{acț}}$, r_t^{BTC}, $r_t^{\text{S\&P}}$: randamentele logaritmice săptămînale ale acțiunii, Bitcoin și S&P 500
  - β_{BTC}, β_{SPX}: sensibilitatea acțiunii la fiecare, cu celălalt fixat
  - fiecare SE cere momente finite ale scorului $x_t u_t$, condiție pusă sub semnul întrebării de cozile din Capitolul 1

	$\hat{\beta}_{\text{BTC}}$	SE	$\hat{\beta}_{\text{SPX}}$	SE	R^2	σ_a (%)
Coinbase	0,79	0,09	2,05	0,22	0,52	84
Strategy	1,18	0,11	1,02	0,24	0,63	89

- Strategy: de 1,18 ori Bitcoin plus de 1,02 ori S&P 500
  - o poziție în Bitcoin cu grad de îndatorare (*leverage*) și risc suplimentar specific pieței de acțiuni
- Coinbase: $\hat{\beta}_{\text{SPX}} = 2{,}05$, o acțiune americană cu beta mare, nu un substitut pentru Bitcoin
- Tipul de dovadă: asociere (variabilele se mișcă împreună; nu dovedește o relație cauzală)

Clasa de active: întrebarea și datele

- **Întrebarea**: sînt cripto-activele o clasă de active separată?
  - și explică un factor al pieței cripto randamentele lor medii?
- De ce contează: o clasă separată cere o alocare și un reper proprii
  - un model factorial incomplet lasă coeficienți alfa nenuli
- Două perspective: evaluarea (pricing) și distribuția
  - evaluarea: un model factorial testat prin GRS (alfa nuli) și Fama–MacBeth (prima de risc)
  - distribuția: o hartă a caracteristicilor randamentelor, ca în Pele et al. (2023)
- Activele de test: opt monede mari, randamente săptămînale în exces, $T = 450$
  - Bitcoin, Ethereum, XRP (tokenul nativ al registrului XRP Ledger), BNB (tokenul nativ al BNB Chain, fostul Binance Coin), Cardano, Dogecoin, Litecoin, Chainlink
  - din februarie 2018, în exces față de bonul la 4 săptămîni (DTB4WK)
- Factorul pieței: randamentul în exces al indicelui din Secțiunea 3
- Frecvența săptămînală: evită împerecherea calendarelor de 7 și 5 zile și urmează studiul de caz
- Harta: o fereastră înainte și una după lansarea ETF-urilor spot
  - a apropiat instituționalizarea cripto-activele de celelalte clase?

Testarea unui model factorial (1/2): regresia pe serii de timp

- Regresia pe serii de timp pentru fiecare activ de test $i = 1, \ldots, N$: $r_{it}^e = \alpha_i + \beta_i' f_t + \varepsilon_{it}$, $t = 1, \ldots, T$
  - r_{it}^e: randamentul în exces al activului i în săptămîna t (peste bonul de trezorerie)
  - f_t: vectorul randamentelor celor K factori tranzacționați
  - β_i: încărcările (*loadings*), sensibilitățile activului la factori, iar ε_{it} este reziduul
  - α_i: randamentul mediu în exces pe care factorii nu îl explică
  - Dacă modelul este corect, $H_0 \colon \alpha_1 = \cdots = \alpha_N = 0$

Testarea unui model factorial (2/2): testul GRS

- Gibbons, Ross & Shanken (1989): $\mathrm{GRS} = \frac{T-N-K}{N} \frac{\hat{\alpha}' \hat{\Sigma}^{-1} \hat{\alpha}}{1 + \bar{f}' \hat{\Omega}^{-1} \bar{f}} \sim F(N, T-N-K)$ sub H_0
  - $\hat{\alpha}$: vectorul celor N coeficienți alfa estimați
  - $\hat{\Sigma}$: covariança reziduurilor
  - $\bar{f}$, $\hat{\Omega}$: media și covariança factorilor
  - Numărătorul: coeficienții alfa, ponderați cu precizia reziduurilor
  - Numitorul: unu plus pătratul raportului Sharpe al factorilor
  - Un GRS mare (valoare p mică din distribuția F) respinge ipoteza coeficienților alfa nuli
- F este exactă doar pentru erori i.i.d. cu distribuția Normală
  - cu cozile cripto, adăugăm un bootstrap wild sub H_0 (Anexă)

Rezultat empiric: GRS și Fama–MacBeth pe opt monede

- GRS $= 2{,}16$: ipoteza coeficienților alfa nuli este respinsă la 5%
  - $p = 0{,}029$ din $F(8, 450 - 9)$
  - $p = 0{,}018$ din bootstrap-ul wild cu multiplicatori independenți (cu dependență temporală: slide-ul următor)
  - fără distribuția Normală, testul cere momente finite pentru ε_t și $f_t\varepsilon_t$ și dependență slabă, condiții puse sub semnul întrebării în Capitolul 1
  - Cei mai mari coeficienți alfa: Dogecoin +99% pe an ($t = 1{,}23$), BNB +51% ($t = 1{,}97$, singurul la limita pragului de 5%)
  - Cu opt teste, corecția Holm cere $p < 0{,}05/8 \approx 0{,}006$ pentru cea mai mică valoare p, iar BNB are $p \approx 0{,}05$: respingerea este una comună, nu a unei monede anume
- Fama–MacBeth, prima de risc a factorului: $\hat{\lambda} = 163\%$ pe an, cu SE 147 (FM) și 156 (Shanken)
  - randamentul mediu în exces al factorului a fost 39% ($t = 1{,}81$)
  - Coeficienții beta variază doar între 0,90 și 1,40: prima este estimată foarte imprecis în această secțiune transversală
- Deplasarea de supraviețuire poate contribui la respingere
  - monedele sînt alese pentru că sînt mari azi
  - GRS nu identifică sursa respingerii
- Tipul de dovadă: descriere

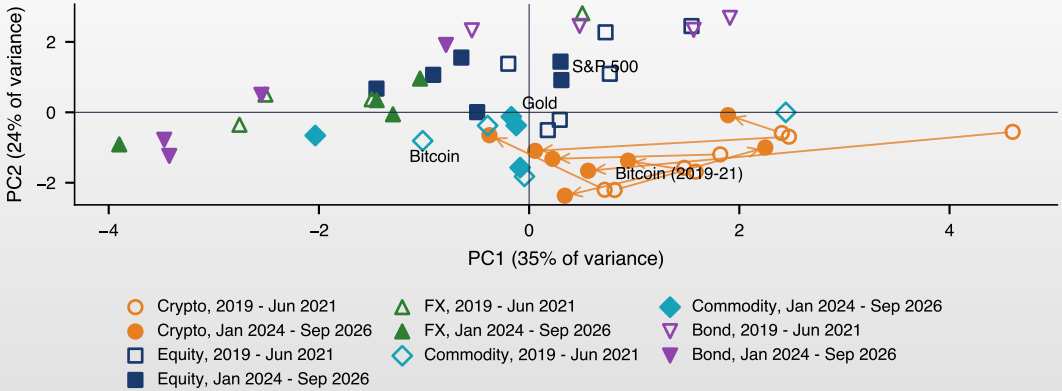
GRS și Fama–MacBeth: inferența cu dependență temporală

- Reziduurile săptămînale nu sînt independente
  - Ljung–Box cu 4 laguri respinge la 5% absența autocorelației pentru 5 din 8 monede
  - pentru pătratele reziduurilor: 6 din 8 monede (gruparea volatilității)
- GRS cu bootstrap wild dependent (Shao (2010)): multiplicatori constanți pe blocuri de 4 săptămîni
  - $p = 0{,}038$, față de 0,018 cu multiplicatori independenți: respingerea la 5% se păstrează
- Fama–MacBeth, $\hat{\lambda} = 163\%$ pe an
  - SE Newey–West a pantelor săptămînale (5 laguri): 141
  - bootstrap pe blocuri de 4 săptămîni, cu reestimarea ambelor etape: SE 112, CI 95% $[-50; 381]\%$
  - corecția Shanken presupune erori și factori i.i.d., ipoteze pe care diagnosticele de mai sus nu le susțin
- Tipul de dovadă: comparație între proceduri
  - alfa nul este respins la 5% cu toate calibrările; prima rămîne estimată foarte imprecis

Cripto-activele ca clasă separată de active: rezultatele existente

- Pele et al. (2023) compară cripto-activele cu alte cinci clase de active
  - acțiuni, cursuri de schimb, mărfuri, obligațiuni și indici imobiliari
  - Reducerea dimensiunii: cea mai mare parte a variației este explicată de factorii de **coadă**, **memorie** și **momente** ai randamentelor log
  - Metodele de clasificare plasează cripto-activele într-o clasă separată, în principal din cauza factorului de coadă
  - Factorul de coadă (76% din variație) încarcă pe cuantile, medii condiționate din coadă, varianță și parametrii distribuției α-stabile (Pele et al. (2023), Secț. 3.2): combină scala cu forma, nu este o diferență între indici Hill
  - În timp, cripto-activele au devenit mai asemănătoare între ele și mai diferite de celelalte active
- Activ de acoperire (*hedge*): un activ necorelat sau corelat negativ cu piața, în medie Baur & Lucey (2010)
- Refugiu (*safe haven*): un activ cu această proprietate în cele mai rele zile ale pieței
- Primele rezultate: Bitcoin este un diversificator și un activ de acoperire doar în unele perioade Bouri et al. (2017)
- Ipoteza este testată pe date de după ETF-uri în Seminarul 16, C2

Cripto-activele printre celelalte clase de active (1/2)



MFM_ch16_alt_assets ▶ Interactiv

Cripto-activele printre celelalte clase de active (2/2)

- Primele două componente principale, PC1 (*first Principal Component*, prima componentă principală) și PC2 (35% și 24% din variație)
  - Simboluri goale: W1 (2019–2021), simboluri pline: W2 (după lansarea ETF-urilor); FX (*Foreign eXchange*, piața valutară) din legendă: valutele
  - Săgeți: fiecare cripto-activ
- PC1 măsoară volatilitatea, kurtosis-ul, adîncimea drawdown-urilor și grosimea cozilor (încărcările în Anexă)
  - În W1, cripto-activele sînt separate pe PC1, ca în Pele et al. (2023); în W2, o parte dintre ele se suprapun cu mărfurile
  - kurtosis-ul există doar cu moment de ordin patru finit, iar inferența uzuală pentru el cere moment de ordin opt; ambele sînt puse sub semnul întrebării în Capitolul 1
- Estimările punctuale se apropie de celelalte clase
  - distanța față de acțiuni trece de la 3,03 la 2,63
  - distanța față de mărfuri trece de la 2,26 la 1,86
- Volatilitatea Bitcoin: 77% în W1, 47% în W2
- Cripto-activele au devenit mai asemănătoare: dispersia în jurul centrului lor trece de la 2,13 la 1,43
  - Indicele Hill median al cripto-activelor trece de la 2,32 la 3,26
- Tipul de dovadă: descriere
  - toate CI 95% bootstrap ale deplasării conțin 0 (Aprofundări)

MFM_ch16_alt_assets

Studiu de caz: trei factori pentru randamentele cripto

- Liu, Tsyvinski & Wu (2022), *Journal of Finance*: aplică instrumentele modelelor factoriale din piața acțiunilor
  - formarea portofoliilor după caracteristici, regresii factoriale, GRS
  - aplicate întregii secțiuni transversale a monedelor
  - Întrebarea: pot cîțiva factori specifici cripto să explice randamentele așteptate ale tuturor monedelor, așa cum o fac piața, mărimea și momentum-ul pentru acțiuni?
- Lucrarea continuă Liu & Tsyvinski (2021), despre randamentele agregate ale pieței cripto
  - depind foarte puțin de factorii acțiunilor, valutelor sau metalelor
  - sînt anticipate de momentum-ul cripto și de atenția investitorilor
  - Pasul înainte: de la seriile de timp ale trei monede la analiza transversală a 1 827 de monede
- Relevanța: un model factorial este reperul
  - pentru orice anomalie raportată pe piața cripto
  - pentru evaluarea fondurilor cripto
- Dacă monedele sînt segmentate față de acțiuni, factorii acțiunilor nu sînt un reper adecvat
- Legătura cu acest capitol
  - indicele din Secțiunea 3, testul GRS din Secțiunea 7
  - calitatea datelor în ▸ Anexă

Studiu de caz: factorii cripto

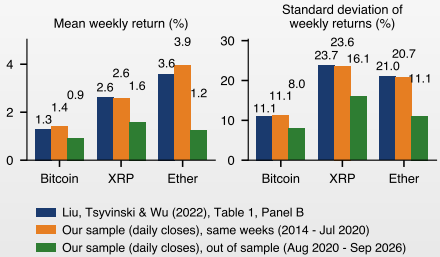
- Date zilnice: prețuri, volume și valori de piață, pentru monede active și dispărute
  - de la peste 200 de burse (Liu, Tsyvinski & Wu (2022), Secț. 2)
  - 1 827 de monede cu valoarea de piață de cel puțin 1 milion USD, din 2014 pînă în iulie 2020
  - Randamente săptămînale din închiderile zilnice: 52 de săptămîni pe an, ultima avînd opt zile (nouă în anii bisecți)
  - CMKT: randamentul ponderat cu valoarea de piață al tuturor monedelor, minus rata bonurilor de trezorerie la o lună
- Anomalii: 24 de caracteristici ale acțiunilor, din preț, volum și valoare de piață (Tabelul 2)
  - săptămînal: portofolii pe cvintile, ponderate cu valoarea de piață
  - strategia este cvintila de sus minus cea de jos
  - CSMB: cele mai mici 30% minus cele mai mari 30% dintre monede după valoarea de piață
  - CMOM (*Crypto Momentum factor*, factorul de momentum cripto, cîștigătoare minus perdante) $= \frac{1}{2}(\mathrm{SH} + \mathrm{BH}) - \frac{1}{2}(\mathrm{SL} + \mathrm{BL})$, din sortări 2×3 după mărime (S/B: monede mici/mari) și după randamentul din ultimele trei săptămîni (H/L: ridicat/scăzut; Secț. 4.1, Ec. 1)
- Teste pe modele cu unul, doi și trei factori
  - cele zece strategii long–short semnificative, regresate pe aceste modele (Tabelele 8–9)
  - teste GRS comune pentru toate cele 24 de strategii (Tabelul 11)
  - Modelul cu un factor, doar CMKT, este CAPM-ul cripto
  - Testare multiplă: valori p ajustate pentru numărul mare de strategii testate (rata de eroare folosită: în ▸ Anexă)

Studiu de caz: mărimea și momentum-ul explică anomaliile

Rezultat	Cifrele din lucrare	Interpretare
Randamente săptămînale (Tabelul 1)	media și abaterea standard pe săptămînă: piața 1,3% și 11,2%, Bitcoin 1,3% și 11,1%, XRP 2,6% și 23,7%, Ether 3,6% și 21,0%	piața se comportă ca Bitcoin
Mărimea (Tabelul 3)	cvintila de sus minus cea de jos $-5{,}8\%$ pe săptămînă ($t = -2{,}45$)	prima se concentrează la monedele mici
Momentum (Tabelul 4)	cîștigătoarele minus perdantele pe trei săptămîni 3,1% pe săptămînă ($t = 2{,}65$)	cîștigătoarele continuă să cîștige
CAPM cripto (Tabelul 8)	toți cei zece coeficienți alfa sînt semnificativi strategia momentum: $\alpha = 3{,}0\%$ ($t = 2{,}55$), $R^2 = 0{,}001$	factorul pieței nu este suficient
Trei factori (Tabelul 9)	niciun coeficient alfa nu este semnificativ strategia momentum: $\alpha = 1{,}1\%$ ($t = 1{,}41$), coeficientul pe CMOM 1,12, $R^2 = 0{,}58$	mărimea și momentum-ul explică cele zece anomalii
Testul comun (Tabelul 11)	GRS pe 24 de strategii: $p = 0{,}033$ (șase factori Fama–French), $p = 0{,}194$ (trei factori cripto)	factorii acțiunilor nu sînt reperul adecvat

- Momentum-ul este un efect al monedelor mari, invers față de acțiuni
  - 3,2% pe săptămînă peste mărimea mediană, nesemnificativ sub ea (Tabelul IA.10; IA: anexa online)
- Tipul de dovadă: comparație între proceduri

Studiu de caz: Tabelul 1 refăcut pe datele cursului



- Randamente săptămînale simple, cu calendarul lucrării
  - Albastru: Tabelul 1, Panelul B din Liu, Tsyvinski & Wu (2022)
  - Portocaliu: eșantionul nostru (închideri zilnice), aceleași săptămîni
  - Verde: august 2020 – 16 sept. 2026

- Cea mai mare diferență față de lucrare apare la media Ether: 0,26 erori standard i.i.d. (SE = 1,29 puncte procentuale)
- În afara eșantionului (*out-of-sample*, 319 săptămîni), media săptămînală: Bitcoin 0,9%, XRP 1,6%, Ether 1,2%
  - Abaterea standard: Bitcoin 8,0%, XRP 16,1%, Ether 11,1%
  - Volatilitatea Ether scade aproximativ la jumătate

MFM_ch16_ltw ▶ Interactiv

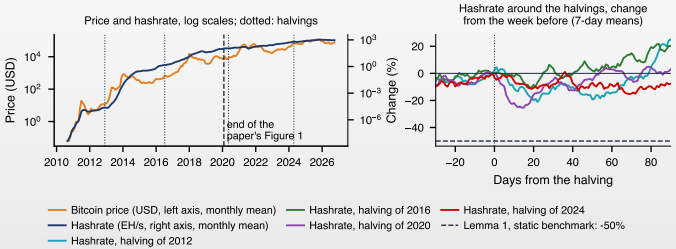
Limite și teste în afara eșantionului

- **Limite** declarate de autori (Secțiunea 6.2)
  - Un eșantion scurt, 2014 – iulie 2020, în care investitorii încă învățau despre această tehnologie: verificarea se limitează la cele două jumătăți ale eșantionului (aceleași semne)
  - Majoritatea monedelor nu pot fi vîndute în lipsă: pentru cele mai mari 20 de monede, după costurile de tranzacționare, rămîn aproximativ 60% din randamentele strategiilor long–short care vînd în lipsă Bitcoin (Tabelul IA.16)
  - Cu prețuri de la trei burse importante, în USD, diferența de randament dintre portofoliile ordonate după valoarea de piață nu mai este semnificativă (Tabelul IA.15)
- **Extindere deschisă**, în afara eșantionului, august 2020 – septembrie 2026 (colapsurile din 2022, ETF-urile spot)
  - Mai există momentum-ul pe trei săptămîni la monedele mari?
  - Rămîne CMKT segmentat față de acțiuni?
  - Coeficienții alfa din CAPM-ul cripto și regresia de segmentare din nota 16 din Liu, Tsyvinski & Wu (2022) pe cei cinci factori globali Fama & French (2015) și cinci cursuri de schimb
  - Un test de ruptură la o dată necunoscută (Seminarul 16, C3)

Studiu de caz: prețul Bitcoin și securitatea rețelei

- Pagnotta (2022), *Review of Financial Studies*: un model de echilibru în care prețul Bitcoin și securitatea rețelei se determină împreună
  - utilizatorii evaluează monedele ținînd cont de riscul unui atac care ar bloca transferurile
  - minerii investesc putere de calcul pentru recompensa de bloc, plătită în bitcoin
- **Hashrate**: puterea de calcul totală a minerilor, în hash-uri pe secundă (1 EH/s $= 10^{18}$ hash/s)
  - un atac reușește doar cu o putere de calcul comparabilă cu a minerilor onești
- Întrebarea: depinde securitatea Bitcoin de preț, nu doar de tehnologie?
- Afirmațiile lucrării
  - aceeași tehnologie admite echilibre multiple, cu prețuri și niveluri de securitate foarte diferite
  - legătura preț–securitate amplifică efectul șocurilor fundamentale asupra volatilității
  - ea poate produce cicluri de boom și prăbușire fără cauze fundamentale
  - implicația empirică: prețul și hashrate-ul evoluează împreună (Figura 1, aug. 2010 – ian. 2020)
- **Bugetul de securitate** (*security budget*): recompensa de bloc plus comisioanele plătite minerilor
  - ponderea zilnică a recompensei de bloc, iul. 2010 – ian. 2020: mediana 99,21%, media 97,57% (lucrarea, Secțiunea 1.1, nota 16, în manuscrisul SSRN 3264448)
  - aceeași pondere în datele Coin Metrics Community Data: mediana 99,20%, media 97,58%
  - fiecare halving înjumătățește recompensa de bloc

Studiu de caz: prețul și hashrate-ul Bitcoin, 2010–2026



- Stînga: mediile lunare ale prețului (datele cursului) și ale hashrate-ului (Coin Metrics Community Data), aug. 2010 – sept. 2026
  - hashrate-ul: 952 EH/s, media celor 7 zile pînă la 18 sept. 2026
- Dreapta: variația hashrate-ului față de săptămîna dinaintea fiecăruia dintre cele patru halving-uri
  - linia întreruptă: −50%, reperul static al Lemei 1 (slide-ul următor) la preț anticipat, cost și număr de mineri neschimbate
  - cea mai mare scădere în primele 90 de zile: −25% (2020, ziua 14)

MFM_ch16_pagnotta ▶ Interactiv

Studiu de caz: Lema 1 și replicarea pe datele cursului

- Lema 1 din Pagnotta (2022): m mineri identici; lema admite un cost convex, aici cazul cu cost liniar c pe unitatea de hashrate
  - hashrate-ul de echilibru: $H^* = \frac{m-1}{m} \frac{\delta R \, \mathbb{E}_t[p_{t+\mathbf{1}}]}{c}$
  - R: recompensa pe bloc, în bitcoin; $p_{t+\mathbf{1}}$: prețul la care minerul vinde recompensa; δ: factorul de actualizare
  - Predicția 1: elasticitatea lui H^* față de R este 1, la $\mathbb{E}_t[p_{t+\mathbf{1}}]$, c și m constante
  - Predicția 2: la preț anticipat, cost și număr de mineri neschimbate, un halving înjumătățește H^*
- Datele: prețul Bitcoin din datele cursului; hashrate-ul, monedele emise, comisioanele și numărul blocurilor din Coin Metrics Community Data
  - recompensa în USD pe bloc din ziua t: $B_t = p_t \times$ (subvenția + comisioanele) / numărul blocurilor
  - venitul zilnic al minerilor depinde și de numărul blocurilor din ziua t, care intră și în estimarea hashrate-ului
  - prețul curent p_t ține locul prețului anticipat $\mathbb{E}_t[p_{t+\mathbf{1}}]$
- Lucrarea arată doar seriile (Figura 1); replicarea adaugă trei teste
  - regresia lui $\ln H$ pe $\ln B$ și un trend liniar, pe medii lunare: trendul preia scăderea costului c odată cu echipamente mai eficiente
  - testul Engle & Granger (1987): ipoteza nulă este lipsa cointegrării dintre $\ln H$ și $\ln B$
  - cele patru halving-uri: subvenția pe bloc scade la jumătate la blocurile 210 000, 420 000, 630 000 și 840 000; datele sînt zilele UTC (*Coordinated Universal Time*, timpul universal coordonat) ale acestor blocuri
- Ferestre: cea a lucrării (aug. 2010 – ian. 2020) și cea din afara eșantionului (feb. 2020 – aug. 2026)

Studiu de caz: la halving, hashrate-ul scade mai puțin decît reperul static de 50%

Test	Datele cursului	Interpretare
Nivele, aug. 2010 – ian. 2020	elasticitatea față de B: 1,19 (SE HAC 0,21) cu trend; 2,44 fără trend ($R^2 = 0{,}91$)	asociere apropiată de 1
Alte venituri, cu trend	subvenția pe bloc 1,21; venitul zilnic 1,15	aceeași asociere
Nivele, în afara eșantionului	elasticitatea: 0,03 (SE HAC 0,09) cu trend; 0,82 fără trend ($R^2 = 0{,}24$)	nesemnificativă alături de trend, ceea ce nu arată dispariția legăturii
Engle–Granger	valoarea p: 0,79 (fereastra lucrării), 0,72 (în afara eșantionului)	nicio dovadă de cointegrare: regresiile pe nivele sînt descriptive
Halving, ziua 30: recompensa în USD pe bloc	2012: −45%; 2016: −56%; 2020: −48%; 2024: −52%	aproape −50%
Halving, ziua 30: hashrate-ul	2012: −10%; 2016: +4%; 2020: −5%; 2024: −8%	variații mai mici decît reperul static de −50%

- Tipul de dovadă: descriere
  - asocieri descriptive: nu identifică efectul securității asupra prețului și nu testează echilibrele multiple
- Lema 1 este o condiție statică de echilibru: echipamentul deja cumpărat este un cost irecuperabil (*sunk cost*), iar minerii rămîn activi cît timp recompensa acoperă costul energiei
- Limite: hashrate-ul este estimat din timpii blocurilor; halving-urile sînt anticipate de mineri; prețul anticipat nu este observat

ETF-urile spot și integrarea Bitcoin (1/2)

- Au integrat ETF-urile spot pe Bitcoin din SUA (din 11 ianuarie 2024) Bitcoin cu acțiunile?
  - o întrebare parcursă cu un asistent AI: legătura în medie, în cozi și în formarea prețului
- O întrebare deschisă, cu răspunsuri recente
  - Lee & Lee (2025) studiază modificarea legăturilor după aprobare
  - Kang & Lee (2026) își intitulează răspunsul „instituționalizare fără integrare"
- Formularea statistică: $H_0 : \rho_{\text{post}} = \rho_{\text{pre}}$ față de $H_1 : \rho_{\text{post}} > \rho_{\text{pre}}$
  - ρ_{pre}, ρ_{post}: corelațiile înainte și după lansare
- La fel pentru dependența în coada stîngă λ_L
  - adică probabilitatea unei pierderi extreme a Bitcoin condiționat de o pierdere extremă a acțiunilor
  - definiția: Capitolul 6
- Ipoteza este infirmată dacă datele aleg o ruptură departe de ianuarie 2024 sau dacă datele de lansare placebo (fictive) dau schimbări la fel de mari

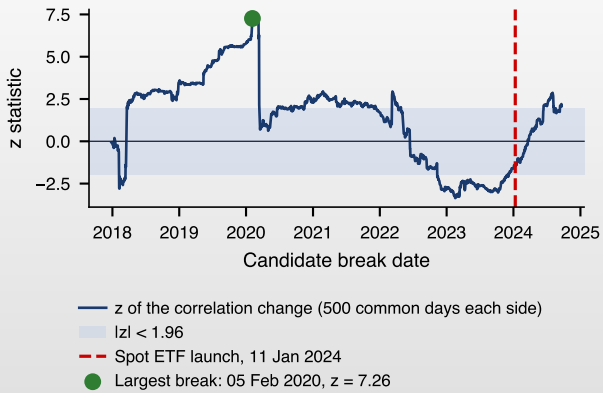
ETF-urile spot și integrarea Bitcoin (2/2)

- Identificarea: lansarea este un eveniment, nu un experiment
  - se suprapune cu ciclul dobînzilor și cu halving-ul din aprilie 2024
  - și cu fluxuri care reacționează la prețuri
- Bucla descoperirii într-o singură trecere: asistentul propune, cercetătorul verifică
  - Asistentul propune literatura (fiecare DOI, Digital Object Identifier, verificat), ipoteze concurente, cod care replică întîi $\hat{\rho} = 0{,}39$ și 0,38, un plan de robustețe preînregistrat și o critică în stilul unui recenzent
  - Prompturile reutilizabile sînt în ▸ Anexă

Verificările cercetătorului

- **Calendarele**: randamente calculate pe calendare diferite, apoi împerecheate
  - variația Bitcoin de duminică la luni este comparată cu variația S&P 500 de vineri la luni
- Remediu: aliniem întîi prețurile pe zilele comune, apoi calculăm randamentele
- **Orele de închidere și volatilitatea** Forbes & Rigobon (2002)
  - închiderile nesincrone deplasează corelațiile zilnice spre zero
  - volatilitatea mare le crește
  - verificăm randamentele săptămînale, corelația decalată și ρ^* ajustat
- **Deplasarea de supraviețuire și oferta**
  - folosim universul așa cum era la fiecare dată și oferta în circulație, ca în regula CRIX
- **Referințe și cifre inventate**: fiecare DOI trimite, pe Crossref, la un articol cu același titlu
- Fiecare cifră este regenerată de codul din depozitul de cod (*repository*)

Mini studiu de caz: efectul ETF-urilor asupra corelației (1/2)



- Afirmația asistentului: „ETF-urile spot au integrat Bitcoin cu acțiunile”
  - $\hat{\rho} = 0{,}39$ în 2020–2023 ($n = 1\,006$), 0,38 din 11 ianuarie 2024 ($n = 674$)
- Diferența $-0{,}01$, CI 95% $[-0{,}12; 0{,}13]$ (bootstrap circular pe blocuri de 20 de zile)
  - CI-ul unei corelații presupune moment de ordin patru finit, pus sub semnul întrebării în Capitolul 1

ai_discovery_case.py ▶ Interactiv

Mini studiu de caz: efectul ETF-urilor asupra corelației (2/2)

- Graficul: $z(\tau) = [\operatorname{atanh} \hat{\rho}_{\textbf{după}} - \operatorname{atanh} \hat{\rho}_{\textbf{înainte}}] / \sqrt{2/(h-3)}$
  - pentru fiecare dată-candidat τ
  - corelații pe $h = 500$ de zile de fiecare parte a lui τ
  - atanh (Fisher) face fiecare estimare aproximativ Normală, cu varianța $1/(h-3)$, deci $z \approx N(0,1)$ fără schimbare
- Cel mai mare $z(\tau)$ pe 5 feb. 2020 ($z = 7{,}26$), iar la data ETF $z = -1{,}48$
  - 82% dintre datele-candidat dau un $|z|$ mai mare
  - Scanarea indică începutul lui 2020, aproape de data care minimizează SSR în regresia cu ruptură (9 mart. 2020)
- Banda $\pm 1{,}96$ din grafic este punctuală
  - maximul pe peste o mie de date care se suprapun cere o valoare critică proprie, ca pentru sup W
- Cu cozi grele și gruparea volatilității, varianța lui $\operatorname{atanh} \hat{\rho}$ este de regulă mai mare decît $1/(h-3)$
- Prin urmare, scanarea este descriptivă, iar inferența este testul sup-Wald
- Tipul de dovadă: descriere
  - lansarea ETF-urilor este un eveniment, nu un experiment

Rîndul dumneavoastră: o idee de proiect

- **Întrebarea**: a schimbat instituționalizarea relația dintre Bitcoin și acțiunile americane?
  - dependența în **cozi**
  - **formarea prețului**
- **Replicați întîi**: $\hat{\rho} = 0{,}39$ și $0{,}38$ din acest capitol
  - apoi o estimare principală din Lee & Lee (2025) sau Kang & Lee (2026) pe eșantionul lor
  - Extindeți: dependența în coada stîngă din copule (Capitolul 6), randamente săptămînale, decalajul IBIT–Bitcoin în orele de tranzacționare din SUA
- **Livrabile**
  - un plan preînregistrat, salvat înaintea rezultatelor
  - un notebook care regenerează fiecare cifră
  - mărimi ale efectelor cu CI și lista completă a specificațiilor
- **Jurnalul AI**: prompturile care au influențat planul cercetării, în `AI_USE.md`
- Fiecare afirmație greșită și testul care a depistat-o, în `AI_ERRORS.md`
  - de exemplu: un DOI inventat, randamente pe calendare nepotrivite
  - șabloane

Concluzii principale (1/2)

- Randamentele cripto:
  - Volatilitate de 3–7 ori mai mare decît a acțiunilor, drawdown-uri de peste 80%, weekenduri mai calme
  - Cozi grele, cu indici ai cozii apropiați de cei ai acțiunilor și aurului
  - Modelul cu o ruptură estimează schimbarea coeficienților în martie 2020
  - Comparația aleasă nu detectează o creștere a corelației după ETF-uri
  - Beta față de S&P 500: aproape 0 înainte de ruptură, peste 1 după
- Indicii:
  - Un indice de tip Laspeyres cu divizor
  - CRIX își alege mărimea printr-un AIC pe reziduurile de urmărire
  - Ponderile în valoarea de piață fac ca indicii cripto să fie dominați de Bitcoin

Concluzii principale (2/2)

- Stablecoin-urile:
  - Paritatea este o bandă de arbitraj care ține doar cît timp răscumpărarea funcționează
  - Un AR cu prag o descrie, iar liniaritatea se testează prin bootstrap, nu cu χ^2
- DeFi:
  - $xy = k$ stabilește prețul unui schimb ca un comision plus impactul de preț
  - Furnizarea de lichiditate înseamnă vînzare de volatilitate, cu un cost de $\sigma^2/8$ pe an
- ETF-urile și clasa de active:
  - ETF-urile replică moneda unu la unu dacă se ține cont de orele de închidere
  - Cripto-activele, separate ca distribuție în 2019–2021, s-au apropiat de celelalte clase după ETF-uri (deplasare nesemnificativă) și se comportă ca un activ de risc în mișcarea comună cu piața

Verificarea înțelegerii și capitolele următoare

Întrebări de verificare

- De ce nu raportăm kurtosis-ul empiric al Bitcoin?
- Ce îl înlocuiește?
- De ce nu putem testa un prag sau o dată de ruptură cu valori critice χ^2?
- Cînd nu mai menține banda de arbitraj paritatea unui stablecoin?
- De ce rămîne un furnizor de lichiditate în urma reperului de reechilibrare chiar dacă prețul revine la p_0?
- De ce subestimează o regresie zilnică cît de bine urmărește IBIT Bitcoin?

Capitolele următoare

- Capitolul 17, bule și crahuri: teste de rădăcină explozivă și legi de putere log-periodice, cu avînturile cripto ca exemplu principal
- Capitolul 18, riscul sistemic: contagiunea dintre cripto, bănci și piețele de acțiuni
- De revăzut
  - VaR și ES pentru cripto (Capitolul 7, Pele & Mazurencu-Marinescu-Pele (2019b))
  - Arbitrajul, segmentarea și lichiditatea burselor cripto (Capitolul 10, Makarov & Schoar (2020), Agakishiev, Härdle & Pele (2025))
- Lecturi
  - Härdle, Harvey & Reule (2020), Franke, Härdle & Hafner (2019), Schär (2021)

Decizia practică

- **Ce aleg**
  - indicele cozii (Hill) cu CI în locul kurtosis-ului empiric: toate cele șase CI 95% se află sub 3,7
  - beta și corelația față de acțiuni din regimul de după ruptura din 9 mart. 2020 ($\hat{b} = 1{,}22$), pe zilele comune
  - randamente săptămînale pentru replicarea ETF-urilor ($\hat{\beta}$ de 1,01 și 0,99)
  - pentru paritatea unui stablecoin, un AR cu prag testat printr-un bootstrap care păstrează dependența, nu cu χ^2
- **În ce condiții**
  - răscumpărarea la emitent funcționează: altfel banda de arbitraj dispare (USD Coin, 11 mart. 2023)
  - pentru un furnizor de lichiditate: comisioane peste $\sigma^2/8$, adică 5,79% pe an în pool-ul Ether, reperul modelului fără fricțiuni
- **Ce rezultat m-ar face să renunț**
  - o ruptură ulterioară, confirmată de un nou test sup-Wald și datată prin minimul SSR, după care beta revine spre 0
  - CI Hill robuste la dependență situate în întregime peste 4, pentru ambele cozi: abia atunci kurtosis-ul ar avea un parametru finit de estimat
  - pe date săptămînale, un beta al ETF-ului departe de 1 sau un drift mult peste comisionul de 0,25%

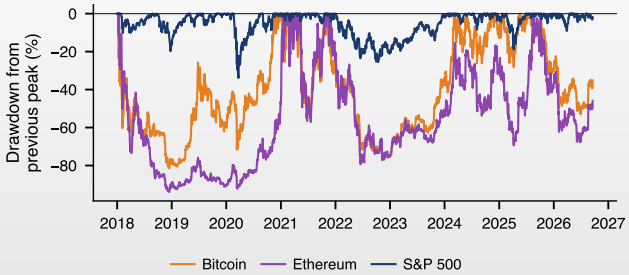
Istorii mai lungi și serii suplimentare

Seria	Perioada	Folosită pentru
Bitcoin și S&P 500, zilnic	din ianuarie 2016	corelațiile din 2017–2019, perioada de bază Forbes–Rigobon, testul de ruptură (2 693 de zile comune)
Bitcoin și XRP; Ether	din ianuarie 2014; din 6 august 2015 (săptămîna 32)	studiul de caz: Tabelul 1 din Liu, Tsyvinski & Wu (2022) refăcut, volatilitatea pe 52 de săptămîni
XRP, BNB, Chainlink, zilnic	randamente săptămînale din 9 feb. 2018	testul GRS pe opt monede (Secțiunea 7), replicarea din studiul de caz
Bonul de trezorerie la 4 săptămîni, DTB4WK (FRED)	aceleași săptămîni ca testul GRS	randamentele în exces din testul GRS
Rata bonurilor de trezorerie la o lună (Kenneth French Data Library)	săptămînile studiului de caz	studiul de caz, definiția CMKT
ETF-urile spot IBIT și ETHA	din 11 ian. 2024, respectiv 23 iul. 2024	replicarea ETF și beta Dimson
Acțiunile Coinbase și Strategy	săptămînal, aprilie 2021 – septembrie 2026	regresiile cu doi factori pentru acțiunile „cripto”

Valoarea de piață a cinci criptomonede: concentrarea pieței

- Concentrarea: **indicele Herfindahl–Hirschman** $\mathrm{HHI} = \sum_i w_i^2$
  - $w_i = M_{i,t} / \sum_j M_{j,t}$: ponderea monedei i în valoarea totală
  - De la $1/5$ (ponderi egale) la 1 (o singură monedă)
  - Azi 0,71, un număr efectiv de monede $1/\mathrm{HHI} = 1{,}42$
- Cele cinci monede: Bitcoin, Ethereum, Dogecoin, Cardano și Litecoin
- Solana nu are o serie publică a ofertei în circulație
  - deci nici valoare de piață (Secțiunea 3)
- XRP (tokenul nativ al XRP Ledger) și Chainlink sînt excluse
  - oferta raportată include tokenurile emitentului, nu doar free float-ul

Drawdown-urile: amploare și durată



- Drawdown-ul (căderea față de maximul anterior), în %
  - Bitcoin a fost cu peste 50% sub maxim în 36% din zilele de după 2018, Ethereum în 61%
  - drawdown-ul S&P 500 a fost de cel mult 34% (martie 2020)
- Azi, Bitcoin este cu 35%, iar Ethereum cu 46% sub maximele lor
- Fiecare avînt este urmat de o „iarnă cripto" îndelungată (2018–2020, 2022–2023)
  - bulele sînt tratate în Capitolul 17

MFM_ch16_stylised

Beta Bitcoin față de S&P 500: SE HAC

- SE Newey–West Newey & West (1987): $\widehat{\mathrm{Var}}(\hat{a}, \hat{b}) = (X'X)^{-1}\,\hat{S}\,(X'X)^{-1}$
  - $\hat{S} = \hat{\Gamma}_0 + \sum_{l=1}^{L}\left(1 - \frac{l}{L+1}\right)(\hat{\Gamma}_l + \hat{\Gamma}_l')$, cu $\hat{\Gamma}_l = \sum_t \hat{u}_t \hat{u}_{t-l}\, x_t x_{t-l}'$ și $x_t = (1, r_t^{\mathrm{SPX}})'$, rîndul t al matricei X
  - Ponderile Bartlett $1 - l/(L+1)$ fac $\hat{S}$ pozitiv semidefinită
  - $L = \lfloor 4(T/100)^{2/9} \rfloor$ laguri: 8 pentru $T = 2\,693$ de zile
- De ce HAC (Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent)?
  - cu gruparea volatilității, varianța lui u_t crește în zilele agitate ale pieței
  - iar SE OLS presupune varianță constantă și erori necorelate
- Pe tot eșantionul: $\hat{b} = 0{,}95$, SE HAC 0,13, față de SE OLS 0,07
  - O singură beta pentru 2016–2026 presupune o legătură stabilă: testăm întîi o ruptură la o dată necunoscută

Corelație și volatilitate: ajustarea Forbes–Rigobon (1/2)

- Corelația Pearson crește mecanic cînd crește volatilitatea pieței care transmite șocurile Forbes & Rigobon (2002)
  - chiar cu aceeași legătură de fond
- Corelația ajustată: corelația pe care ar avea-o perioada agitată la volatilitatea perioadei calme
  - $\rho^* = \dfrac{\rho}{\sqrt{1+\delta(1-\rho^2)}}, \qquad \delta = \dfrac{\sigma^2_{\mathrm{SPX,high}}}{\sigma^2_{\mathrm{SPX,low}}} - 1$
  - ρ: corelația randamentelor Bitcoin și S&P 500 în perioada agitată
  - ρ^*: corelația ajustată
  - $\sigma^2_{\mathrm{SPX,high}}$, $\sigma^2_{\mathrm{SPX,low}}$: varianța randamentelor S&P 500 în perioada agitată (high) și în perioada calmă de bază (low, 2017–2019)
  - δ: creșterea relativă a acestei variațe
  - $\delta = 0$ dă $\rho^* = \rho$, iar $\delta > 0$ dă $\rho^* < \rho$
- Rezervă: ajustarea presupune lipsa endogenității și a șocurilor comune omise
  - ipoteze greu de susținut în timpul unei pandemii

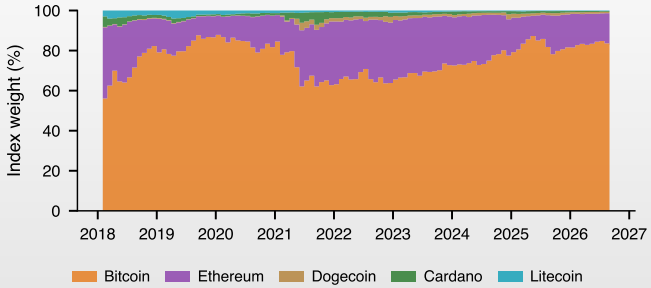
Corelație și volatilitate: ajustarea Forbes–Rigobon (2/2)

- 2020–2023: $\hat{\rho} = 0{,}39$ devine $\rho^* = 0{,}23$
  - volatilitatea S&P 500 este 23,1%, față de 12,8% în 2017–2019 ($\delta = 2{,}24$)
  - După ETF-uri: $\hat{\rho} = 0{,}38$, $\rho^* = 0{,}33$ ($\delta = 0{,}42$)
- Modificarea față de 2017–2019 ($\hat{\rho} = 0{,}02$): $\rho^*_{2020\text{–}23} - \hat{\rho}_{2017\text{–}19} = 0{,}21$
  - CI 95% bootstrap pe blocuri $[0{,}09; 0{,}33]$
  - CI exclude 0: corelația ajustată a crescut
  - În ipotezele ajustării, 44% din creșterea brută este atribuită volatilității
  - Creșterea ajustată rămîne pozitivă: o sincronizare mai puternică a randamentelor, nu un mecanism identificat

Deplasarea de supraviețuire: indicii supraviețuitorilor

- Universul de la începutul perioadei, cu $\pi = P(S_i = 1)$
  - monedele care vor supraviețui ($S_i = 1$)
  - monedele care vor dispărea ($S_i = 0$)
- Media populației: $E[\bar{r}_i] = \pi\, E[\bar{r}_i \mid S_i = 1] + (1 - \pi)\, E[\bar{r}_i \mid S_i = 0]$
  - $\bar{r}_i$: randamentul mediu al monedei i
- Deplasarea unui eșantion de supraviețuitori: $E[\bar{r}_i \mid S_i = 1] - E[\bar{r}_i] = (1 - \pi)\big(E[\bar{r}_i \mid S_i = 1] - E[\bar{r}_i \mid S_i = 0]\big)$
  - Pozitivă cînd supraviețuirea depinde de randamente: monedele care se prăbușesc sînt scoase de la tranzacționare Brown, Goetzmann, Ibbotson & Ross (1992)
  - Crește cu proporția monedelor dispărute, $1 - \pi$, mare pe piața cripto
- Indicii noștri folosesc cinci monede alese azi
  - randamentele lor sînt probabil mai mari decît ale unei strategii aplicabile în 2018
- Remediul: universul de la fiecare dată (point-in-time), ca în Liu, Tsyvinski & Wu (2022)
  - cu monedele dispărute incluse

Ponderile indicelui în timp (1/2)



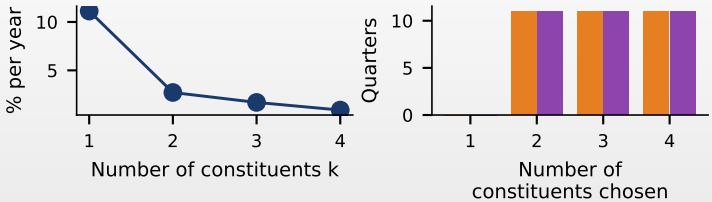
- Ponderile după valoarea de piață la fiecare realocare lunară
  - Bitcoin: în medie 75,7%, niciodată sub 56,1%, azi 82,9%
  - Ethereum: azi 15,8%
  - celelalte trei monede: împreună sub 2%
- 82,9% față de 82,5% în valoarea de piață: ponderile indicelui sînt fixate la ultima realocare

MFM_ch16_crix

Ponderile indicelui în timp (2/2)

- Altcoin-urile cîștigă pondere spre finalul avînturilor (2021) și o pierd în crahuri
  - altcoin-uri: alte monede decît Bitcoin
  - un indice cripto ponderat cu valoarea de piață este dominat de Bitcoin

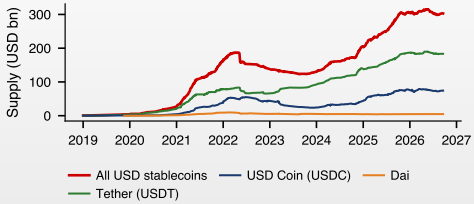
Eroarea de urmărire și regula CRIX



- Stînga: eroarea de urmărire a indicelui cu primele k monede (ponderi 1) față de cel cu cinci monede
  - 11,1% pe an pentru Bitcoin singur, 2,7% pentru două monede
  - 1,7% pentru trei, 0,9% pentru patru
- Dreapta: din 33 de trimestre, regula alege 2, 3 și 4 monede în cîte 11, iar în ultimul trimestru 2
- ECRIX și EFCRIX coincid în fiecare trimestru

MFM_ch16_crix

Ascensiunea stablecoin-urilor



- Oferta în circulație (DefiLlama): de aproximativ 73 de ori mai mare
  - de la 4,2 miliarde USD în ianuarie 2020 la 303 miliarde pe 18 sept. 2026
  - componenta de numerar a tranzacțiilor cripto și a DeFi
- Tether: 183 de miliarde (61%), USD Coin: 74 de miliarde (24%)
- După acoperire, pentru cele 42 de monede cu peste 100 de milioane USD la extragere (21 oct. 2026; univers retrospectiv)
  - 278 de miliarde acoperite cu monedă fiat
  - 22,2 miliarde cu cripto-active
  - 0,15 miliarde algoritmice
- Scăderea din 2022–2023: de la 187 de miliarde (2 apr. 2022) la 123 de miliarde (19 aug. 2023)
- TerraUSD a dispărut, iar USD Coin a scăzut de la 55 la 23 de miliarde

MFM_ch16_stablecoins

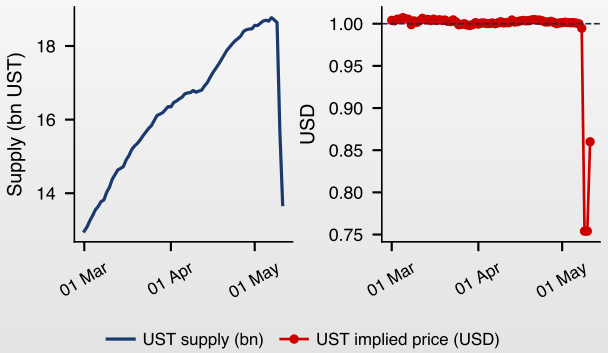
Benzile de arbitraj implică un AR cu prag: bootstrap-ul Hansen

- Valoarea p din bootstrap-ul cu regresori ficși al lui Hansen (1996), valid cu heteroscedasticitate
  - Serii artificiale $d_t^* = \hat{\varepsilon}_t \eta_t$: $\hat{\varepsilon}_t$ reziduurile AR(1) liniar (modelul sub H_0), $\eta_t \sim N(0,1)$ extrageri independente
  - Valid dacă scorurile $d_{t-1}\hat{\varepsilon}_t$ sînt necorelate în timp; altfel, η_t constant pe blocuri de zile consecutive (Shao (2010))
  - Regresorii d_{t-1} rămîn ficși, iar $\sup_c W^*(c)$ se recalculează pe fiecare serie artificială
  - p = proporția replicărilor cu $\sup_c W^* \geq \sup_c W$

Lățimea benzii: o estimare imprecisă

- $\hat{c}$ pentru USD Coin (2,87 pb): estimarea este imprecisă
  - aproape de pragul maxim admis de trimming (2,93 pb)
  - Tether: $\hat{c} = 8{,}57$ pb, pragul maxim 8,77 pb
  - Dai, cu 19,6% din zile în afara benzii, este mai departe de limită
- Timpii de înjumătățire depind de $\hat{c}$
- Testul de liniaritate nu depinde: $\sup_c W(c)$ și bootstrap-ul său parcurg întreaga grilă

TerraUSD: colapsul unui stablecoin algoritmic



- Oferta și prețul implicit (valoarea de piață / oferta), martie–mai 2022 (DefiLlama)
- TerraUSD (UST) își menținea paritatea prin schimb cu tokenul LUNA (Luna, tokenul nativ al blockchain-ului Terra), nu prin rezerve
  - Cererea venea din randamentele mari ale protocolului de creditare Anchor Liu, Makarov & Schoar (2023)
- Oferta a scăzut de la 18,8 miliarde UST (7 mai 2022) la 13,7 miliarde patru zile mai tîrziu
  - 27% din tokenuri au fost răscumpărate
  - Prețul implicit 0,754 USD pe 10 mai 2022
  - Seria se oprește pe 11 mai 2022; UST a scăzut apoi mult mai jos

MFM_ch16_stablecoins

Două episoade de stres: acoperire pusă la îndoială, mecanism prăbușit

USD Coin, martie 2023: acoperirea

- Tether a urcat la 1,0077 (maxim 1,0296): cererea s-a mutat spre celălalt stablecoin mare
- Duminică, 12 martie: toți deponenții SVB sînt protejați Treasury, Federal Reserve & FDIC (2023)
  - Paritatea a revenit în două zile: episodul a pus la încercare acoperirea, nu mecanismul de stabilizare

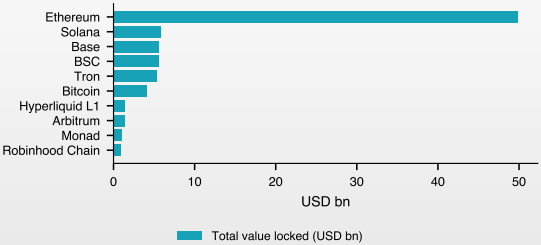
TerraUSD, mai 2022: mecanismul

- Răscumpărarea a creat mai multe tokenuri LUNA și le-a împins prețul în jos
  - o spirală autoîntreținută (death spiral)
  - în cîteva zile, UST și LUNA și-au pierdut aproape toată valoarea
  - Deținătorii sofisticați au ieșit primii și au pierdut mai puțin Liu, Makarov & Schoar (2023)
- Fără garanții externe, paritatea depinde doar de încredere: un run se autoîmplinește

Valoarea totală blocată în DeFi

- $\Delta \ln \mathrm{TVL}_t = a + b\,\Delta \ln P_t^{\mathrm{ETH}} + u_t$ lunar, SE Newey–West
  - b: variația în % a TVL la o variație de 1% a prețului Ether P_t^{ETH}: $\hat{b} = 0{,}79$ (SE 0,07), $R^2 = 0{,}62$, $n = 79$ de luni complete (feb. 2020 – aug. 2026)
- TVL amestecă prețul tokenurilor cu depunerile nete
  - măsurăm activitatea prin cantități la prețuri fixe, fluxuri nete sau comisioane
  - Riscurile DeFi: gradul de îndatorare, nepotriviri de lichiditate, interconectare Aramonte, Huang & Schrimpf (2021)

Unde este blocată valoarea



- TVL pe blockchain-uri la 18 septembrie 2026 (DefiLlama): primele zece dintre cele 15 mai mari la extragere (16 oct. 2026), deci un clasament retrospectiv
- Ethereum: 49,8 miliarde USD, adică 57% din totalul de 88 de miliarde
- Urmează, în miliarde USD: Solana 5,9, Base 5,6, BSC (BNB Smart Chain) 5,6, Tron 5,4
- Base și Arbitrum: rețele de nivel 2 (layer 2) care decontează pe Ethereum
  - tranzacții mai ieftine, aceeași ancoră de securitate
- L1 din grafic (Hyperliquid L1): o rețea de nivel 1 (layer 1)
  - un blockchain care își decontează singur tranzacțiile

MFM_ch16_defi

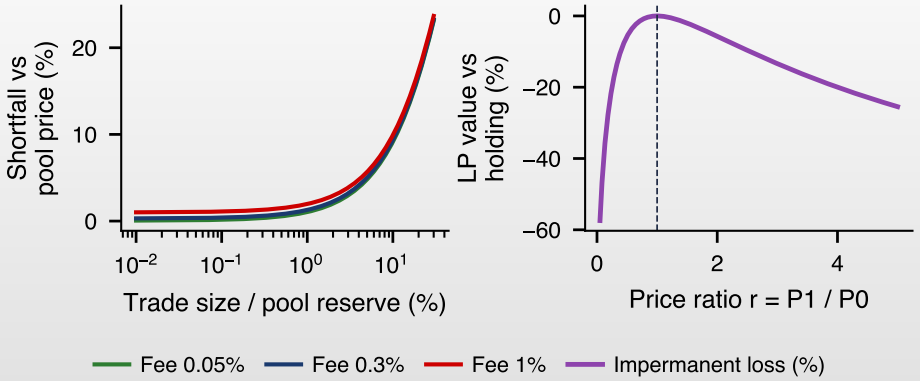
Exemplu lucrat: un schimb într-un pool Ether

- Pool-ul: $x = 2\,000$ Ether și $y = 5\,000\,000$ USD Coin
  - deci $p = 2\,500$ și $k = 10\,000 \times 10^6$
  - comisionul: $f = 0{,}3\%$
  - Vindem $\Delta x = 20$ Ether ($\delta = 1\%$), iar după comision $\gamma \Delta x = 19{,}94$
- $\Delta y = \dfrac{5\,000\,000 \times 19{,}94}{2\,000 + 19{,}94} = 49\,358$ USD Coin, un preț de execuție de 2 467,9 pentru un Ether
- Costul de execuție: $1 - 2\,467{,}9/2\,500 = 1{,}28\%$
  - comisionul de 0,3% plus aproximativ 1% impact de preț
- Noul preț al pool-ului: $(5\,000\,000 - \Delta y)/2\,020 = 2\,450{,}8$, adică $-1{,}97\%$
  - De ce 2 020 și nu 2 019,94: comisionul de 0,06 Ether rămîne în rezervă (Uniswap v2)
  - Produsul rezervelor crește la $2\,020 \times 4\,950\,642 = 10\,000{,}3 \times 10^6$, puțin peste k: invariantul se aplică doar intrării ajustate pentru comision, iar surplusul este venitul furnizorilor de lichiditate
  - Un arbitrajor cumpără acum Ether din pool și îl vinde în altă parte pînă cînd p revine în banda de non-arbitraj pe care comisionul o creează în jurul prețului pieței (Seminarul 16, A2)

Comisionul creează o bandă de non-arbitraj

- P: prețul Ether pe celelalte burse, $p = y/x$: prețul pool-ului
- Un arbitrajor poate vinde Ether pool-ului sau poate cumpăra Ether din pool
- Vînzarea este profitabilă dacă $\gamma p > P$, adică $p > P/\gamma$
  - un Ether adus pool-ului primește, la marjă, γp USD Coin
  - formula lui Δy cu $\Delta x \to 0$
- Cumpărarea este profitabilă dacă $p/\gamma < P$, adică $p < \gamma P$
  - un Ether scos din pool costă, la marjă, p/γ USD Coin
- Banda de non-arbitraj: $\gamma P \leq p \leq P/\gamma$, cu lățimea relativă $1/\gamma - \gamma \approx 2f$
  - În interiorul benzii arbitrajul nu acoperă comisionul, iar prețul pool-ului nu este corectat
- În exemplul anterior: $p = 2\,450{,}8 < \gamma P = 0{,}997 \times 2\,500 = 2\,492{,}5$
  - arbitrajorii cumpără Ether pînă cînd prețul efectiv al pool-ului ajunge la $\gamma P = 2\,492{,}5$, nu la $2\,500$
  - comisionul reținut în rezervă duce raportul rezervelor la $2\,492{,}56$, puțin în interiorul benzii

Alunecarea prețului și pierderea impermanentă (1/2)



MFM_ch16_amm

Alunecarea prețului și pierderea impermanentă (2/2)

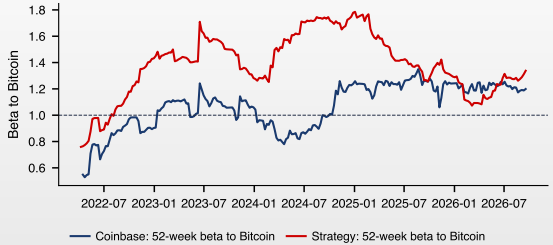
- Stînga: costul de execuție (Shortfall în grafic) după mărimea ordinului și comision
- Costul de execuție, cu un comision de 0,3%
  - 0,40% pentru un ordin de 0,1% din rezervă, 1,28% pentru 1% și 9,34% pentru 10%
  - cu un comision de 0,05%: 1,04% pentru 1%
- Ordinele mici plătesc comisionul, cele mari impactul de preț (aproximativ δ)
  - lichiditatea este adîncimea rezervei, nu un registru de ordine (Capitolul 10)
  - lichiditatea concentrată (Uniswap v3) adîncește pool-ul în jurul prețului
- Dreapta: valoarea poziției unui LP raportată la simpla deținere a celor două tokenuri
  - LP: furnizor de lichiditate (liquidity provider)
  - în funcție de raportul prețurilor $r = P_1/P_0$

MFM_ch16_amm

Beta Dimson: randamente decalate

- Dimson (1979): $r_t^{\text{ETF}} = a + \sum_{j=-1}^{1} b_j \, r_{t+j}^{\text{mon}} + u_t$
  - b_j: răspunsul la randamentul monedei din ziua $t+j$ ($j=-1$: ziua anterioară, $+1$: ziua următoare)
  - Beta sumă $\hat{\beta}_D = \hat{b}_{-1} + \hat{b}_0 + \hat{b}_1$ cumulează întregul răspuns
- Ce decalaj preia întîrzierea? Ne așteptăm la $b_{-1} > 0$ și $b_1 \approx 0$
  - închiderea zilnică a monedei vine după închiderea de la New York (ora 16:00)
  - deci randamentul ETF din ziua t conține deja ultimele ore ale zilei $t-1$ a monedei
  - IBIT: $\hat{b}_{-1} = 0{,}05$, $\hat{b}_0 = 0{,}94$, $\hat{b}_1 = 0{,}01$, tiparul unei închideri a monedei după New York
- IBIT: $\hat{\beta}_D = 1{,}00$ (SE 0,023) față de OLS 0,94 în aceleași 671 de zile
  - ETHA: 0,99 (SE 0,022) față de 0,94: la mai puțin de o SE de 1, ca și coeficienții beta săptămînali
  - Piața în care se formează prețul (price discovery) este o întrebare separată Hasbrouck (1995)

Beta față de Bitcoin în timp



- Beta pe o fereastră mobilă de 52 de săptămîni al randamentelor săptămînale față de Bitcoin
- Beta-ul Strategy a variat între 0,76 și 1,79
- Ambele acțiuni sînt mai volatile decît Bitcoin (55% pe an în aceleași săptămîni)
- Data schimbării lui beta: un test de ruptură la o dată necunoscută: Seminarul 16, B3, B4

MFM_ch16_equities

Testarea unui model factorial: Fama–MacBeth

- Prima unui factor: Fama–MacBeth (FM), în două etape
  - Etapa 1: coeficienții beta $\hat{\beta}_i$ din regresiile pe serii de timp
  - Etapa 2: în fiecare săptămînă regresăm transversal cele N randamente în exces pe $\hat{\beta}_i$
  - Panta $\hat{\lambda}_t$ este recompensa din acea săptămînă pe unitatea de beta
  - $\hat{\lambda}$, media valorilor $\hat{\lambda}_t$, este prima factorului
  - Eroarea standard: $\mathrm{SE}_{FM} = \text{ab. std.}(\hat{\lambda}_t)/\sqrt{T}$
- Eroarea standard FM ignoră faptul că $\hat{\beta}_i$ este estimat: corecția Shanken (1992)
  - Factorii slabi (dispersie mică a lui β între active) resping prea des Kleibergen (2009)
- GRS evaluează modelul, iar FM prima de risc
  - un model incomplet poate fi respins de GRS chiar dacă factorul are o primă nenulă
  - formule și versiuni robuste: Anexă

O replicare restrînsă: caracteristici și metodă

- 26 de active, în două ferestre
  - 8 cripto-active, 6 indici bursieri, 4 cursuri de schimb, 4 mărfuri, 4 ETF-uri de obligațiuni
  - printre indici: BET (*Bucharest Exchange Trading*), indicele de referință al Bursei de Valori București
  - W1: ianuarie 2019 – iunie 2021
  - W2: 11 ianuarie 2024 – 18 septembrie 2026 (după lansarea ETF-urilor spot)
- Opt caracteristici ale randamentelor log zilnice, fiecare activ pe propriul calendar
  - Momente: $\ln \sigma_a$ (logaritmul volatilității anualizate), asimetria S, $\ln(1+K)$ (K: excesul de kurtosis)
  - Memorie: $\hat{\rho}_1(r)$, $\hat{\rho}_1(r^2)$, autocorelațiile la lagul 1 ale randamentelor și ale pătratelor lor
  - Cozi: indicii Hill ai pierderilor și ai cîștigurilor (din cele mai mari 5%) și drawdown-ul maxim
- **Analiza componentelor principale** (PCA) a caracteristicilor standardizate
  - PCA: direcțiile de variație maximă (Capitolul 3)
  - Distanța dintre centrele claselor în întregul spațiu standardizat cu 8 dimensiuni

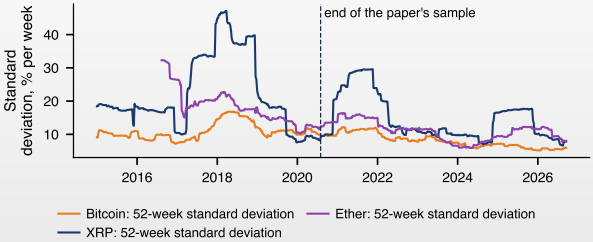
Semnificația deplasării (1/2): bootstrap-ul pe blocuri

- În fiecare fereastră extragem aceleași zile calendaristice pentru toate cele 26 de active
  - blocuri suprapuse de 28 de zile: patru săptămîni, 20 de zile de tranzacționare
  - Fiecare activ își păstrează randamentele din acele zile, deci dependența dintre active se păstrează
  - Recalculăm cele opt caracteristici, standardizarea comună și distanțele dintre centre
  - 500 de replicări
  - Statistica: modificarea $\Delta = d_{W2} - d_{W1}$ a distanței dintre centrul cripto și centrul fiecărei clase

Semnificația deplasării (2/2): intervalele și interpretarea

- Acțiuni: $\Delta = -0{,}39$, CI 95% $[-1{,}04; 0{,}59]$
- Mărfuri: $\Delta = -0{,}41$, CI 95% $[-1{,}38; 0{,}47]$
- Valute: $\Delta = -0{,}89$, CI 95% $[-1{,}67; 0{,}18]$
- Obligațiuni: $\Delta = -0{,}62$, CI 95% $[-1{,}55; 0{,}92]$
- Dispersia cripto-activelor în jurul centrului lor: $\Delta = -0{,}70$, CI 95% $[-1{,}09; 0{,}31]$
- Toate cele cinci intervale conțin 0
  - harta arată cripto-activele separat
  - dar nu stabilește o deplasare sigură spre celelalte clase după ETF-uri
- Rezervă: $\ln(1+K)$ și $\hat{\rho}_1(r^2)$ au un corespondent în populație doar dacă $Er^4 < \infty$
  - condiție îndoielnică aici
  - harta este descriptivă, iar intervalele sînt orientative

Studiu de caz: volatilitatea înainte și după eșantionul lucrării



- Abaterea standard a randamentelor săptămînale pe 52 de săptămîni
  - linia punctată: finalul eșantionului lucrării (iulie 2020)
- Maxime: XRP 47,1% pe săptămînă (mart. 2018), Bitcoin 16,9% (mai 2018)
- În ultima fereastră: Bitcoin 5,9%, XRP 7,8%, Ether 8,0% pe săptămînă
- Volatilitatea are regimuri: testele factoriale peste 2020 cer precauții
  - erori HAC
  - test de ruptură la dată necunoscută (Seminarul 16, C3)

MFM_ch16_ltw

Replicarea factorilor cripto

- **Replicare** cu datele cursului
  - închiderile zilnice ale celor nouă monede care nu sînt stablecoin-uri
  - Bitcoin, Ether, XRP, BNB, Cardano, Solana, Dogecoin, Litecoin, Chainlink
  - rata bonurilor de trezorerie la o lună din Kenneth French Data Library, bonul din definiția CMKT a lucrării
  - Limitarea datelor: CSMB și CMOM necesită praguri de sortare calculate pe sute de monede cu valori de piață, inclusiv cele dispărute
  - Cea mai apropiată metodă din lucrare folosește portofolii pe tercile pentru cele mai mari 20 de monede (Tabelul IA.13), dar cele nouă monede ale noastre sînt supraviețuitoarele de azi

Indicele cozii, condițiile inferenței (1/3)

- Coadă cu variație regulată: $P(L > x) = x^{-\alpha}\ell(x)$
  - ℓ cu variație lentă: $\ell(tx)/\ell(x) \to 1$ cînd $x \to \infty$, pentru orice $t > 0$
  - legea de putere exactă $Cx^{-\alpha}$, pînă la un factor care se schimbă lent
  - n: numărul de pierderi
  - $k \to \infty$ și $k/n \to 0$: tot mai multe observații din coadă, dar o proporție tot mai mică din eșantion
  - Condiția de ordinul doi $\sqrt{k}\,A(n/k) \to 0$: $A(\cdot)$ măsoară cît de repede se apropie coada de o lege de putere exactă, iar condiția face deplasarea neglijabilă
- Atunci $\sqrt{k}(\hat{\alpha}_H - \alpha) \Rightarrow N(0, \alpha^2)$, de unde $\mathrm{SE} = \hat{\alpha}_H/\sqrt{k}$
  - Proporția de 5% este un parametru de reglaj ales pentru eșantionul finit, nu rezultă din teorie

înapoi

Indicele cozii, condițiile inferenței (2/3)

- Cu gruparea volatilității, varianța depinde de dependența extremelor și este de regulă mai mare Drees (2000)
- Bootstrap-ul pe blocuri cere condiții suplimentare asupra cozii și a lungimii blocurilor
  - Alegem k dintr-un grafic Hill (*Hill plot*), $\hat{\alpha}_H$ în funcție de k, într-o zonă în care curba este plată Drees, de Haan & Resnick (2000)
  - Bitcoin: $\hat{\alpha}_H = 2{,}73$ ($k = 78$), cu SE 0,31
  - Cu k egal cu 2,5% sau 10% din pierderi, $\hat{\alpha}_H$ devine 3,48, respectiv 2,59: alegerea lui k contează la fel de mult ca eroarea de eșantionare

Înapoi

Indicele cozii, condițiile inferenței (3/3)

- Intervalele bootstrap pe blocuri ajung pînă la 4,48 pentru S&P 500
- Intervalele bootstrap pentru kurtosis-ul empiric sînt invalide cînd $\alpha < 4$
  - eșecul bootstrap-ului la varianță infinită, Athreya (1987)
  - Dogecoin: kurtosis-ul empiric 106,4, determinat de cîteva salturi declanșate de rețelele sociale, cu $\hat{\alpha}_H = 2{,}83$: statistica nu estimează un parametru stabil
- Egalitatea cozilor, H_0: $\alpha_1 = \alpha_2$: diferența $\hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_2$, cu un bootstrap comun pe blocuri de 28 de zile calendaristice
  - ambele active iau randamentele din aceleași zile, fiecare pe calendarul său: se păstrează șocurile comune
  - Bitcoin față de S&P 500: $-0{,}14$, CI 95% $[-1{,}68; 0{,}71]$
  - Dogecoin față de S&P 500: $-0{,}04$, CI 95% $[-1{,}77; 0{,}85]$
  - Bitcoin față de aur: $-0{,}02$, CI 95% $[-1{,}13; 0{,}81]$
  - cu k egal cu 2,5% sau 10% din pierderi, toate cele trei intervale conțin tot 0
- CI care se suprapun nu constituie un test de egalitate, iar nerespingerea nu înseamnă echivalență
  - intervalele de mai sus admit diferențe de peste 1 în α: apropierea estimărilor rămîne o observație descriptivă

Înapoi

Testul sup-Wald, limita sub H_0 și valorile critice

- Limita este $\sup_r \|B(r) - rB(1)\|^2/[r(1-r)]$
  - $r = \tau/T$: fracția de eșantion a rupturii
  - B: o mișcare browniană standard cu cîte o componentă pentru fiecare parametru
  - sup se calculează pentru $r \in [0{,}15; 0{,}85]$, intervalul de pe slide-ul principal
  - $B(r) - rB(1)$ este o punte browniană, nulă în $r = 0$ și $r = 1$
  - Valorile critice simulate din această limită, 11,55 la 5% și 15,18 la 1%, nu depind de T
- De ce maximul lui W nu datează ruptura?
  - $W(\tau)$ folosește o covarianță HAC separată în fiecare regim
  - deci data care îl maximizează (aici 14 aug. 2017) nu minimizează neapărat suma pătratelor reziduurilor
  - Data rupturii se citește din estimarea prin cele mai mici pătrate (9 mart. 2020) și intervalul ei
- De ce intervalul restrîns?
  - lîngă $r = 0$ sau $r = 1$ un regim are foarte puține zile, $r(1-r) \to 0$
  - supremumul pe tot intervalul $(0, 1)$ ar fi infinit

Înapoi

Regula CRIX publicată, în detaliu

- Indicele întregii piețe TMI (toate monedele) și indicii candidați CRIX(k, β)
  - cele mai mari k_1 monede cu ponderi 1
  - următoarele $s = k - k_1$ cu ponderi libere β (Trimborn & Härdle (2018), Secț. 3)
  - $\hat{\varepsilon}_t(k, \beta)$: reziduul de urmărire de pe slide-ul principal
  - $\hat{\beta}$ minimizează $\|\hat{\varepsilon}(k, \beta)\|^2$, suma pătratelor reziduurilor de urmărire
- AIC(k) de pe slide-ul principal
  - L evaluează reziduurile cu o densitate nucleu estimată din reziduurile de bază $\hat{\varepsilon}(k_1, 1)$
  - Nucleul Epanechnikov, o parabolă $K(u) = \frac{3}{4\sqrt{5}}(1 - u^2/5)$ pentru $|u| \leq \sqrt{5}$ (varianța 1)
  - Lățimea de bandă plug-in Sheather–Jones: o alegere a lățimii de netezire pe baza datelor
  - Pentru erori cu distribuția Normală se reduce la $T \ln \hat{\sigma}_k^2 + 2s$, cu T zile și $\hat{\sigma}_k^2$ varianța reziduurilor (Trimborn & Härdle (2018, author version))
- ECRIX: $k_1 = 1$, pași de o monedă, oprire la prima creștere a AIC (Trimborn & Härdle (2018, author version), Secț. 5)
- EFCRIX: oprire la minimul global al AIC
- Implementarea cursului este o adaptare didactică a ec. (19)–(20) din Trimborn & Härdle (2018, author version)
  - $\hat{\beta}$ prin cele mai mici pătrate, apoi L evaluată la $\hat{\beta}$: nu neapărat maximul lui L
  - căutarea se oprește la 4 din cele 5 monede ale universului
  - dacă ecuația Sheather–Jones nu are soluție, lățimea de bandă devine regula de referință Normală, $1{,}06\, \hat{s}\, n^{-1/5}$

înapoi

Abaterile de la paritate, statistici descriptive

	ab. std. (pb)	$\lvert d_t \rvert > 50$ (%)	închidere minimă (pb)	minim zilnic (pb)
Tether	7,3	0,14	−41	−515
USD Coin	7,5	0,14	−285	−1 226
Dai	10,8	0,57	−261	−1 030

- Închiderea zilnică, 1 ianuarie 2021 – 18 septembrie 2026
- $d_t = 10^4(P_t - 1)$: abaterea de la paritate, în puncte de bază
- Coloana „minim zilnic” folosește prețul minim din fiecare zi

Înapoi

Tokenizarea activelor din economia reală

- **Instrumente tokenizate purtătoare de randament**
  - creanțe asupra titlurilor de stat pe termen scurt și a numerarului
  - emise ca tokenuri pe un blockchain, cu forme juridice diferite
  - Unități de fond: BlackRock `BUIDL` 2,38 miliarde USD (18 sept. 2026, DefiLlama)
  - Circle `USYC` este tot o unitate de fond monetar tokenizată
  - O obligațiune garantată tokenizată, emisă de o entitate cu scop special: Ondo `USDY`
- Spre deosebire de un stablecoin de plată, ele plătesc deținătorului randamentul titlurilor de stat
- Avantaje: decontare 24/7, folosire ca garanție în DeFi
- Riscuri Aramonte, Huang & Schrimpf (2021)
  - erori în contractele inteligente
  - dreptul de proprietate
  - lichiditatea în perioade de stres
- Economia tokenurilor și adoptarea lor: Cong, Li & Wang (2021)

Înapoi

Finanțele descentralizate în cinci straturi

- Schär (2021) descrie DeFi ca o arhitectură pe straturi
  - **Decontare**: blockchain-ul și moneda nativă (Ether)
  - **Active**: tokenurile emise pe el (stablecoin-uri, tokenuri de guvernanță)
  - **Protocoale**: burse, creditare, derivate sub formă de contracte inteligente
  - **Aplicații** și **agregatoare**: interfețe care direcționează tranzacțiile între protocoale
- Promisiunea: acces deschis, transparență, compozabilitate (protocoalele se conectează unele la altele)
- Riscuri Aramonte, Huang & Schrimpf (2021)
  - grad de îndatorare ridicat, nepotriviri de lichiditate
  - interconectare inerentă, lipsa unui amortizor de șocuri
  - „Iluzia descentralizării": guvernanța tinde să concentreze puterea Aramonte, Huang & Schrimpf (2021)

Înapoi

Derivarea LVR $= \sigma^2/8$ (1/2)

- Valoarea pool-ului la prețul pieței P după arbitraj: $V(P) = Px + y = 2\sqrt{kP}$
  - concavă: $V'(P) = \sqrt{k/P} = x$, $V''(P) = -\frac{1}{2}\sqrt{k}\,P^{-3/2}$
  - $V'(P)$ este cantitatea de Ether din pool, iar $V'' < 0$ este gamma sa negativă
  - Portofoliul de reechilibrare, cu valoarea R_t: deține în fiecare moment aceeași cantitate de Ether, $x_t = V'(P_t)$, deci $dR_t = V'(P_t)\,dP_t$
- Prețul urmează o mișcare browniană geometrică $dP_t = \mu P_t\,dt + \sigma P_t\,dW_t$
  - lema lui Itô dă $dV_t = V'\,dP_t + \frac{1}{2}V''\,\sigma^2 P_t^2\,dt$
  - μ: tendința (drift), σ: volatilitatea
  - W_t: mișcare browniană standard, $V_t = V(P_t)$: valoarea pool-ului
  - Prin scădere: $d(R_t - V_t) = -\frac{1}{2}V''(P_t)\,\sigma^2 P_t^2\,dt = \frac{1}{4}\sqrt{kP_t}\,\sigma^2\,dt = \dfrac{\sigma^2}{8}\,V_t\,dt$

Înapoi

Derivarea LVR $= \sigma^2/8$ (2/2): interpretarea și ipotezele

- LVR este gamma negativă a pool-ului: o poziție de volatilitate vîndută Milionis et al. (2022)
  - pierde $\sigma^2/8$ din valoare pe unitatea de timp, oricare ar fi tendința
- Ipoteze: mișcare browniană geometrică continuă, arbitraj fără fricțiuni, fără comisioane, blocuri continue
  - Cu comisioane și blocuri discrete, arbitrajorii tranzacționează doar cînd prețul iese din banda comisionului, ceea ce reduce pierderea Milionis, Moallemi & Roughgarden (2025)

înapoi

Reperele furnizorului de lichiditate, în detaliu

- Rata LVR realizată pe an este $\frac{1}{Y}\sum_t(\Delta R_t - \Delta V_t)/V_{t-\mathbf{1}}$, cu $Y = 2{,}7$ ani, iar LVR cumulată este de 17,0 puncte în 2,7 ani
  - ΔR_t, ΔV_t: variațiile zilnice ale valorii portofoliului de reechilibrare și ale valorii pool-ului
  - $V_{t-\mathbf{1}}$: valoarea pool-ului în ziua anterioară
- Potrivirea cu teoria nu este un test
  - pierderea fiecărei zile este $g_t/2 - (\sqrt{1+g_t} - 1) \approx g_t^{\mathbf{2}}/8$
  - g_t: randamentul simplu zilnic al Ether
  - deci LVR realizată este aproximativ varianța realizată împărțită la 8: 5,83% față de $\sum_t g_t^{\mathbf{2}}/(8Y) = 5{,}88\%$
- 2,7 ani de date determină rata realizată doar cu o precizie de aproximativ ± 1 punct: CI $[4{,}88; 6{,}98]\%$
- Portofoliul cu ponderi constante 50/50 (valoare finală 123,3) este un alt reper
  - are aceeași rată instantanee
  - creșterea sa logaritmică o depășește pe a pool-ului cu $\sigma^{\mathbf{2}}/8$, aici 5,79% pe an

înapoi

Factorii cripto, literatura

- Valoarea din adoptarea pe blockchain și segmentarea față de piețele tradiționale Cong, Karolyi, Tang & Zhao (2026)
- Evaluarea greșită (mispricing) față de compensarea riscului Babiak & Bianchi (2025)
- Fundamentele: o lege Metcalfe generalizată Wheatley et al. (2019), Pele & Mazurencu-Marinescu-Pele (2019a)
  - valoarea rețelei crește cu o putere a numărului de utilizatori
  - legea descrie valoarea pe termen lung, iar bulele sînt abateri de la ea
- Adoptarea și valoarea tokenului se întăresc reciproc Cong, Li & Wang (2021)
- Două întrebări diferite, testate separat pe slide-urile următoare
  - Adecvarea modelului: sînt nuli toți coeficienții alfa ai activelor de test pentru factorii aleși? (serii de timp, GRS)
  - Prima de risc: este nenulă prima unui factor?
  - Prima unui factor tranzacționat este randamentul său mediu în exces
  - În analiza transversală, prima este λ din regresiile Fama–MacBeth

Înapoi

Testul pe serii de timp, GRS

- Modelul, H_0: $\alpha_1 = \cdots = \alpha_N = 0$ și statistica GRS Gibbons, Ross & Shanken (1989): slide-ul principal *Testarea unui model factorial (2/2)*
  - $\hat{\Sigma}$, $\hat{\Omega}$: covariațele reziduurilor și a factorilor, ambele împărțite la T
- Distribuția F este exactă doar dacă erorile, condiționat de factori, sînt i.i.d. cu distribuția Normală
- Randamentele cripto au $\hat{\alpha}_H$ în jur de 3 și gruparea volatilității
  - deci este puțin probabil ca reziduurile să îndeplinească această condiție
  - Alternative robuste: un test Wald GMM (Generalized Method of Moments, metoda generalizată a momentelor) cu covariață HAC sau un bootstrap wild sub H_0: $r_t^{e*} = \hat{\beta}' f_t + \hat{\varepsilon}_t \eta_t$
  - r_t^{e*}: randamente în exces artificiale cu coeficienți alfa nuli
  - $\hat{\varepsilon}_t$: vectorul reziduurilor din săptămîna t
  - $\eta_t = \pm 1$ cu probabilitatea 1/2 (Rademacher), o singură extragere pentru toate activele, ceea ce păstrează corelația transversală
  - Valid dacă reziduurile sînt necorelate în timp (diferențe de martingal), altfel bootstrap pe blocuri sau wild dependent
- $\hat{\Sigma}$ trebuie să fie inversabilă și precisă, deci N trebuie să fie mult mai mic decît T
- Datele cripto săptămînale din 2018 dau $T \approx 450$

înapoi

Secțiunea transversală (1/2), Fama–MacBeth și Shanken

- Două etape: întîi $\hat{\beta}_i$ din serii de timp, apoi regresii transversale
  - în fiecare săptămînă, regresia transversală pe cele N active $r_{it}^e = \gamma_{\mathbf{0}t} + \hat{\beta}_i' \lambda_t + e_{it}$
  - $\gamma_{\mathbf{0}t}$: termenul liber, randamentul în exces al unui activ cu beta zero
  - λ_t: recompensa pe unitatea de beta în săptămîna t
  - e_{it}: eroarea de evaluare
  - $\hat{\lambda}$ și SE_{FM} se calculează ca pe slide-ul principal
  - SE_{FM} este subestimată deoarece $\hat{\beta}_i$ este estimat (problema erorilor în variabile)
- Shanken (1992), pentru $\hat{\theta} = (\hat{\gamma}_{\mathbf{0}}, \hat{\lambda}')'$ și $X = [1, \hat{\beta}]$: $\widehat{\mathrm{Var}}(\hat{\theta}) = \frac{1}{T}\left[(X'X)^{-\mathbf{1}} X' \hat{\Sigma} X (X'X)^{-\mathbf{1}} (1 + \hat{\lambda}' \hat{\Sigma}_f^{-\mathbf{1}} \hat{\lambda}) + \hat{\Sigma}_f^*\right]$
  - 1: o coloană de 1
  - $\hat{\beta}$: matricea $N \times K$ a coeficienților beta
  - $\hat{\Sigma}$, $\hat{\Sigma}_f$: covarianța reziduurilor și covarianța factorilor
  - $\hat{\Sigma}_f^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \hat{\Sigma}_f \end{pmatrix}$
  - $\widehat{\mathrm{Var}}(\hat{\lambda})$ este blocul $K \times K$ din dreapta jos
  - Partea reziduală este înmulțită cu $1 + \hat{\lambda}' \hat{\Sigma}_f^{-\mathbf{1}} \hat{\lambda} > 1$, iar partea factorilor $\hat{\Sigma}_f^*$ se adaugă o singură dată
  - Ipoteze: reziduuri necorelate în timp și homoscedastice condiționat de factori

Înapoi

Secțiunea transversală (2/2), factori slabi și testare multiplă

- Factori slabi sau inutili: λ este slab identificat
  - dispersie mică a lui β, de ex. indicatori de atenție
  - statisticile t FM resping prea des
  - Folosim teste ale primelor de risc robuste la identificare Kleibergen (2009)
- Testarea multiplă: zeci de „anomalii" cripto au fost testate
- Un factor nou ar trebui să treacă de $|t| > 3$ Harvey, Liu & Zhu (2016) sau să controleze rata descoperirilor false
  - Rata descoperirilor false: proporția medie a rezultatelor false printre ipotezele respinse
  - În studiul de caz, Liu, Tsyvinski & Wu (2022): valori p ajustate după o rată generalizată a erorii pe familia de teste (k-FWER, probabilitatea a k sau mai multe respingeri false, Lehmann & Romano (2005)), mai permisivă decît controlul Holm al FWER (familywise error rate: probabilitatea a cel puțin unei respingeri false)

Înapoi

Calitatea datelor și identificarea

- **Tranzacții fictive** (wash trading) Cong, Li, Tang & Yang (2023)
  - volumul fals de pe bursele nereglementate exagerează factorii bazați pe volum și lichiditate
  - Filtrăm bursele și volumele după regulile articolului citat înainte de a construi orice factor
- **Alegerea prețului**: diferențe mari și recurente între burse Makarov & Schoar (2020)
  - mult mai mari între țări decît în interiorul lor
- **Deplasarea de supraviețuire**: monedele mari de azi sînt cîștigătoarele
- Monedele dispărute lipsesc din majoritatea eșantioanelor Brown, Goetzmann, Ibbotson & Ross (1992), Będowska-Sójka, Wójcik & Pele (2026)
- Remediu: fixăm ex ante universul investibil
  - lista burselor, filtrul de volum
  - păstrăm monedele scoase de la tranzacționare
  - raportăm rezultatele pe subuniversuri

Înapoi

Harta claselor de active, încărcările PC1

Caracteristica (standardizată)	Încărcare PC1
$\ln \sigma_a$, logaritmul volatilității anualizate	0,44
$\ln(1+K)$, kurtosis	0,52
Indicele Hill al pierderilor	−0,48
Indicele Hill al cîștigurilor	−0,34
Drawdown-ul maxim (număr negativ)	−0,42
Asimetria S	0,14
$\hat{\rho}_1(r^2)$	0,08
$\hat{\rho}_1(r)$	−0,05

- O încărcare este ponderea unei caracteristici standardizate în PC1
  - pătratele celor opt încărcări au suma 1
  - semnul este ales astfel încît PC1 să crească odată cu volatilitatea
  - PC1 mare: volatilitate și kurtosis mari, indici Hill mici (cozi grele), un drawdown maxim foarte negativ (căderi adînci)
  - Asimetria și cele două autocorelații aproape nu contribuie

Înapoi

Greșeli frecvente

- Raportarea kurtosis-ului empiric ca estimare a populației fără a discuta existența momentului de ordin patru
  - dacă $\alpha < 4$, kurtosis-ul populației nu există, iar intervalul bootstrap este invalid
  - $\hat{\alpha}_H < 4$ indică această situație, nu o demonstrează: decide intervalul lui α
- Testarea unui prag sau a unei date de ruptură cu valori critice χ^2
  - parametrul auxiliar nu este identificat sub H_0
- Compararea prețurilor de închidere înregistrate la ore diferite
  - duce la concluzia greșită că un ETF reproduce slab randamentele monedei
- Interpretarea creșterii TVL drept adopție fără a separa evaluarea tokenurilor de depunerile nete
- Tratarea unui stablecoin ca numerar fără risc
  - menținerea parității depinde de posibilitatea răscumpărării și de calitatea rezervelor
- Oferta totală în locul celei în circulație într-un indice ponderat cu valoarea de piață
- Deplasarea de supraviețuire: studierea doar a monedelor mari de azi Brown, Goetzmann, Ibbotson & Ross (1992), Będowska-Sójka, Wójcik & Pele (2026)
  - ignoră multele monede care au eșuat

Înapoi

Bucla descoperirii, prompturi reutilizabile (1/2)

- **Literatura**: cartografiem ce se știe, apoi verificăm fiecare referință
  - „Listează articolele din 2023-2026 care testează o schimbare a co-mișcării Bitcoin-acțiuni la aprobarea ETF-urilor spot din SUA: DOI, eșantion, metodă, semnul efectului.”
  - Verificăm fiecare DOI pe Crossref, deschidem articolul și găsim cifra pentru care este citat
  - Căutăm cu Semantic Scholar, Elicit sau Google Scholar
- **Ipoteze**: mecanisme concurente, fiecare cu o implicație pe care celelalte nu o au
  - „Dă trei mecanisme concurente pentru corelația Bitcoin-S&P 500 de după 2020 și, pentru fiecare, o implicație testabilă care îl separă de celelalte.”
  - De exemplu, fluxurile ETF implică un efect concentrat în orele de tranzacționare din SUA
  - Un factor monetar comun implică o co-mișcare cu surprizele de dobîndă încă dinainte de 2024
- **Date și cod**: pe datele cursului, replicînd întîi o cifră cunoscută
  - „Ia închiderile zilnice ale Bitcoin și S&P 500 din datele cursului, aliniază prețurile pe zilele comune, apoi calculează randamentele log și corelația lor în 2020-2023.”
  - Replicăm întîi: capitolul raportează 0,39 (2020–2023) și 0,38 (după ETF-uri)
  - Niciun rezultat nou înainte ca acest cod să le obțină pe amîndouă

Înapoi

Bucla descoperirii, prompturi reutilizabile (2/2)

- **Robustețea**, fixată înainte de a vedea rezultatele de după ETF-uri
  - `„Scrie un plan de robustețe preînregistrat: scanarea datei de ruptură, date de lansare placebo, randamente săptămînale, dependența în cozi, bootstrap pe blocuri; fixează acum fiecare alegere.”`
  - Planul fixează ferestrele, lungimea blocurilor și familia de teste: numărul de specificații este cunoscut și FWER poate fi controlată
- **Critica**: îi cerem asistentului să atace rezultatul
  - `„Joacă rolul unui recenzent: dă cele trei motive cele mai puternice pentru care această schimbare a corelației ar putea fi aparentă și testul care l-ar trănșa pe fiecare.”`
  - Ne așteptăm la: închideri nesincrone, corelație care crește mecanic cu volatilitatea Forbes & Rigobon (2002), evenimente care se suprapun
- **Raportul**: mărimea efectului cu CI, fiecare specificație încercată, ce a eșuat
  - Prompturile care au influențat planul analizei se consemnează în `AI_USE.md`

Înapoi

Pentru aprofundare pe Quantinar

Cursuri avansate pe quantinar.com

- Are Cryptos becoming alternative Assets?
- Introduction to Blockchain and Cryptocurrencies
- Comparison of Cryptocurrency Indices
- Cryptocurrency as an Asset Class
- Smart Contracts
- Stabilising Onchain Stablecoin Risks
- Risk Premia in the Bitcoin Market

Cod și date

- Quantlets: github.com/danpele/MFM/tree/main/Quantlets/Ch_16

Înapoi

Acronime folosite în acest material (1/5)

- **AI**: Artificial Intelligence — *inteligență artificială*
- **AIC**: Akaike Information Criterion — *criteriul informațional Akaike*
- **AR**: AutoRegressive (model); in event studies: Abnormal Return — *model autoregresiv; în studiile de eveniment: randament anormal*
- **BET**: Bucharest Exchange Trading (index) — *indicele de referință al Bursei de Valori București*
- **BNB**: BNB (native token of BNB Chain, formerly Binance Coin) — *tokenul nativ al BNB Chain (fostul Binance Coin)*
- **BSC**: BNB Smart Chain — *blockchain-ul BNB Smart Chain*
- **BTC**: Bitcoin (ticker) — *simbolul Bitcoin*
- **CAPM**: Capital Asset Pricing Model — *modelul de evaluare a activelor financiare*
- **CI**: Confidence Interval — *interval de încredere*
- **CMKT**: Crypto Market factor (value-weighted market excess return) — *factorul pieței cripto (randamentul în exces al pieței ponderate cu valoarea)*
- **CMOM**: Crypto Momentum factor (past winners minus losers) — *factorul de momentum cripto (cîștigătoare minus perdante)*
- **COVID-19**: COronaVIrus Disease 2019 — *boala provocată de coronavirus, 2019*
- **CRIX**: CRypto IndeX — *indicele pieței cripto*
- **CSMB**: Crypto Size factor (small minus big coins) — *factorul de mărime cripto (monede mici minus mari)*
- **DAI**: Dai (stablecoin of the Maker/Sky protocol) — *stablecoin-ul Dai, al protocolului Maker/Sky*

Acronime folosite în acest material (2/5)

- **DeFi**: Decentralised Finance — *finanțele descentralizate*
- **DOI**: Digital Object Identifier — *identificatorul permanent al unui articol*
- **DTB4WK**: 4-Week Treasury Bill Secondary Market Rate (FRED series code) — *randamentul bonurilor de trezorerie la 4 săptămîni pe piața secundară (codul seriei FRED)*
- **ECRIX**: Exact CRIX (number of constituents chosen in steps of one) — *CRIX exact (numărul de constituenți ales în pași de o monedă)*
- **EFCRIX**: Exact Full CRIX (global minimum of the AIC) — *CRIX exact complet (minimul global al AIC)*
- **ES**: Expected Shortfall — *pierderea așteptată în coadă*
- **ETF**: Exchange-Traded Fund — *fond tranzacționat la bursă*
- **ETH**: Ether (ticker of the native coin of Ethereum) — *simbolul Ether, moneda nativă a Ethereum*
- **ETHA**: iShares Ethereum Trust ETF (ticker) — *simbolul bursier al ETF-ului spot iShares Ethereum Trust*
- **EU**: European Union — *Uniunea Europeană*
- **FAQ**: Frequently Asked Questions — *întrebări frecvente*
- **FDIC**: Federal Deposit Insurance Corporation — *instituția federală americană de garantare a depozitelor*
- **FM**: Fama–MacBeth (regressions) — *regresiile Fama–MacBeth*
- **FRED**: Federal Reserve Economic Data — *baza de date economice a Rezervei Federale (St. Louis)*
- **FWER**: Family-Wise Error Rate — *probabilitatea de cel puțin o eroare de tip I în familia de teste*

Acronime folosite în acest material (3/5)

- **FX**: Foreign eXchange — *piața valutară*
- **GENIUS**: Guiding and Establishing National Innovation for U.S. Stablecoins (Act) — *legea americană privind stablecoin-urile*
- **GMM**: Generalized Method of Moments — *metoda generalizată a momentelor*
- **GRS**: Gibbons–Ross–Shanken (test) — *testul Gibbons–Ross–Shanken*
- **HAC**: Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent (standard errors) — *erori standard robuste la heteroscedasticitate și autocorelație*
- **HHI**: Herfindahl–Hirschman Index — *indicele de concentrare Herfindahl–Hirschman*
- **IA**: Internet Appendix (of the cited paper) — *anexa online a lucrării citate*
- **IBIT**: iShares Bitcoin Trust ETF (ticker) — *simbolul bursier al ETF-ului spot iShares Bitcoin Trust*
- **IL**: Impermanent Loss — *pierderea impermanentă*
- **L1**: Layer 1 (a blockchain that settles its own transactions) — *rețea de nivel 1: un blockchain care își decontează singur tranzacțiile*
- **LP**: Liquidity Provider — *furnizor de lichiditate*
- **LUNA**: Luna (native token of the Terra blockchain) — *Luna, tokenul nativ al blockchain-ului Terra*
- **LVR**: Loss-Versus-Rebalancing — *pierderea față de reechilibrare*

Acronime folosite în acest material (4/5)

- **MAR33**: Basel Framework, chapter MAR33 (internal models approach: capital requirements calculation) — *cadrul Basel, capitolul MAR33 (abordarea pe modele interne: calculul cerințelor de capital)*
- **MDD**: Maximum DrawDown — *drawdown-ul maxim*
- **MiCA**: Markets in Crypto-Assets (EU Regulation 2023/1114) — *regulamentul UE privind piețele criptoactivelor*
- **NAV**: Net Asset Value — *valoarea activului net*
- **OLS**: Ordinary Least Squares — *metoda celor mai mici pătrate*
- **PC1**: first Principal Component — *prima componentă principală*
- **PC2**: second Principal Component — *a doua componentă principală*
- **PCA**: Principal Component Analysis — *analiza componentelor principale*
- **PYUSD**: PayPal USD (stablecoin) — *stablecoin-ul PayPal USD*
- **QQQ**: Invesco QQQ Trust, an ETF on the Nasdaq-100 index (ticker) — *ETF-ul pe indicele Nasdaq-100 (simbolul bursier)*
- **SE**: Standard Error — *eroare standard*
- **SPX**: S&P 500 index (ticker) — *indicele S&P 500 (simbolul)*
- **SSR**: Sum of Squared Residuals — *suma pătratelor reziduurilor*
- **SUA**: Statele Unite ale Americii

Acronime folosite în acest material (5/5)

- **SVB**: Silicon Valley Bank — *banca americană Silicon Valley Bank (falimentată în martie 2023)*
- **TAR**: Threshold AutoRegression — *autoregresie cu prag*
- **TE**: Tracking Error — *eroare de urmărire*
- **TMI**: Total Market Index (all coins, CRIX methodology) — *indicele întregii piețe (toate monedele, metodologia CRIX)*
- **TVL**: Total Value Locked — *valoarea totală blocată în contractele DeFi*
- **USD**: US dollar, international currency code — *dolarul american, codul monetar internațional*
- **USDC**: USD Coin (stablecoin issued by Circle) — *stablecoin-ul USD Coin, emis de Circle*
- **USDS**: Sky Dollar (stablecoin, successor of DAI) — *stablecoin-ul Sky Dollar, succesorul DAI*
- **USDT**: Tether (stablecoin issued by Tether) — *stablecoin-ul Tether*
- **UST**: TerraUSD (algorithmic stablecoin of the Terra blockchain) — *TerraUSD, stablecoin-ul algoritmic al blockchain-ului Terra*
- **VaR**: Value-at-Risk — *valoarea la risc*
- **XAU**: gold, ISO 4217 code (one troy ounce) — *aur, codul ISO 4217 (o uncie troy)*
- **XRP**: XRP (the native token of the XRP Ledger) — *tokenul nativ al registrului XRP Ledger*

Bibliografie (1/6)

- Adams, H., Zinsmeister, N., Robinson, D. (2020). Uniswap v2 Core. Technical white paper.
- Agakishiev, I., Härdle, W.K., Pele, D.T. (2025). Cryptocurrency liquidity forecasting. In *Handbook of Blockchain Analytics*, Springer, 41–60.
- Andrews, D.W.K. (1993). Tests for parameter instability and structural change with unknown change point. *Econometrica*, 61(4), 821–856.
- Angeris, G., Kao, H.-T., Chiang, R., Noyes, C., Chitra, T. (2019). An analysis of Uniswap markets. arXiv:1911.03380.
- Aramonte, S., Huang, W., Schrimpf, A. (2021). DeFi risks and the decentralisation illusion. *BIS Quarterly Review*, December 2021.
- Athreya, K.B. (1987). Bootstrap of the mean in the infinite variance case. *Annals of Statistics*, 15(2), 724–731.
- Babiak, M., Bianchi, D. (2025). Mispricing and risk compensation in cryptocurrency returns. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 1–27.
- Bai, J. (1997). Estimation of a change point in multiple regression models. *Review of Economics and Statistics*, 79(4), 551–563.
- Bai, J., Perron, P. (1998). Estimating and testing linear models with multiple structural changes. *Econometrica*, 66(1), 47–78.
- Balke, N.S., Fomby, T.B. (1997). Threshold cointegration. *International Economic Review*, 38(3), 627–645.
- Basel Committee on Banking Supervision (2023). MAR33: Internal models approach, capital requirements calculation. Basel Framework, Bank for International Settlements.
- Baur, D.G., Lucey, B.M. (2010). Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, bonds and gold. *Financial Review*, 45(2), 217–229.

Bibliografie (2/6)

- Będowska-Sójka, B., Wójcik, P., Pele, D.T. (2026). Early warning systems for cryptocurrency markets: predicting 'zombie' assets using machine learning. *North American Journal of Economics and Finance*, 81, 102543.
- Bitcoin.org (2026). Frequently asked questions. Web page.
- BlackRock (2026). iShares Bitcoin Trust ETF (IBIT). Product page.
- Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., Moore, T. (2015). Bitcoin: economics, technology, and governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213–238.
- Bouri, E., Molnár, P., Azzi, G., Roubaud, D., Hagfors, L.I. (2017). On the hedge and safe haven properties of Bitcoin: is it really more than a diversifier?. *Finance Research Letters*, 20, 192–198.
- Brown, S.J., Goetzmann, W., Ibbotson, R.G., Ross, S.A. (1992). Survivorship bias in performance studies. *Review of Financial Studies*, 5(4), 553–580.
- Buterin, V. (2014). Ethereum: a next-generation smart contract and decentralized application platform. White paper.
- Cong, L.W., Karolyi, G.A., Tang, K., Zhao, W. (2026). Crypto value, factor pricing, and market segmentation. *Management Science*, forthcoming.
- Cong, L.W., Li, X., Tang, K., Yang, Y. (2023). Crypto wash trading. *Management Science*, 69(11), 6427–6454.
- Cong, L.W., Li, Y., Wang, N. (2021). Tokenomics: dynamic adoption and valuation. *Review of Financial Studies*, 34(3), 1105–1155.
- Dimson, E. (1979). Risk measurement when shares are subject to infrequent trading. *Journal of Financial Economics*, 7(2), 197–226.
- Diop, P.O., Chevallier, J., Sanhaji, B. (2024). Collapse of Silicon Valley Bank and USDC depegging: a machine learning experiment. *FinTech*, 3(4), 569–590.
- Drees, H. (2000). Weighted approximations of tail processes for β-mixing random variables. *Annals of Applied Probability*, 10(4), 1274–1301.
- Drees, H., de Haan, L., Resnick, S. (2000). How to make a Hill plot. *Annals of Statistics*, 28(1), 254–274.

Bibliografie (3/6)

- Engle, R.F., Granger, C.W.J. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251–276.
- Ethereum.org (2026). The Merge. Web page.
- Fama, E.F., French, K.R. (2015). A five-factor asset pricing model. *Journal of Financial Economics*, 116(1), 1–22.
- FDIC (2023). FDIC creates a Deposit Insurance National Bank of Santa Clara to protect insured depositors of Silicon Valley Bank. Press release, 10 March 2023.
- Forbes, K.J., Rigobon, R. (2002). No contagion, only interdependence: measuring stock market comovements. *Journal of Finance*, 57(5), 2223–2261.
- Franke, J., Härdle, W.K., Hafner, C.M. (2019). Statistics of Financial Markets: An Introduction, 5th ed. Springer.
- Găman, Ş., Pele, D.T., Härdle, W.K., Będowska-Sójka, B. (2026). White paper on cryptocurrency indices. Bucharest University of Economic Studies.
- GENIUS Act (2025). Guiding and Establishing National Innovation for U.S. Stablecoins Act. Public Law 119-27.
- Gibbons, M.R., Ross, S.A., Shanken, J. (1989). A test of the efficiency of a given portfolio. *Econometrica*, 57(5), 1121–1152.
- Griffin, J.M., Shams, A. (2020). Is Bitcoin really untethered?. *Journal of Finance*, 75(4), 1913–1964.
- Hansen, B.E. (1996). Inference when a nuisance parameter is not identified under the null hypothesis. *Econometrica*, 64(2), 413–430.
- Härdle, W.K., Harvey, C.R., Reule, R.C.G. (2020). Understanding cryptocurrencies. *Journal of Financial Econometrics*, 18(2), 181–208.
- Harvey, C.R., Liu, Y., Zhu, H. (2016). . . . and the cross-section of expected returns. *Review of Financial Studies*, 29(1), 5–68.

Bibliografie (4/6)

- Hasbrouck, J. (1995). One security, many markets: determining the contributions to price discovery. *Journal of Finance*, 50(4), 1175–1199.
- Hill, B.M. (1975). A simple general approach to inference about the tail of a distribution. *Annals of Statistics*, 3(5), 1163–1174.
- Kang, H., Lee, S.-G. (2026). Institutionalization without integration: Bitcoin after the spot ETF. *International Review of Economics & Finance*, 110, 105531.
- Kleibergen, F. (2009). Tests of risk premia in linear factor models. *Journal of Econometrics*, 149(2), 149–173.
- Lee, S., Lee, J. (2025). Shifting dynamics: Bitcoin spot ETF approval and Bitcoin's relationships with financial markets. *Applied Economics Letters*, 1–7.
- Lehmann, E.L., Romano, J.P. (2005). Generalizations of the familywise error rate. *Annals of Statistics*, 33(3), 1138–1154.
- Lin, M.-B., Pele, D.T., Ren, R. (2025). Understanding blockchain technology. In *Handbook of Blockchain Analytics*, Springer, 3–18.
- Liu, J., Makarov, I., Schoar, A. (2023). Anatomy of a run: the Terra Luna crash. NBER Working Paper 31160.
- Liu, Y., Tsyvinski, A. (2021). Risks and returns of cryptocurrency. *Review of Financial Studies*, 34(6), 2689–2727.
- Liu, Y., Tsyvinski, A., Wu, X. (2022). Common risk factors in cryptocurrency. *Journal of Finance*, 77(2), 1133–1177.
- Lyons, R.K., Viswanath-Natraj, G. (2023). What keeps stablecoins stable?. *Journal of International Money and Finance*, 131, 102777.
- Ma, Y., Zeng, Y., Zhang, A.L. (2025). Stablecoin runs and the centralization of arbitrage. NBER Working Paper 33882.

Bibliografie (5/6)

- Makarov, I., Schoar, A. (2020). Trading and arbitrage in cryptocurrency markets. *Journal of Financial Economics*, 135(2), 293–319.
- MiCA (2023). Regulation (EU) 2023/1114 of the European Parliament and of the Council on markets in crypto-assets. *Official Journal of the European Union*, L 150, 40–205.
- Milionis, J., Moallemi, C.C., Roughgarden, T. (2025). Automated market making and arbitrage profits in the presence of fees. In *Financial Cryptography and Data Security 2024*, Lecture Notes in Computer Science, Springer, 159–171.
- Milionis, J., Moallemi, C.C., Roughgarden, T., Zhang, A.L. (2022). Automated market making and loss-versus-rebalancing. arXiv:2208.06046.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system. White paper.
- Newey, W.K., West, K.D. (1987). A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica*, 55(3), 703–708.
- Pagnotta, E.S. (2022). Decentralizing money: Bitcoin prices and blockchain security. *Review of Financial Studies*, 35(2), 866–907.
- Pele, D.T., Mazurencu-Marinescu-Pele, M. (2019a). Metcalfe's law and log-period power laws in the cryptocurrencies market. *Economics*, 13(1), 2019-29.
- Pele, D.T., Mazurencu-Marinescu-Pele, M. (2019b). Using high-frequency entropy to forecast Bitcoin's daily value at risk. *Entropy*, 21(2), 102.
- Pele, D.T., Wesselhöfft, N., Härdle, W.K., Kolossiatis, M., Yatracos, Y.G. (2023). Are cryptos becoming alternative assets?. *European Journal of Finance*, 29(10), 1064–1105.
- Schär, F. (2021). Decentralized finance: on blockchain- and smart contract-based financial markets. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 103(2), 153–174.

Bibliografie (6/6)

- Shanken, J. (1992). On the estimation of beta-pricing models. *Review of Financial Studies*, 5(1), 1–33.
- Shao, X. (2010). The dependent wild bootstrap. *Journal of the American Statistical Association*, 105(489), 218–235.
- Treasury, Federal Reserve, FDIC (2023). Joint statement by Treasury, Federal Reserve, and FDIC. Press release, 12 March 2023.
- Trimborn, S., Härdle, W.K. (2018). CRIX an index for cryptocurrencies. *Journal of Empirical Finance*, 49, 107–122; author version arXiv:2009.09782.
- Wheatley, S., Sornette, D., Huber, T., Reppen, M., Gantner, R.N. (2019). Are Bitcoin bubbles predictable? Combining a generalized Metcalfe's law and the log-periodic power law singularity model. *Royal Society Open Science*, 6(6), 180538.
- White, H. (1980). A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica*, 48(4), 817–838.