

Analiza cantitativă a piețelor de energie

Cursul 4: Managementul riscului de preț pe piețele de energie

Prof. dr. Daniel Traian PELE

Academia de Studii Economice din București, Departamentul de Statistică și Econometrie
Academia Română, Institutul de Prognoză Economică
IDA Institute Digital Assets ▪ AI4EFin ▪ MSCA Digital Finance

Obiectivele cursului

- Măsurarea riscului de preț al unei poziții pe piața de energie
  - Valoarea la risc (VaR) și deficitul așteptat (ES), definite cu ajutorul cuantilelor repartiției pierderilor
  - De ce repartiția normală subestimează zilele de criză (anunțat în cursul 1)
- Estimarea VaR și ES prin patru metode, pe prețurile din România
  - Simularea istorică (HS), repartițiile normală și Student-t, simularea istorică filtrată (FHS), teoria valorilor extreme (EVT)
- Verificarea unui model de risc pe datele care au urmat (testare retrospectivă)
  - Testele Kupiec și Christoffersen, semaforul Basel și un test pentru ES
- Transformarea cuantilelor în decizii
  - Limite de poziție, marje la bursă și garanția pentru piața pentru ziua următoare, pentru un furnizor, un producător și un trader

Abrevieri (1/2)

APC instrumentele anticiclice ale unei CCP (anti-procyclicality)
AUC aria de sub curbă (0,5 = fără putere de discriminare, 1 = perfect)
BCBS Comitetul de la Basel pentru Supraveghere Bancară
BCE Banca Centrală Europeană
CARDI indicatorul dinamic al riscului de carbon
CCP contraparte centrală (casă de compensare)
CEE Europa Centrală și de Est
CET ora Europei Centrale
CFaR fluxul de numerar la risc (cash-flow-at-risk)
CISS indicatorul compozit de stres sistemic (BCE)
DE-LU zona de ofertare Germania–Luxemburg
EFRM indicatorul de risc financiar al sectorului energetic (Energy Financial Risk Meter)
EMIR Regulamentul (UE) nr. 648/2012 privind infrastructura pieței europene (EMIR)
ENTSO-E Rețeaua europeană a operatorilor de transport și de sistem pentru energie electrică
EPEX bursa europeană de energie EPEX SPOT
ES deficitul așteptat (expected shortfall)
EUR euro
EVT teoria valorilor extreme
FHS simularea istorică filtrată
FRM indicatorul de risc financiar (Financial Risk Meter)
FRTB revizuirea fundamentală a portofoliului de tranzacționare (regulile Basel pentru riscul de piață)
GARCH model autoregresiv generalizat cu heteroscedasticitate condiționată

Abrevieri (2/2)

GPD	repartiția Pareto generalizată
HS	simularea istorică
ICE	bursa Intercontinental Exchange (ICE Futures Europe)
IM	marja inițială
ISE	Institutul Fraunhofer pentru Sisteme de Energie Solară
LASSO	operatorul de contracție și selecție în normă absolută
LR	raportul de verosimilitate
MLE	estimarea prin metoda verosimilității maxime
MW	megawatt
MWh	megawatt-oră
OPCOM	operatorul pieței de energie electrică și de gaze naturale din România
POT	depășirile unui prag (peaks over threshold)
PZU	piața pentru ziua următoare
QR	regresia cuantilică
QRA	medierea prin regresie cuantilică (cursul 2)
RO	România (zonă de ofertare)
RTS	standarde tehnice de reglementare
TTF	Title Transfer Facility (hub olandez de gaze)
UE	Uniunea Europeană
USD	dolarul american
VaR	valoarea la risc (value-at-risk)
VM	marja de variație

Sursele datelor: prețurile și pozițiile analizate

Seria	Frecvența	Sursa
Prețul de bază pe piața pentru ziua următoare (PZU) din România (RO) și din zona Germania–Luxemburg (DE-LU)	zilnică, orară	operatorul pieței de energie electrică și de gaze naturale din România (OPCOM) și bursa europeană de energie (EPEX SPOT), prin energy-charts.info (Fraunhofer ISE) și Rețeaua europeană a operatorilor de transport și de sistem pentru energie electrică (ENTSO-E)
Consumul național al României (profilul portofoliului unui furnizor)	orară	ENTSO-E (date Transelectrica), prin energy-charts.info
Contractul futures pe țițeiul Brent cu scadența cea mai apropiată (un contract cu marjă)	zilnică	Yahoo Finance (BZ=F)
Prețul gazelor la hubul olandez Title Transfer Facility (TTF)	lunară	Banca Mondială, Pink Sheet

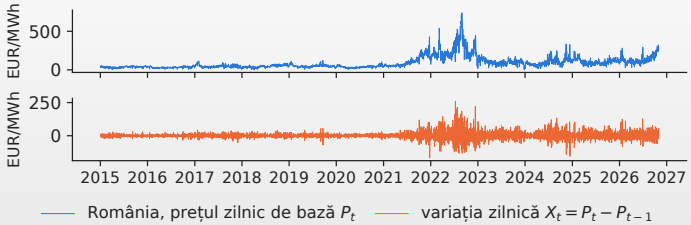
- **Perioada**
  - 1 ianuarie 2015 – 31 octombrie 2026 (ultima lună completă); date descărcate la 4 noiembrie 2026; prețul zilnic = media prețurilor zilei de livrare, după ora Europei Centrale (CET)
  - Cele 5 zile lipsă din seria prețului din România rămîn lipsă; variațiile vecine cu ele nu se calculează
- **Testarea retrospectivă**
  - Fiecare zi din intervalul 1 ianuarie 2017 – 31 octombrie 2026 (3 587 de zile valide); fiecare prognoză folosește numai datele pînă în ziua precedentă

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 1

Cuprins

- Riscul de preț: pierderi, cuantile, VaR și ES
- Estimarea VaR și ES: patru metode
- Testarea retrospectivă a VaR și ES
- Marje, garanții și limite de poziție
- Riscul de preț pentru furnizori și producători
- Studiu de caz: creșterea prețurilor din toamna anului 2026

Variațiile zilnice ale prețului înainte și după 2021



Sursa: energy-charts.info (Fraunhofer ISE); prețurile PZU ale OPCOM, prin ENTSO-E; estimări proprii. Date: date zilnice, 2015-01-01 - 2026-10-31 (zile de livrare CET).

- $X_t = P_t - P_{t-1}$ = variația zilnică a prețului de bază, EUR/MWh
  - Prețul poate fi negativ: folosim variații, nu randamente logaritmice
  - Creșterea maximă: 260,77 (11 iulie 2022); scăderea maximă: −166,59 EUR/MWh (24 decembrie 2021)

- **În practică:** un furnizor care cumpără 100 MW în bandă pe PZU, la bugetul de ieri, pierde 2.400 EUR la fiecare creștere de 1 EUR/MWh.

(OPCOM; EPEX SPOT; calcule proprii)

EMQA_L4_price_changes

Valoarea la risc este o cuantilă a pierderii de mîine

- **Pe scurt:** VaR este pierderea depășită doar într-o proporție mică de zile, aleasă dinainte, de exemplu o zi din o sută.

$$\underbrace{L_t = Q \cdot 24 \cdot X_t}_{\text{pierderea, EUR}}, \qquad \underbrace{\mathrm{VaR}_{\alpha,t} = \min\{\ell : \Pr(L_t \le \ell \mid \mathcal{F}_{t-1}) \ge \alpha\}}_{\text{cuantila de ordin } \alpha \text{ a pierderii}}$$

- **unde**
  - Q = poziția, în MW (100 MW în bandă: $Q \cdot 24 = 2.400$ MWh pe zi)
  - X_t = variația prețului, EUR/MWh
  - α = nivelul de încredere, 0,95 sau 0,99
  - $\mathcal{F}_{t-1}$ = informația disponibilă pînă în ziua $t-1$ (prețurile cunoscute la ora 12:00 CET, la închiderea licitației).

- **Pe datele din România**, ultimele 365 de zile
  - Cuantila de 99% a lui X_t: 86,63 EUR/MWh; pentru 100 MW, $\mathrm{VaR}_{0,99}$ = 207 922 EUR
  - Cuantila de 95%: 50,39 EUR/MWh
- **Ce nu spune VaR**
  - Cît de mare este pierderea în cele mai proaste 1% dintre zile
  - Pentru aceasta avem nevoie de ES (diapozitivul următor)

- **În practică:** biroul de tranzacționare raportează zilnic VaR de 99%, dimineața, înainte de licitația de la ora 12:00 CET.

(Jorion, 2007; McNeil, Frey & Embrechts, 2015)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 2

Deficitul așteptat este pierderea medie dincolo de VaR

- **Pe scurt:** Cînd vine o zi proastă, cît de mare este, în medie, pierderea?

$$\mathrm{ES}_{\alpha,t} = \mathbb{E}\left[L_t \mid L_t \geq \mathrm{VaR}_{\alpha,t}\right] = \frac{1}{1-\alpha}\int_{\alpha}^{1} \mathrm{VaR}_{u,t}\, du$$

$$\underbrace{\mathrm{ES}(L_1 + L_2) \leq \mathrm{ES}(L_1) + \mathrm{ES}(L_2)}_{\text{subaditivitate: diversificarea nu adaugă risc}}$$

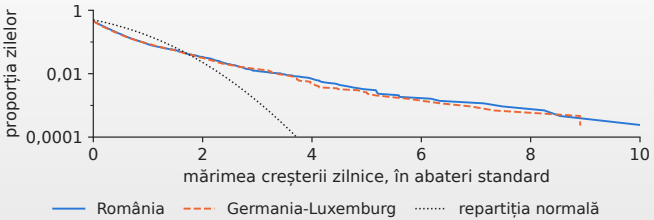
- **unde**
  - ES este o măsură coerentă a riscului, VaR poate încălca subaditivitatea
  - Revizuirea fundamentală a portofoliului de tranzacționare (FRTB) folosește ES de 97,5% în locul VaR de 99%.

- **Pe datele din România**, ultimele 365 de zile, EUR/MWh
  - $\mathrm{VaR}_{0,975} = 61{,}96$; $\mathrm{ES}_{0,975} = 86{,}91$ (media celor mai proaste 10 zile)
- **România + Germania–Luxemburg**, cîte 100 MW în fiecare zonă
  - VaR de 99%: 86,63 + 91,76 separat, 150,77 împreună
  - Corelația 0,55: riscul total este mai mic

- **În practică:** dimensionați rezerva de numerar cu ES, nu cu VaR.

(Artzner et al., 1999, Math. Finance; Acerbi & Tasche, 2002, JBF; BCBS, 2019) **Exercițiu practic:** notebook-ul Jupyter, secțiunea 2

Creșterile mari de preț sînt mult mai frecvente decît prevede repartiția normală



Sursa: energy-charts.info (Fraunhofer ISE); prețurile PZU ale OPCOM (RO) și EPEX SPOT (DE-LU), prin ENTSO-E. Date: variații zilnice, 2015-01-01 - 2026-10-31.

- Excesul de aplatizare (kurtosis): 12,0 în România și 12,1 în Germania–Luxemburg (0 pentru repartiția normală)
  - Creșteri de peste 3 abateri standard: 52 zile observate, față de 5,8 așteptate în ipoteza normalității
  - Cea mai mare creștere are 10,1 abateri standard: în ipoteza normalității, ar apărea o dată la peste 10^{20} de ani

- **În practică:** o limită calculată cu repartiția normală subestimează frecvența zilelor de criză (cursul 1).

(calcule proprii, 1 ianuarie 2015 – 31 octombrie 2026)

EMQA_L4_tails

O limită calculată în 2020 cu repartiția normală a fost depășită în 2021–2022 de 19 ori mai des decît se prevedea

- **Pe scurt:** O limită fixă presupune că riscul de mîine seamănă cu cel din trecut; într-o criză, această ipoteză nu se verifică.

$$\underbrace{\ell_{0.99} = \hat{\mu} + z_{0.99}\,\hat{\sigma}}_{\text{limita normală de 99\%}}, \qquad z_{0.99} = 2{,}326$$

- **unde**
  - $\hat{\mu}$, $\hat{\sigma}$ = media și abaterea standard a lui X_t în 2015–2020
  - $z_{0,99}$ = cuantila de 99% a repartiției normale standard
  - O limită corectă este depășită în 1% din zile.

- **Limita**, estimată pe 2 182 de zile din 2015–2020
  - $\hat{\sigma} = 10{,}21$; limita = 23,77 EUR/MWh
  - Chiar în 2015–2020: 45 depășiri, față de 21,8 așteptate
- **Depășiri ulterioare**
  - 2021–2022: 139, față de 7,3 așteptate
  - 2023–2026: 226, față de 14,0 așteptate (de 16 ori mai multe)

- **În practică:** o limită trebuie să urmeze volatilitatea
  - Secțiunea următoare prezintă patru moduri de a o actualiza.

(calcule proprii; cursul 1)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 2

Cuprins

- Riscul de preț: pierderi, cuantile, VaR și ES
- Estimarea VaR și ES: patru metode
  - Simularea istorică și modelele parametrice
  - Simularea istorică filtrată și valorile extreme
  - Compararea metodelor
- Testarea retrospectivă a VaR și ES
- Marje, garanții și limite de poziție
- Riscul de preț pentru furnizori și producători
- Studiu de caz: creșterea prețurilor din toamna anului 2026

Simularea istorică pe o fereastră de un an

- **Pe scurt:** Ordonăm ultimele 365 de variații zilnice; a patra cea mai mare este VaR de 99%.

$$\widehat{\mathrm{VaR}}^{\mathrm{HS}}_{\alpha,t} = \hat{q}_\alpha\left(X_{t-W},\ldots,X_{t-1}\right)$$

$$\widehat{\mathrm{ES}}^{\mathrm{HS}}_{\alpha,t} = \text{media valorilor } \{X_s \geq \widehat{\mathrm{VaR}}^{\mathrm{HS}}_{\alpha,t}\}$$

- **unde**
  - $W = 365$ de zile (fereastra)
  - $\hat{q}_\alpha$ = cuantila empirică
  - Nu se presupune nicio repartiție.

- **Pe datele din România**, octombrie 2026
  - $\mathrm{VaR}_{0,99} = 86{,}63$; $\mathrm{ES}_{0,975} = 87{,}59$ EUR/MWh
  - 2017–2026: depășită în 2,04% din zile, nu în 1%

- **Punctul slab**
  - Un regim nou are nevoie de luni de zile pentru a umple fereastra
  - O zi de criză contează 365 de zile, apoi dispare brusc

- **În practică:** HS este metoda implicită în multe companii energetice și reacționează cu întîrziere.

(Jorion, 2007; Christoffersen, 2012)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 3

VaR parametrică: repartițiile normală și Student-t

⊡ **Pe scurt:** Ajustăm o curbă pe variațiile din ultimul an și citim cuantila ei; curba Student-t are cozi mai groase.

$$\mathrm{VaR}_\alpha^N = \mu + \sigma z_\alpha, \qquad \mathrm{ES}_\alpha^N = \mu + \sigma \frac{\varphi(z_\alpha)}{1-\alpha}$$

$$\mathrm{VaR}_\alpha^t = m + s\, t_{\nu,\alpha}, \qquad \mathrm{ES}_\alpha^t = m + s\, \frac{g_\nu(t_{\nu,\alpha})}{1-\alpha} \cdot \frac{\nu + t_{\nu,\alpha}^2}{\nu - 1}$$

⊡ **unde**

- μ, σ = media, abaterea standard
- z_α, φ = cuantila și densitatea normală standard
- m, s, ν = locația, scala, gradele de libertate, estimate prin metoda verosimilității maxime (MLE)
- $t_{\nu,\alpha}$, g_ν = cuantila și densitatea Student-t (Anexa A).

⊡ **Pe datele din România**, octombrie 2026, EUR/MWh

- Normală: $\mathrm{VaR}_{0,99} = 69{,}64$; $\mathrm{ES}_{0,975} = 69{,}98$
- Student-t: $\mathrm{VaR}_{0,99} = 76{,}66$; $\mathrm{ES}_{0,975} = 80{,}05$

⊡ **Testarea retrospectivă**, zile peste VaR de 99%

- Normală: 3,21%; Student-t: 1,98% (țintă: 1%)
- La 95%, curba t este prea îngustă: 8,75%

⊡ **În practică:** VaR normală este cel mai ușor de explicat și cel mai periculos de folosit fără verificare.

(McNeil, Frey & Embrechts, 2015)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 3

Simularea istorică filtrată: șocurile trecute, rescalate la volatilitatea curentă

- **Pe scurt:** Împărțim variațiile trecute la volatilitatea lor, apoi înmulțim șocurile cu volatilitatea de azi.

$$e_t = X_t - \mu_{d(t)}, \quad \sigma_t^2 = \omega + a\, e_{t-1}^2 + b\, \sigma_{t-1}^2, \quad z_t = e_t/\sigma_t$$

$$\mathrm{VaR}_{\alpha,t}^{\mathrm{FHS}} = \mu_{d(t)} + \sigma_t\, \hat{q}_\alpha(z)$$

- **unde**
  - $\mu_{d(t)}$ = variația medie a zilei din săptămână (prețul scade la sfîrșit de săptămînă)
  - σ_t = volatilitatea din modelul autoregresiv generalizat cu heteroscedasticitate condiționată (GARCH), cursul 3, reestimat la 21 de zile pe 730 de zile
  - ES: σ_t înmulțit cu media valorilor z peste $\hat{q}_\alpha(z)$.

- **Pe datele din România**, GARCH(1,1)
  - σ_t între 4,06 (29 martie 2021) și 100,86 EUR/MWh (12 iulie 2022)
  - Octombrie 2026: $\mathrm{VaR}_{0,99} = 67{,}50$ EUR/MWh
- **Testarea retrospectivă**
  - 99%: 1,51% din zile
  - 95%: 5,58%; Kupiec: $p = 0{,}120$

- **În practică:** FHS ridică limita la cîteva zile după un salt al volatilității
  - HS are nevoie de luni.

(Barone-Adesi, Giannopoulos & Vosper, 1999; Bollerslev, 1986)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 3

Teoria valorilor extreme: modelăm numai coada, cu o curbă Pareto generalizată

- **Pe scurt:** Peste un prag ridicat, excesele aproape oricărei repartiții urmează aceeași curbă cu doi parametri.

$$\Pr(Z - u \le y \mid Z > u) \approx 1 - \left(1 + \frac{\xi y}{\beta}\right)^{-1/\xi}$$

$$\mathrm{VaR}_\alpha = u + \frac{\beta}{\xi}\left[\left(\frac{n}{N_u}(1-\alpha)\right)^{-\xi} - 1\right], \quad \mathrm{ES}_\alpha = \frac{\mathrm{VaR}_\alpha + \beta - \xi u}{1-\xi}$$

- **unde**
  - Metoda depășirilor unui prag (POT): u = cuantila de 90% a lui z, depășită de N_u din cele n reziduuri
  - Repartiția Pareto generalizată (GPD): forma ξ (grosimea cozii), scala β, estimate prin MLE
  - Apoi înmulțim cu σ_t, ca la FHS (Anexa B).

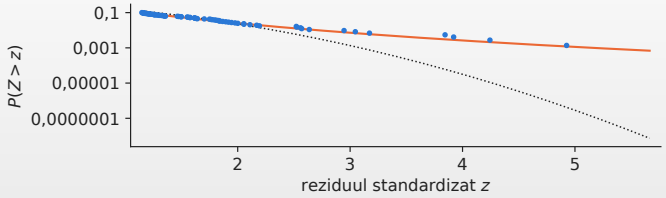
- **Variațiile brute**, pragul = cuantila de 95%
  - $\hat{\xi} = 0{,}164$: o coadă groasă
  - Momentele de ordin peste 6,1 nu există
- **După filtrul GARCH**
  - $\hat{\xi}$ median = 0,011: filtrul preia cea mai mare parte a cozii
  - Testarea VaR de 99%: 1,37% din zile, cel mai bun rezultat

- **În practică:** folosiți EVT pentru ziua care apare o dată la zece ani și nu se află în nicio fereastră.

(Pickands, 1975; McNeil & Frey, 2000; Chan & Gray, 2006, IJF)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 3

Peste prag, curba Pareto urmează datele, iar curba normală nu



Sursa: energy-charts.info (Fraunhofer ISE); prețurile PZU ale OPCOM, prin ENTSO-E; estimări proprii. Date: variații filtrate GARCH, cele 730 de zile dinainte de 2026-10-31.

- Ultima reestimare (11 octombrie 2026): $\hat{\xi} = 0{,}182$, $\hat{\beta} = 0{,}569$
  - $\hat{\xi} > 0$ în 53% din reestimări: coada reziduurilor standardizate este uneori groasă, alteori nu

- **În practică:** o zi de 4 abateri standard este rară, dar posibilă
  - Curba normală o consideră practic imposibilă.

(Balkema & de Haan, 1974; McNeil & Frey, 2000)

EMQA_L4_gpd_tail

VaR și ES pentru aceeași zi, estimate prin cinci metode

Metoda	$\text{VaR}_{0,95}$	$\text{VaR}_{0,99}$	$\text{ES}_{0,975}$	$\text{VaR}_{0,99}$, mii EUR	$\text{ES}_{0,975}$, mii EUR
HS	50,38	86,63	87,59	208	210
Normală	49,33	69,64	69,98	167	168
Student-t	45,77	76,66	80,05	184	192
FHS	36,22	67,50	67,44	162	162
EVT	35,66	64,33	68,54	154	164

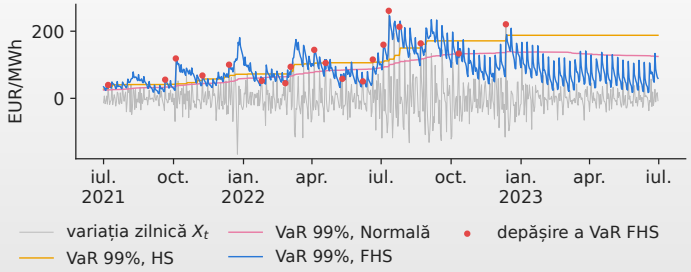
- Media celor 31 prognoze pentru zilele din octombrie 2026; primele trei coloane în EUR/MWh; ultimele două pentru 100 MW în bandă (2.400 MWh pe zi).
- **Cum citim tabelul**
  - HS și Student-t conțin încă zilele volatile din ultimul an
  - FHS și EVT folosesc volatilitatea actuală, sub media anului în octombrie 2026

- **În practică:** raportați două metode alăturate și explicați diferența dintre ele.

(estimări proprii)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 3

În criză, FHS s-a adaptat repede, iar HS și VaR normală au întîrziat



Sursa: energy-charts.info (Fraunhofer ISE); prețurile PZU ale OPCOM, prin ENTSO-E; estimări proprii. Date: prognoze pentru 2021-07-01 - 2023-06-30.

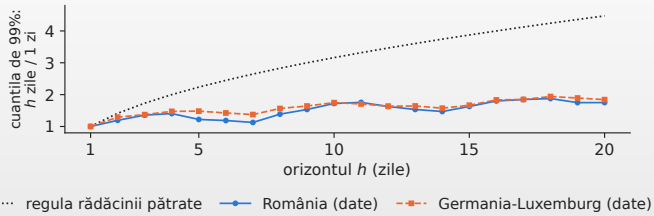
- Depășiri ale VaR de 99%, 1 iulie 2021 – 30 iunie 2023 (730 de zile, 7,3 depășiri așteptate)
  - HS: 28; normală: 45; Student-t: 29; FHS: 19; EVT: 17

- **În practică:** într-o criză, un model care reacționează în cîteva zile protejează lichiditățile.

(estimări proprii)

EMQA_L4_var_paths

Regula rădăcinii pătrate a timpului supraestimează riscul pe 10 zile



Sursa: energy-charts.info (Fraunhofer ISE); prețurile PZU ale OPCOM (RO) și EPEX SPOT (DE-LU), prin ENTSO-E. Date: prețuri zilnice de bază, 2015-01-01 - 2026-10-31.

- Cuantila de 99% pe 10 zile $= 1{,}72 \times$ cea pe o zi (RO; 1,75 în DE-LU), nu $\sqrt{10} = 3{,}16$
  - Raportul variațelor la 10 zile: 0,33 (1 = mers aleator); autocorelația lui X_t: $-0{,}076$ (decalaj 1), 0,474 (decalaj 7)

- **În practică:** măsurați direct variațiile pe 10 zile
  - Înmulțirea cu $\sqrt{10}$ blochează capital inutil.

(calcule proprii; Weron, 2014, IJF)

EMQA_L4_horizon

Cuprins

- Riscul de preț: pierderi, cuantile, VaR și ES
- Estimarea VaR și ES: patru metode
- Testarea retrospectivă a VaR și ES
- Marje, garanții și limite de poziție
- Riscul de preț pentru furnizori și producători
- Studiu de caz: creșterea prețurilor din toamna anului 2026

Testul Kupiec pentru frecvența depășirilor

- **Pe scurt:** O VaR de 99% promite că va fi depășită în 1% din zile; numărăm depășirile și testăm dacă proporția lor diferă de 1%.

$$I_t = \mathbf{1}\{L_t > \mathrm{VaR}_{\alpha,t}\}, \qquad x = \sum_{t=1}^{n} I_t, \qquad \hat{p} = x/n$$

$$\mathrm{LR}_{uc} = -2 \ln \frac{(1-p)^{n-x}\, p^{x}}{(1-\hat{p})^{n-x}\, \hat{p}^{x}} \;\sim\; \chi^2_1$$

- **unde**
  - I_t = indicatorul depășirii
  - $p = 1 - \alpha$ = proporția promisă
  - Testul raportului de verosimilitate (LR) pentru acoperirea necondiționată
  - Respingem la pragul de 5% dacă $\mathrm{LR}_{uc} > 3{,}84$.

- **Pe datele din România**, VaR de 99%, 3 587 de zile
  - Depășiri așteptate: 35,9
  - Normală: 115, LR_{uc} = 111,5; FHS: 54, LR_{uc} = 8,0
  - EVT: 49, $p = 0{,}037$

- **Puterea testului**
  - Pe un singur an, la 99%, ne așteptăm la doar 2–3 depășiri; testul respinge foarte greu
  - Zece ani de date zilnice îl fac precis

- **În practică:** cereți numărul depășirilor înainte de a avea încredere în VaR raportată de cineva.

(Kupiec, 1995, J. Derivatives)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 4

Testul Christoffersen pentru independența depășirilor

- **Pe scurt:** Un model bun nu este surprins de două ori la rînd: o depășire azi nu trebuie să facă mai probabilă o depășire mîine.

$$\pi_{01} = \Pr(I_t = 1 \mid I_{t-1} = 0), \qquad \pi_{11} = \Pr(I_t = 1 \mid I_{t-1} = 1)$$

$$\mathrm{LR}_{ind} = -2 \ln \frac{(1-\hat{\pi})^{n_{00}+n_{10}} \hat{\pi}^{n_{01}+n_{11}}}{(1-\hat{\pi}_{01})^{n_{00}} \hat{\pi}_{01}^{n_{01}} (1-\hat{\pi}_{11})^{n_{10}} \hat{\pi}_{11}^{n_{11}}} \sim \chi^2_1$$

- **unde**
  - n_{ij} = numărul zilelor cu $I_{t-1} = i$ și $I_t = j$
  - $\hat{\pi}$ = proporția totală
  - H_0: $\pi_{01} = \pi_{11}$
  - Testul comun $\mathrm{LR}_{cc} = \mathrm{LR}_{uc} + \mathrm{LR}_{ind} \sim \chi^2_2$.

- **Pe datele din România**, VaR de 99%, valorile p ale testului de independență
  - HS: 0,682; normală: 0,868; FHS: 0,199
  - Nicio metodă nu îl pică: depășirile cad rareori în zile consecutive
- **Dar se grupează pe luni**
  - Normală: 7,26% din zile în 2021–2022, 2,33% în 2017–2020
  - Un test de ordinul întîi nu observă acest lucru; semaforul Basel îl observă

- **În practică:** urmăriți momentul în care apar depășirile, nu doar numărul lor.

(Christoffersen, 1998, IER)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 4

În zece ani, doar metodele filtrate trec testul la 95%; la 99%, toate metodele au prea multe depășiri

România	95%: proporția	Kupiec p	99%: număr	proporția, %	Kupiec p	Christoffersen p	zile roșii, %
HS	6,16	0,002	73	2,04	<0,001	0,682	16,7
Normală	7,36	<0,001	115	3,21	<0,001	0,868	29,5
Student-t	8,75	<0,001	71	1,98	<0,001	0,630	18,3
FHS	5,58	0,120	54	1,51	0,005	0,199	6,2
EVT	5,55	0,139	49	1,37	0,037	0,244	2,8

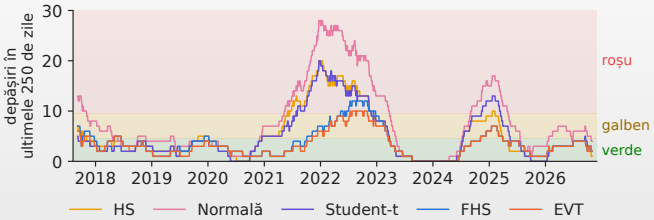
- Testare retrospectivă 1 ianuarie 2017 – 31 octombrie 2026; așteptat: 5% și 1% din 3 587 de zile (35,9 la 99%); verde = aproape de țintă, roșu = departe.
- Zile roșii = proporția zilelor în care ultimele 250 de zile conțin cel puțin 10 depășiri (diapozitivul următor); Germania–Luxemburg: Anexa D.

- **În practică:** acceptați un model la 95%, dar păstrați capital suplimentar pentru coada de 99%, pe care niciun model nu o surprinde complet.

(Kupiec, 1995; Christoffersen, 1998; estimări proprii)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 4

Semaforul Basel: VaR normală a stat 30% din zile în zona roșie



Sursa: energy-charts.info (Fraunhofer ISE); prețurile PZU ale OPCOM, prin ENTSO-E; estimări proprii. Date: testare retrospectivă 2017-01-01 - 2026-10-31, VaR 99%.

- Numărul depășirilor VaR de 99% în ultimele 250 de zile: verde 0–4, galben 5–9, roșu 10 sau mai multe după Comitetul de la Basel pentru Supraveghere Bancară (BCBS)
  - Un model corect este în zona verde cu probabilitatea 89,2% și în zona roșie cu 0,025%
  - Zile în zona roșie: HS 16,7%, FHS 6,2%, EVT 2,8%

- **În practică:** zona galbenă cere recalibrarea modelului, iar cea roșie oprirea lui pentru limite.

(BCBS, 1996)

EMQA_L4_traffic

Frecvența depășirilor, pe metode, în 2021–2022 și după 2023

VaR 99%, % din zile	RO 17–20	RO 21–22	RO 23–26	DE-LU 17–20	DE-LU 21–22	DE-LU 23–26
HS	1,58	4,93	1,00	1,16	3,84	1,07
Normală	2,33	7,26	2,00	2,40	5,89	2,07
Student-t	1,30	4,66	1,29	1,37	3,97	1,29
FHS	1,37	2,88	0,93	1,44	2,47	1,36
EVT	1,24	2,47	0,93	1,51	2,19	1,07

- **Criza**
  - Chiar și FHS a fost depășită în 2,88% din zile în România: șocul gazelor a mutat întreaga repartiție
- **După criză**
  - FHS: 0,93%; EVT: 0,93%; HS: 1,00%; normală: 2,00%

În practică: testați orice model pe 2021–2022 înainte de a vă baza pe el într-o criză.

(estimări proprii)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 4

Testarea ES: mărimea pierderilor de dincolo de VaR

- **Pe scurt:** Împărțim fiecare pierdere din zilele cu depășiri la prognoza ES; dacă ES este corect, media este 1.

$$Z_2 = \frac{1}{T(1-\alpha)} \sum_{t=1}^{T} \frac{L_t\, I_t}{\mathrm{ES}_{\alpha,t}} - 1, \qquad \mathbb{E}_{H_0}[Z_2] = 0$$

- **unde**
  - $\alpha = 0{,}975$
  - I_t = depășirea $\mathrm{VaR}_{0{,}975}$
  - $Z_2 > 0$ = ES prea mic
  - Valoarea p: 2.000 de traiectorii simulate din fiecare model (Anexa C).

Z_2	total	p	2021–22	p	2023–26	p
HS	0,628	<0,001	2,694	<0,001	−0,026	0,761
Normală	1,425	<0,001	4,170	<0,001	0,697	<0,001
Student-t	0,908	<0,001	2,910	<0,001	0,329	0,052
FHS	0,335	0,004	1,164	<0,001	−0,083	0,759
EVT	0,279	0,009	1,183	<0,001	−0,114	0,722

- **Interpretare**: în criză, toate prognozele ES au fost prea mici
  - Din 2023, FHS, EVT și HS trec testul.

- **În practică:** evaluați ES pe mai mulți ani, niciodată pe un trimestru (circa 9 zile extreme pe an).

(Acerbi & Székely, 2014; Pele & Mazurencu-Marinescu-Pele, 2026)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 4

AIDA 2026: deplasarea conformală corectează erorile de calibrare ale VaR

- **Ce a făcut lucrarea** (D. T. Pele, conferința AIDA (AI and Digital Assets in Energy and Finance), 4 iunie 2026)
  - Scorul $s_t = \hat{q}_t - r_t$ (> 0 în ziua unei depășiri); $\hat{q}_V$ = cuantila de 99% a scorurilor trecute; VaR corectată = VaR + $\hat{q}_V$, fixă (audit) sau glisantă pe 250 de zile
  - VaR de 1% a 10 modele (fundaționale, de tip GARCH, HS) pe 24 de active, inclusiv petrol și gaze: 240 de perechi; Kupiec, Christoffersen, semaforul Basel
- **Ce a găsit**
  - $\hat{q}_V$ între $-0{,}007$ (prea prudent) și $+0{,}102$ (fără informație despre coadă); explică 53,4% (R^2 parțial) din cîștigul la scorul cuantilic
  - Perechi în zona verde: 63/240 (26,2%) inițial, 203/240 (84,6%) fix, 234/240 (97,5%) glisant
  - Rata depășirilor este refăcută, gruparea lor nu
- **Legătura cu acest curs**
  - Testul Kupiec arată dacă VaR eșuează, $\hat{q}_V$ cu cît; lărgirea garanției $\hat{c}_t$ (secțiunea 4) este aceeași deplasare
- Rezultatele sînt cele raportate de autori; prezentarea: diapozitive; lucrare trimisă spre publicare.

- **În practică:** după un test eșuat, lărgiți VaR cu deplasarea conformală și testați în continuare gruparea depășirilor.

(Pele, Bolovăneanu, Ginavar, Lessmann & Härdle, AIDA, ASE, 4 iunie 2026)

Cuprins

- Riscul de preț: pierderi, cuantile, VaR și ES
- Estimarea VaR și ES: patru metode
- Testarea retrospectivă a VaR și ES
- Marje, garanții și limite de poziție
  - Marjele la bursă
  - Garanții și limite
- Riscul de preț pentru furnizori și producători
- Studiu de caz: creșterea prețurilor din toamna anului 2026

Marjele la bursă: marja inițială ca VaR, marja de variație plătită zilnic

- **Pe scurt:** Casa de compensare reține un depozit pentru pierderea de 99% pe două zile și decontează zilnic diferențele.

$$\underbrace{\mathrm{IM}_t = K F_t \, \hat{q}_{0,99}\left(|r^{(2)}|\right)}_{\text{marja inițială}}, \qquad \underbrace{\mathrm{VM}_t = nK(F_t - F_{t-1})}_{\text{marja de variație}}$$

- **unde**
  - Marja inițială (IM) și de variație (VM), cerute de contrapartea centrală (CCP)
  - F_t = prețul futures, $K = 1.000$ de barili (un lot Brent)
  - $r^{(2)}$ = randamentul pe două zile
  - n = loturi vîndute (+) sau cumpărate (−).

- **Regulamentul privind infrastructura pieței europene (EMIR)**, standardele tehnice de reglementare (RTS) 153/2013
  - Futures: 99%, lichidare în 2 zile, minimum 12 luni de date (art. 24–26)
  - Instrumente anticiclice (APC), art. 28: o rezervă de 25%, o pondere de 25% pentru zilele de criză sau un prag pe 10 ani
- **Brent, Intercontinental Exchange (ICE)**, 100 de loturi vîndute: VM maximă într-o zi 0,88 mil. USD (16 septembrie 2019)

- **În practică:** producătorul acoperit cîștigă mai tîrziu din vînzarea fizică, dar plătește marja azi.

(Regulamentul delegat (UE) 153/2013; ICE Futures Europe)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 5

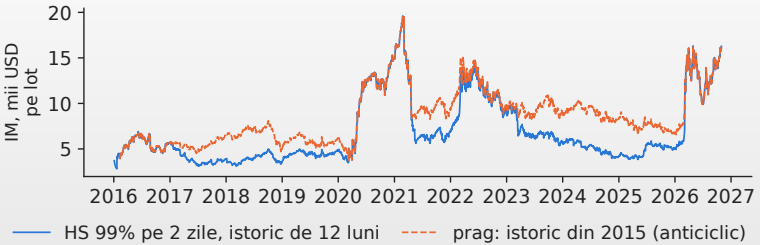
Apelurile în marjă și lipsa de lichidități a companiilor energetice acoperite la risc în 2022

- **Ce s-a întîmplat**, după Banca Centrală Europeană (BCE), noiembrie 2022
  - Contractele futures pe gaze TTF au atins 227 EUR/MWh la 7 martie 2022, de circa 12 ori nivelul de la începutul anului 2021
  - La jumătatea anului 2022 se depunea o marjă inițială de aproximativ două ori mai mare decît la sfîrșitul anului 2021
  - Companiile afectate au fost mai ales utilitățile și producătorii care vînduseră la termen: firme care se acopereau la risc, nu speculatori
- **Cum a răspuns Uniunea Europeană (UE)**
  - Regulamentul delegat (UE) 2022/2311: garanțiile publice acceptate drept garanții pînă la 29 noiembrie 2023
- **În România**, pe piața pentru ziua următoare
  - OPCOM validează o ofertă de cumpărare la preț pozitiv numai în limita garanției participantului (o scrisoare de garanție bancară)

- **În practică:** riscul care poate scufunda o companie acoperită la risc este cel de lichiditate, nu prețul în sine.

(BCE, 2022; Regulamentul delegat (UE) 2022/2311; OPCOM, 2025)

Marjele sînt prociclice: în 2026, marja Brent a crescut de 2,7 ori în două luni



Sursa: Yahoo Finance (contractul futures Brent ICE cu scadența cea mai apropiată, BZ=F); calcule proprii. Date: zile de tranzacționare 2016-01-01 - 2026-10-30; fără zilele de schimbare a contractului; 1 lot = 1.000 bbl.

- Prețul Brent a urcat de la 72,48 USD (27 februarie 2026) la 118,35 USD (31 martie 2026)
  - IM cu 12 luni de date: 5 970 → 16 313 USD pe lot; cu pragul calculat din 2015: ×2,07 în loc de ×2,73
  - Pierderi mai mari decît IM: 1,80% din zile cu 12 luni de date, 0,66% cu prag (tinta: 1%)

- **În practică:** planificați lichiditățile pentru marja cerută într-o criză, nu pentru marja de astăzi.

(calcule proprii; RTS EMIR, art. 28; Brent ICE)

EMQA_L4_brent_im

Garanția pentru PZU se calculează din cuantila prognozată a prețului de mîine

- **Pe scurt:** Ca să fie sigur că va cumpăra, furnizorul ofertează pînă la un preț ridicat; garanția acoperă acest preț înmulțit cu volumul.

$$G_t \;\geq\; Q \cdot 24 \cdot \hat{q}_{\tau,t}, \qquad \hat{q}_{\tau,t} = \beta_0 + \beta_1 P_{t-1} + \beta_2 P_{t-7} + \sum\nolimits_j \delta_j D_{j,t}$$

$$\tilde{q}_{\tau,t} = \hat{q}_{\tau,t} + \hat{c}_t, \qquad \hat{c}_t = \hat{q}_\tau\left(P_s - \hat{q}_{\tau,s},\ s = t-365, \ldots, t-1\right)$$

- **unde**
  - G_t = garanția, EUR
  - $\hat{q}_{\tau,t}$ = regresia cuantilică (QR) pe ultimele 365 de zile, ca la medierea prin regresie cuantilică (QRA), cursul 2
  - $D_{j,t}$ = variabile pentru ziua săptămînii
  - $\hat{c}_t$ = corecția conformală, din erorile trecute.

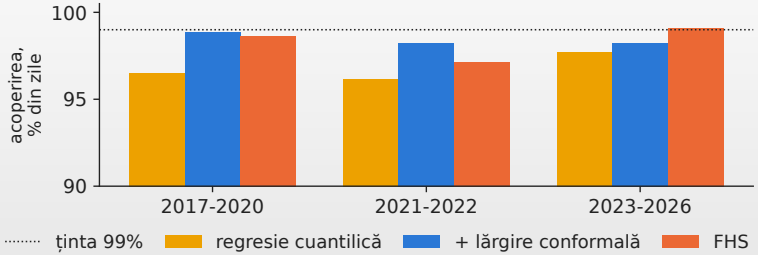
- **Pe datele din România**, $\tau = 0{,}99$, 2017–2026
  - Zile cu prețul sub prognoză: QR 96,90%; QR lărgită 98,47%; FHS 98,49%
- **Costul**, 100 MW în bandă
  - În medie 0,371 milioane EUR pe zi; lărgirea costă +7,5%
  - 2017–2020: 0,172; 2021–2022: 0,649 milioane EUR pe zi

- **În practică:** dimensionați linia bancară din spatele garanției pe cuantila din criză, înainte de criză.

(OPCOM, 2025; Koenker & Bassett, 1978; Romano et al., 2019)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 6

Lărgirea cozilor apropie cuantila de 99% de acoperirea nominală



Sursa: energy-charts.info (Fraunhofer ISE); prețurile PZU ale OPCOM, prin ENTSO-E; estimări proprii. Date: prognoze 2017-01-01 - 2026-10-31, cuantila de 99%.

- Testul Kupiec la 99%: QR $<$0,001; QR lărgită 0,003; FHS 0,005
  - La 95%, QR lărgită trece testul ($p = 0{,}053$), așa cum sugera cursul 2 pentru cozi

- **În practică:** o prognoză folosită pentru garanții trebuie să fie calibrată în coadă, nu doar precisă în medie.

(Nowotarski & Weron, 2018, RSER; Romano et al., 2019)

EMQA_L4_coverage

Limita de poziție în MW trebuie să scadă atunci cînd VaR crește

- **Pe scurt:** Conducerea stabilește un buget zilnic de risc, în EUR; biroul de tranzacționare îl împarte la VaR de azi pentru 1 MW.

$$Q_t^{\max} = \frac{B}{24 \cdot \mathrm{VaR}_{0,99,t}^{\mathrm{FHS}}}$$

- **unde**
  - B = bugetul zilnic de VaR, aici 250.000 EUR (o ipoteză de lucru)
  - VaR în EUR/MWh
  - $Q_t^{\max}$ = poziția deschisă maximă în bandă, în MW.

- **Pe datele din România**, VaR FHS de 99%
  - 2019 (mediana): VaR = 20,27 EUR/MWh; limita = 514 MW
  - 12 iulie 2022: VaR = 245,80; limita = 42 MW
  - 31 octombrie 2026: VaR = 53,15; limita = 196 MW
- **De ce contează**
  - O limită fixă în MW lasă suma expusă la risc să crească odată cu volatilitatea
  - Un buget fix în EUR o menține constantă

- **În practică:** stabiliți limitele în EUR de VaR și transformați-le zilnic în MW.

(estimări proprii)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 6

Cuprins

- Riscul de preț: pierderi, cuantile, VaR și ES
- Estimarea VaR și ES: patru metode
- Testarea retrospectivă a VaR și ES
- Marje, garanții și limite de poziție
- Riscul de preț pentru furnizori și producători
- Studiu de caz: creșterea prețurilor din toamna anului 2026

Costul lunar la risc al unui furnizor, calculat cu repartiția normală

- **Pe scurt:** Furnizorul stabilește prețul lunii viitoare după costul lunii curente; riscul este un salt al prețului ponderat cu consumul.

$$\bar{P}^L_m = \frac{\sum_h P_h L_h}{\sum_h L_h}, \qquad o_m = \frac{\bar{P}^L_m}{\bar{P}^L_{m-1}} - 1$$
$$\mathrm{CFaR}_{0,95} = \hat{q}_{0,95}(o_m)$$

- **unde**
  - P_h = prețul orar
  - L_h = consumul național (profilul portofoliului)
  - o_m = depășirea costului
  - Fluxul de numerar la risc (CFaR) = cuantila ei
  - În EUR, pentru 100 MW în medie.

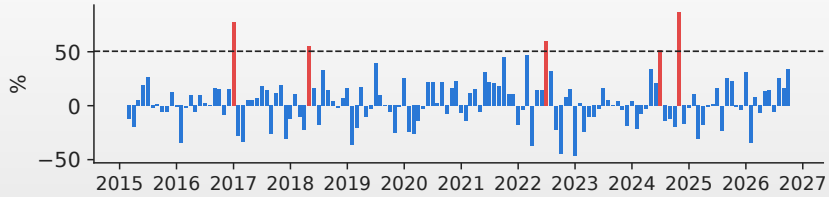
- **Pe datele din România**, 140 de luni, martie 2015 – octombrie 2026
  - Limita normală de 99% (2015–2020): +50,5%, depășită de 3 ori din 2021 (0,7 așteptate)
  - Cea mai proastă lună, noiembrie 2024: +86,6%, adică 5,96 milioane EUR
- **Empiric, toate lunile**
  - $\mathrm{CFaR}_{0,95}$ = +39,9%, adică 2,84 milioane EUR
  - $\mathrm{ES}_{0,95}$ = +60,2%, adică 6,49 milioane EUR

- **În practică:** includeți în oferta cu preț fix o primă calculată din ES sau acoperiți-o la termen (cursul 5).

(calcule proprii; tema 2)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 7

Din 2021, limita lunară normală de 99% a fost depășită de 3 ori (0,7 așteptate)



Sursa: energy-charts.info (Fraunhofer ISE); prețuri OPCOM; consumul ENTSO-E (date Transelectrica pentru România). Date: lunar, 2015-03 - 2026-10.

- Barele roșii depășesc limita calculată în 2020
  - Cea mai mare depășire a apărut în noiembrie 2024, după vara anului 2024.

- **În practică:** reestimați limita lunară în fiecare trimestru și testați-o în condițiile lunilor din 2022.

(calcule proprii)

EMQA_L4_supplier_month

Cozile pierderilor: coada furnizorului este mai groasă decît a producătorului

- **Pe scurt:** Furnizorul pierde cînd prețul crește, producătorul cînd scade; prețurile sar mai mult în sus decît în jos.

$$L_t^{\text{cumpărător}} = +Q\,24\,X_t, \qquad L_t^{\text{vînzător}} = -Q\,24\,X_t$$

- **unde**
  - O singură repartiție a lui X_t, două cozi: superioară (furnizorul) și inferioară (producătorul care vinde pe piața spot)
  - Asimetria lui X_t: 1,02.

- **Zilnic**, EUR/MWh, 1 ianuarie 2015 – 31 octombrie 2026
  - Cuantila de 99% (furnizorul): +88,21; cuantila de 1% (producătorul): −70,74
  - $\text{ES}_{0,975}$: 91,29 (furnizorul) față de 74,92 (producătorul)
- **Prețul de bază lunar**
  - Cuantila de 95% a variației: +42,4%; cuantila de 5%: −32,3%

- **În practică:** riscul de preț al producătorului este mai mic, dar un an secetos adaugă riscul de volum (diapozitivul următor).

(calcule proprii)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 7

Studiul de caz C4: un indicator de risc sistemic și două riscuri specifice companiilor energetice

- **Ce a făcut lucrarea** (Toma, Dima, Grecu, Pele & Lessmann, 2026)
  - Date și metodă: 100 de companii energetice europene, 2016–2026; regresii cuantilice de 5% cu operatorul de contracție și selecție în normă absolută (LASSO); penalizarea medie este indicatorul de risc financiar al sectorului energetic (EFRM)
  - Rezultat: EFRM surprinde șocurile din 2020 și 2022; împreună cu indicatorul compozit de stres sistemic al BCE (CISS), prognozează lunile volatile cu aria de sub curbă (AUC) 0,731
- **Replicarea noastră** pe trei companii din România (OMV Petrom, Romgaz, Nuclearelectrica)
  - AUC 0,38, față de 0,61 pentru volatilitatea trecută: un indicator sistemic are nevoie de multe companii, ca în lucrare
- **Riscuri specifice energiei**
  - Prima preț–volum a profilului casnic: 5,2% din prețul de bază în 2025
  - Recumpărarea în anul secetos pentru un parc hidro care a vîndut la termen producția mediană: 394 de milioane EUR (2022)

În practică: includeți indicatorul sistemic, prima preț–volum și costul anului secetos în același tablou de bord.

(Toma, Dima, Grecu, Pele & Lessmann, 2026, SSRN; studiul de caz C4)

AIDA 2026: riscul sistemic din energia UE a crescut brusc din iulie 2021

- **Ce a făcut lucrarea** (F.-M. Toma, conferința AIDA, 3 iunie 2026; lucrarea din studiul de caz C4)
  - 100 de companii energetice europene, aprilie 2016 – martie 2026: cuantila de 5% a randamentului fiecărei firme, regresată prin LASSO pe celelalte 99 de firme, petrol, gaze și indici bursieri
  - EFRM = penalizarea LASSO medie: mai multe legături necesare pentru a explica coada = expunere sistemică mai mare
- **Ce a găsit**
  - Rupturi ale EFRM: februarie 2020 (pandemia) și iulie 2021 (creșterea gazelor), cu șapte luni înaintea invaziei
  - Riscul geopolitic a influențat EFRM abia după invazie: +1,52 puncte procentuale (model cu parametri variabili)
  - Efectul asupra acțiunilor din Stoxx 600 s-a atenuat cu circa 60%, cel asupra swapurilor pe riscul de credit pe 5 ani a rămas pozitiv
  - Lunile volatile: AUC 0,731 pentru EFRM + CISS, 0,708 doar EFRM, 0,673 doar CISS
- Rezultatele sînt cele raportate de autori; prezentarea: diapozitive; lucrarea: doi:10.2139/ssrn.6985301.

- **În practică:** VaR proprie a unei firme nu vede contagiunea
  - Urmăriți alături de ea un indicator sectorial.

(Toma, AIDA, ASE, 3 iunie 2026; Toma, Dima, Grecu, Pele & Lessmann, 2026, SSRN)

AIDA 2026: riscul extrem al firmelor poluante anticipă prima de carbon

- **Ce a făcut lucrarea** (prof. Wolfgang Karl Härdle, AIDA, 5 iunie 2026; cu R. Wang și L. Zhang)
  - Puzzle-ul primei de carbon: cîștigă mai mult firmele poluante (risc) sau cele cu emisii reduse (preferințe verzi)?
  - China, iul. 2014 – feb. 2025: cîte 50 de firme poluante și cu emisii reduse; LASSO ca la EFRM, 63 de zile, cuantila de 5%
  - Indicatorul dinamic al riscului de carbon (CARDI) = indicatorul de risc financiar (FRM, λ mediu), firme poluante / cu emisii reduse
- **Ce a găsit**
  - Regimurile de risc ridicat ale CARDI coincid cu evenimente neașteptate sau incipiente ale politicii climatice
  - Creșterea CARDI anticipă o primă ajustată mai mare a firmelor cu emisii reduse luna următoare (0,022, 118 luni); raportul VaR condiționate nu
  - Long pe firmele cu emisii reduse, short pe cele poluante doar cînd CARDI crește (2015–2024): 115,84%, Sharpe 0,72 (permanent: 89,03%, 0,49)
- **Legătura cu acest curs**: EFRM din cadrul anterior, separat după intensitatea emisiilor
- Rezultatele sînt cele raportate de autori; prezentarea: diapozitive; lucrarea: doi:10.2139/ssrn.5757742.

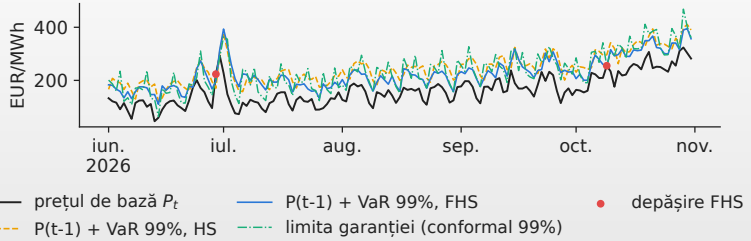
- **În practică:** într-o firmă de petrol și gaze, urmăriți CARDI: cînd crește, investitorii preferă firmele cu emisii reduse.

(Wang, Härdle & Zhang, AIDA, ASE, 5 iunie 2026; 2025, SSRN)

Cuprins

- Riscul de preț: pierderi, cuantile, VaR și ES
- Estimarea VaR și ES: patru metode
- Testarea retrospectivă a VaR și ES
- Marje, garanții și limite de poziție
- Riscul de preț pentru furnizori și producători
- Studiu de caz: creșterea prețurilor din toamna anului 2026

Studiu de caz: în 2026 prețul s-a dublat treptat, fără salturi



Sursa: energy-charts.info (Fraunhofer ISE); prețurile PZU ale OPCOM, prin ENTSO-E; estimări proprii. Date: date zilnice, 2026-06-01 - 2026-10-31.

- Media lunară: 122,99 EUR/MWh în iunie, 239,32 în octombrie; maximul: 323,76 EUR/MWh (29 octombrie 2026)
  - Depășiri ale VaR de 99% în 153 de zile (1,5 așteptate): FHS 2, HS 1, normală 3

- **În practică:** o creștere lentă trece testele VaR, dar consumă lichidități: urmăriți și nivelul prețului.

(estimări proprii; OPCOM)

EMQA_L4_case2026

Studiu de caz: riscul de piață și nevoia de lichidități în 2026

- **Riscul de piață aproape nu s-a modificat**
  - VaR FHS de 99%: 61,64 EUR/MWh în iunie, 67,50 în octombrie
  - Testul ES din 2023, FHS: $Z_2 = -0{,}083$, ipoteza nu este respinsă
- **Nevoia de lichidități s-a dublat**
  - Garanția pentru 100 MW pe piața pentru ziua următoare (cuantila de 99% lărgită): 0,416 → 0,776 milioane EUR pe zi
  - Zile cu prețul peste limita garanției: 3 (6 fără lărgire)
- **Factura lunară a furnizorului**, 100 MW
  - August: +25,1% (2,38 milioane EUR); septembrie: +16,2% (1,86); octombrie: +34,0% (4,68)
  - Fiecare lună sub limita de 99% de +50,5%, dar trei luni la rînd
- **Factorii**
  - Gazele TTF: 44,94 → 86,81 EUR/MWh (iunie → octombrie)
  - Brent: 108,34 USD în octombrie; Germania–Luxemburg: 169,48 EUR/MWh

- **În practică:** un raport de risc are nevoie, alături de VaR, de o secțiune de lichiditate: garanții, marje și depășirea cumulată a costului lunar.

(estimări proprii; OPCOM; Banca Mondială; Yahoo Finance)

Exercițiu practic: notebook-ul Jupyter, secțiunea 8

Lista de verificare a biroului de risc pentru prețurile energiei

- **Măsurarea**
  - Definiți poziția și semnul pierderii (cumpărător sau vînzător)
  - Folosiți numai datele cunoscute la închiderea licitației
  - Raportați VaR și ES obținute prin două metode, dintre care una filtrată (FHS sau EVT)
- **Verificarea**
  - Testele Kupiec și Christoffersen și semaforul Basel pe mai mulți ani, inclusiv 2021–2022
  - Testul Z_2 pentru ES; nu ierarhizați modelele pe baza cîtorva zile extreme
- **Decizia**
  - Limite exprimate în EUR de VaR, transformate zilnic în MW
  - Garanții și linii de credit calculate din cuantile ridicate, bine calibrate
  - O rezervă de lichidități pentru marja cerută într-o criză
- **Raportarea**
  - În EUR și în MW, lunar, cu lichiditatea alături de riscul de piață

În practică: tema 2 (sarcina 5) aplică această listă fluxului de numerar al rolului dumneavoastră.

(BCBS, 2019; RTS EMIR 153/2013; tema 2)

Test 1: interpretarea VaR

- VaR de 99% pe o zi, pentru 100 MW, este de 162 de mii EUR
  - Ce promite această cifră și ce nu spune?

Răspuns

- În aproximativ o zi din 100, pierderea ar trebui să o depășească
  - Nu spune nimic despre mărimea pierderii în acele zile, pe care o măsoară ES (162 de mii EUR la 97,5%).

Test 2: șapte depășiri

- În ultimele 250 de zile, VaR de 99% a fost depășită de 7 ori
  - În ce zonă a semaforului se află modelul și ce arată testul Kupiec?

Răspuns

- Zona galbenă (5–9)
  - $\mathrm{LR}_{uc} = 5{,}50$, $p = 0{,}019$: ipoteza este respinsă la pragul de 5%
  - Recalibrați modelul (de exemplu, treceți de la HS la FHS) și continuați monitorizarea.

Test 3: VaR pe zece zile

- Directorul financiar calculează VaR pe 10 zile ca $\sqrt{10}$ înmulțit cu VaR pe o zi
  - Este o abordare prudentă sau risipitoare pentru energie?

Răspuns

- Risipitoare: prețurile energiei revin spre medie, iar cuantila empirică de 99% pe 10 zile este doar de 1,72 ori cea pe o zi în România, nu de 3,16 ori.

Test 4: un apel în marjă

- Ați vîndut 100 de loturi Brent pentru a vă acoperi producția
  - Astăzi prețul crește cu 5 USD pe baril
  - Ce se întîmplă diseară?

Răspuns

- Plătiți o marjă de variație de $100 \times 1.000 \times 5 = 500.000$ USD în numerar
  - Țițeiul pe care îl veți vinde mai tîrziu valorează mai mult, dar banii pleacă astăzi.

Test 5: o garanție prea mică

- Prognoza dumneavoastră pentru cuantila de 99% a prețului de mîine a fost depășită în 111 zile din 3 585
  - Ce faceți?

Răspuns

- Lărgiți coada cu o corecție conformală calculată din erorile recente: acoperirea crește de la 96,90% la 98,47%, cu o garanție mai mare cu doar 7,5%.

Recapitulare

- Riscul de preț: pierderi, cuantile, VaR și ES
- Estimarea VaR și ES: patru metode
  - Simularea istorică și modelele parametrice
  - Simularea istorică filtrată și valorile extreme
  - Compararea metodelor
- Testarea retrospectivă a VaR și ES
- Marje, garanții și limite de poziție
  - Marjele la bursă
  - Garanții și limite
- Riscul de preț pentru furnizori și producători
- Studiu de caz: creșterea prețurilor din toamna anului 2026

- VaR este o cuantilă, iar ES media pierderilor de dincolo de ea
  - Pe prețurile energiei, repartiția normală eșuează, metodele filtrate (FHS, EVT) se apropie cel mai mult de țintă și niciuna nu a fost corectă în 2021–2022.
- Aceleași cuantile stabilesc limite, marje și garanții
  - Studiul de caz din 2026 arată că lichiditatea, nu VaR, este prima afectată
  - Cursul următor: acoperirea riscului cu instrumente derivate (cursul 5).

Cercetările grupului nostru despre riscul pe piețele de energie

- **Indicatorul de risc financiar al sectorului energetic** (Toma, Dima, Grecu, Pele & Lessmann, 2026, SSRN)
  - Ce a făcut lucrarea: a construit un indicator de risc sistemic pentru sectorul energetic din UE, din regresii cuantilice LASSO pe 100 de companii; rezultat: indicatorul surprinde șocurile din 2020 și 2022 (studiul de caz C4)
- **Modele fundaționale pentru VaR și ES** (Jheng, Tak, Găman, Mazurencu-Marinescu-Pele & Pele, 2026)
  - Date: zece serii de randamente zilnice din cinci piețe din Europa Centrală și de Est (CEE), inclusiv România, cu evaluare în afara eșantionului în 2018–2025
  - Metodă: trei modele preantrenate pentru serii de timp, folosite fără reantrenare, comparate cu metode clasice; testele Kupiec, Christoffersen, Acerbi–Székely și semaforul Basel
  - Rezultat: 90% din ferestre în zona verde pentru cel mai bun model neajustat și 96,7% după o calibrare conformală glisantă, cel mai bun rezultat dintre toate
- **Cît de precisă este o comparație a prognozelor ES?** (Pele & Mazurencu-Marinescu-Pele, 2026, Mathematics)
  - Ce a făcut lucrarea: a transformat limita de precizie $(n\alpha)^{-1/2}$ a ES în patru diagnostice practice, inclusiv o regulă pentru mărimea eșantionului
  - Rezultat: pe active financiare globale, aproximativ una din cinci comparații între prognoze ES nu este concludentă la nivelurile de risc cerute de reglementare
- Rezultatele de pe acest diapozitiv sînt cele raportate în lucrări; celelalte cifre din curs provin din calculele noastre.

(Academia de Studii Economice din București; Academia Română, Institutul de Prognoză Economică)

Lecturi și resurse suplimentare

- **McNeil, Frey & Embrechts**, *Quantitative Risk Management*, ed. a 2-a: VaR, ES, EVT, testare retrospectivă.
- **Christoffersen**, *Elements of Financial Risk Management*, ed. a 2-a: FHS și testare retrospectivă, cu exerciții.
- **BCE**, Financial stability risks from energy derivatives markets (2022): ecb.europa.eu.
- **Acest curs**: cod, date, notebook-uri Jupyter — github.com/danpele/EMQA.
- **Tema 2**, sarcina 5: VaR și ES ale fluxului de numerar al rolului dumneavoastră, cu testare retrospectivă.
- **OPCOM**, procedura privind garanțiile pentru PZU: opcom.ro.
- **Exercițiu practic**: notebook-ul Jupyter reproduce toate graficele și cifrele din acest curs — notebooks/.

Bibliografie (1/4)

- Acerbi, C. & Székely, B. (2014). Backtesting expected shortfall. *Risk*, 27(11), 76–81. risk.net
- Acerbi, C. & Tasche, D. (2002). On the coherence of expected shortfall. *Journal of Banking & Finance*, 26(7), 1487–1503. doi:10.1016/S0378-4266(02)00283-2
- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J.-M. & Heath, D. (1999). Coherent measures of risk. *Mathematical Finance*, 9(3), 203–228. doi:10.1111/1467-9965.00068
- Balkema, A. A. & de Haan, L. (1974). Residual life time at great age. *Annals of Probability*, 2(5), 792–804. doi:10.1214/aop/1176996548
- Barone-Adesi, G., Giannopoulos, K. & Vosper, L. (1999). VaR without correlations for portfolios of derivative securities. *Journal of Futures Markets*, 19(5), 583–602. doi.org (Wiley)
- BCBS (1996). Supervisory framework for the use of "backtesting" in conjunction with the internal models approach to market risk capital requirements. Basel Committee on Banking Supervision, January 1996. bis.org/publ/bcbs22.htm
- BCBS (2019). Minimum capital requirements for market risk. Basel Committee on Banking Supervision, January 2019. bis.org/bcbs/publ/d457.htm
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327. doi:10.1016/0304-4076(86)90063-1
- Chan, K. F. & Gray, P. (2006). Using extreme value theory to measure value-at-risk for daily electricity spot prices. *International Journal of Forecasting*, 22(2), 283–300. doi:10.1016/j.ijforecast.2005.10.002

Bibliografie (2/4)

- Christoffersen, P. F. (1998). Evaluating interval forecasts. *International Economic Review*, 39(4), 841–862. doi:10.2307/2527341
- Christoffersen, P. F. (2012). *Elements of Financial Risk Management*, 2nd ed. Academic Press. elsevier.com
- Commission Delegated Regulation (EU) No 153/2013 of 19 December 2012 on requirements for central counterparties (RTS under EMIR), *Official Journal of the EU*, L 52, 23.2.2013, Art. 24–28. eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2013/153/oj
- Commission Delegated Regulation (EU) 2022/2311 of 21 October 2022 as regards temporary emergency measures on collateral requirements. *Official Journal of the EU*, L 307, 28.11.2022. eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2022/2311/oj
- ECB — Furtuna, O., Grassi, A., Ianiro, A., Kallage, K., Koci, R., Lenoci, F., Sowiński, A. & Vacirca, F. (2022). Financial stability risks from energy derivatives markets. *Financial Stability Review*, European Central Bank, November 2022. ecb.europa.eu
- Gneiting, T. (2011). Making and evaluating point forecasts. *Journal of the American Statistical Association*, 106(494), 746–762. doi:10.1198/jasa.2011.r10138
- Jheng, S.-L., Tak, R., Găman, Ș., Mazurencu-Marinescu-Pele, M. & Pele, D. T. (2026). Can foundation models manage risk? Zero-shot VaR and ES forecasting with conformal calibration in CEE markets. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 60(2), 267–290. doi:10.24818/18423264/60.2.26.14
- Jorion, P. (2007). *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*, 3rd ed. McGraw-Hill. mheducation.com.au

Bibliografie (3/4)

- Koenker, R. & Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46(1), 33–50. doi:10.2307/1913643
- Kupiec, P. H. (1995). Techniques for verifying the accuracy of risk measurement models. *Journal of Derivatives*, 3(2), 73–84. doi:10.3905/jod.1995.407942
- McNeil, A. J. & Frey, R. (2000). Estimation of tail-related risk measures for heteroscedastic financial time series: An extreme value approach. *Journal of Empirical Finance*, 7(3–4), 271–300. doi:10.1016/S0927-5398(00)00012-8
- McNeil, A. J., Frey, R. & Embrechts, P. (2015). *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques and Tools*, revised ed. Princeton University Press. press.princeton.edu
- Nowotarski, J. & Weron, R. (2018). Recent advances in electricity price forecasting: A review of probabilistic forecasting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1548–1568. doi:10.1016/j.rser.2017.05.234
- OPCOM (2025). Procedura privind constituirea, verificarea și utilizarea garanțiilor financiare pentru participarea la Piața pentru Ziua Următoare, rev. 10, May 2025. opcom.ro
- Pele, D. T. & Mazurencu-Marinescu-Pele, M. (2026). Finite-sample precision limits for expected shortfall forecast comparisons. *Mathematics*, 14(13), 2316. doi:10.3390/math14132316
- Pele, D. T., Bolovăneanu, V., Ginavar, A. T., Lessmann, S. & Härdle, W. K. (2026). Recalibrating tail risk forecasts under temporal dependence: conformal audit of foundation models for VaR forecasting. AIDA Conference, Bucharest University of Economic Studies, 4 June 2026. github.com/danpele/EMQA/resources/aida2026

Bibliografie (4/4)

- Pickands, J. (1975). Statistical inference using extreme order statistics. *Annals of Statistics*, 3(1), 119–131. doi:10.1214/aos/1176343003
- Romano, Y., Patterson, E. & Candès, E. (2019). Conformalized quantile regression. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32, 3543–3553. proceedings.neurips.cc
- Toma, F.-M., Dima, D.-M., Grecu, R., Pele, D. T. & Lessmann, S. (2026). Energy Financial Risk Meter: Systemic risk in the EU energy sector. SSRN Working Paper 6985301. doi:10.2139/ssrn.6985301
- Toma, F.-M. (2026). Energy Financial Risk Meter: systemic risk in the EU energy sector (with D.-M. Dima, R. Grecu, D. T. Pele and S. Lessmann). AIDA Conference, Bucharest University of Economic Studies, 3 June 2026. github.com/danpele/EMQA/resources/aida2026
- Wang, R., Härdle, W. K. & Zhang, L. (2025). Measuring carbon risk dynamics. SSRN Working Paper 5757742. doi:10.2139/ssrn.5757742
- Wang, R., Härdle, W. K. & Zhang, L. (2026). Measuring carbon risk dynamics. AIDA Conference, Bucharest University of Economic Studies, 5 June 2026. github.com/danpele/EMQA/resources/aida2026
- Weron, R. (2014). Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future. *International Journal of Forecasting*, 30(4), 1030–1081. doi:10.1016/j.ijforecast.2014.08.008

Anexa A: ES pentru repartițiile normală și Student-t

$$\mathrm{ES}_\alpha^N = \frac{1}{1-\alpha}\int_{z_\alpha}^{\infty}(\mu+\sigma z)\varphi(z)\,dz = \mu + \sigma\frac{\varphi(z_\alpha)}{1-\alpha}$$

- Deoarece $\int_c^\infty z\varphi(z)\,dz = \varphi(c)$ (derivata lui φ este $-z\varphi$).
- La $\alpha = 0{,}975$, $\mathrm{ES}^N = \mu + 2{,}338\sigma$, aproape egal cu $\mathrm{VaR}^N_{0,99} = \mu + 2{,}326\sigma$: de aceea FRTB a înlocuit o măsură cu cealaltă.

$$\mathrm{ES}_\alpha^t = m + s\,\frac{g_\nu(t_{\nu,\alpha})}{1-\alpha}\cdot\frac{\nu + t_{\nu,\alpha}^2}{\nu-1}, \quad \nu > 1$$

- Din $\int_c^\infty x\,g_\nu(x)\,dx = g_\nu(c)\,(\nu + c^2)/(\nu-1)$
  - Pentru $\nu \le 1$ media, deci și ES, nu există.
- Estimăm zilnic (m, s, ν) prin MLE
  - ν este menținut cel puțin la 2,2, pentru ca varianța să existe.

(McNeil, Frey & Embrechts, 2015, ch. 2)

Anexa B: VaR și ES din coada Pareto generalizată

$$\Pr(Z > z) \approx \frac{N_u}{n}\left(1 + \xi\frac{z-u}{\beta}\right)^{-1/\xi}, \quad z > u$$

$$\Pr(Z > \mathrm{VaR}_\alpha) = 1 - \alpha \;\Rightarrow$$

$$\mathrm{VaR}_\alpha = u + \frac{\beta}{\xi}\left[\left(\frac{n(1-\alpha)}{N_u}\right)^{-\xi} - 1\right]$$

- Teorema Pickands–Balkema–de Haan: pentru un prag u ridicat, excesele peste u urmează aproximativ o repartiție GPD, pentru aproape orice repartiție.

(Pickands, 1975; Balkema & de Haan, 1974; McNeil & Frey, 2000)

$$\mathbb{E}[Z - v \mid Z > v] = \frac{\beta + \xi(v-u)}{1-\xi}$$

$$\Rightarrow \mathrm{ES}_\alpha = \frac{\mathrm{VaR}_\alpha + \beta - \xi u}{1-\xi}$$

- Excesul mediu este liniar în v pentru GPD (cu condiția $\xi < 1$)
  - $\xi > 0$ = coadă groasă, $\xi = 0$ = coadă exponențială, $\xi < 0$ = coadă mărginită.
- EVT condiționată: aplicăm formula lui $z_t = e_t/\sigma_t$, apoi $\mathrm{VaR}_t = \mu_{d(t)} + \sigma_t\,\mathrm{VaR}^z_\alpha$.

Anexa C: cele trei teste retrospective, în detaliu

- **Kupiec și Christoffersen**
  - În ipoteza H_0, fiecare I_t este o variabilă Bernoulli(p), independentă; LR_{uc} compară p cu $\hat{p}$
  - LR_{ind} compară un lanț Markov de ordinul întîi cu ipoteza de independență; $\text{LR}_{cc} = \text{LR}_{uc} + \text{LR}_{ind} \sim \chi^2_2$, valoarea critică la 5%: 5,99
- **Semaforul Basel**
  - $x \sim$ Binomial(250; 0,01) pentru un model corect
  - $\Pr(x \leq 4) = 89{,}22\%$, $\Pr(5 \leq x \leq 9) = 10{,}76\%$, $\Pr(x \geq 10) = 0{,}025\%$
- **Testul Acerbi–Székely Z_2**
  - Deoarece $\mathbb{E}[L_t I_t] = (1-\alpha)\text{ES}_t$ atunci cînd VaR și ES sînt corecte, $\mathbb{E}[Z_2] = 0$
  - Z_2 combină o eroare de VaR (numărul greșit de I_t) cu o eroare de ES (mărimea greșită); ES nu este elicitabil, de aceea se testează împreună cu VaR
  - Valoarea p: 2.000 de traiectorii simulate, fiecare zi fiind extrasă din repartiția prognozată de modelul respectiv (HS: fereastra; FHS: $\mu + \sigma z^*$; EVT: GPD peste u)

(Kupiec, 1995; Christoffersen, 1998; BCBS, 1996; Acerbi & Székely, 2014)

Anexa D: aceeași testare retrospectivă pentru Germania–Luxemburg

DE-LU	95%: proporția	Kupiec p	99%: număr	proporția	Kupiec p	Chr. p	roșu, %	Z_2	p
HS	6,38	<0,001	60	1,67	<0,001	0,998	9,2	0,529	<0,001
Normală	6,66	<0,001	107	2,98	<0,001	0,332	16,3	1,250	<0,001
Student-t	8,33	<0,001	67	1,87	<0,001	0,174	9,0	0,617	0,001
FHS	5,82	0,028	58	1,62	<0,001	0,948	2,7	0,305	0,009
EVT	5,93	0,013	53	1,48	0,007	0,811	0,7	0,283	0,007

- Testare retrospectivă 1 ianuarie 2017 – 31 octombrie 2026, 3 591 de zile; aceleași metode și ferestre ca pentru România.
- Clasamentul este același ca în România: repartiția normală are cele mai slabe rezultate, metodele filtrate cele mai bune.

(estimări proprii; EPEX SPOT)