



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Päästörajoite-ehtojen vaikutus optimaalisen sijoitusportfolion rakenteeseen

Timo Norrkniivilä

28.9.2023

Ohjaaja: *KTT Matti Koivu*

Valvoja: *Prof. Ahti Salo*

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Yritysten kestävyysraportointi

- Kasvihuonekaasupäästöjen mittaus- ja raportointistandardi 3 luokassa: Scope 1 (oman toiminnan päästöt), Scope 2 (ostoenergian päästöt) ja Scope 3 (muut epäsuorat päästöt)
- Ympäristövaikutuksia koskeva lainsäädäntö murroksessa, EU:ssa CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) sovellettavaksi vuodesta 2024 alkaen
 - Scope 3 -päästöt ensimmäistä kertaa laajamittaisen sääntelyn alle (sis. lainojen ja sijoitusten kautta rahoitetut päästöt, engl. financed emissions)
 - Tuo rahoitusalan toimijoille kannustimia vähentää sijoitusportfolioidensa päästöjä
- **Ongelma: voiko päästöjä vähentää tinkimättä tuotto-odotuksesta?**

Portfolio-optimointi Monte Carlo -simuloinnilla

1. Valitaan tutkittavat osakkeet
2. Mallinnetaan osakkeiden hintakehitystä toteutuneisiin tuottoihin sovitetuilla jakaumilla
3. Mallinnetaan osakkeiden välisiä riippuvuuksia moniulotteisella jakaumalla
4. Luodaan näistä jakaumista suuri määrä osaketuottoskenaarioita
5. Muodostetaan lineaarinen optimointimalli, jossa portfolion odotettu tuotto maksimoidaan pitäen riskitaso valitun enimmäisrajan alla

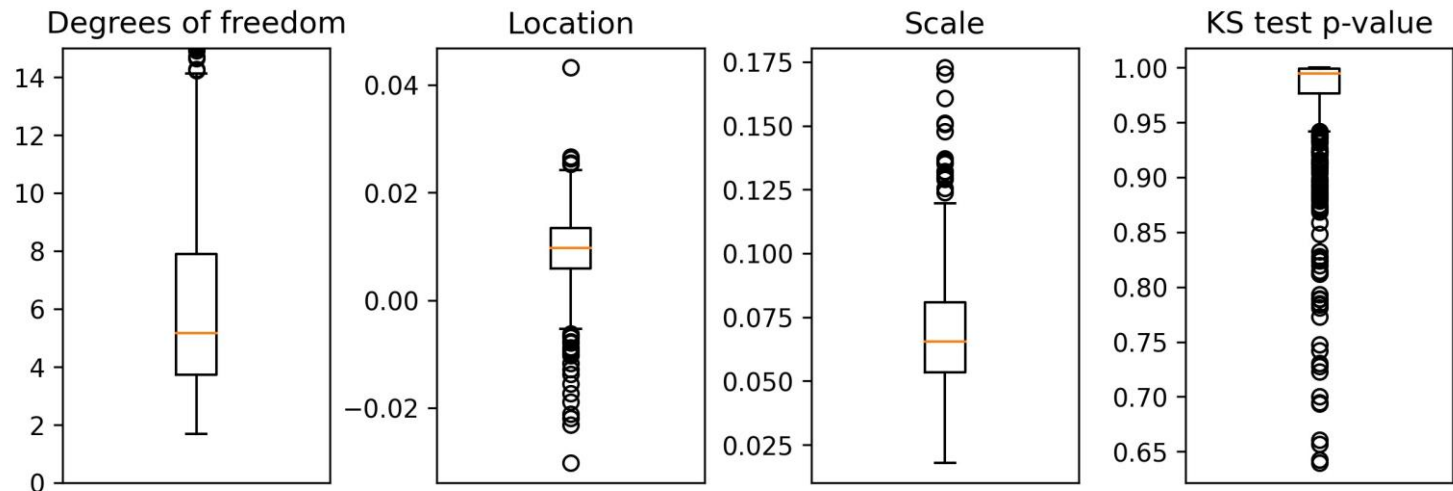
Tutkimusaineisto

- Tutkitaan 724 listautunutta yritystä (Eurooppa ja USA), jotka raportoineet CDP:lle vuonna 2020
- Lasketaan päästöintensiteetti PCAF:n standardia mukaillen: Scope 1–2 päästöt jaetaan yrityksen oman ja velkapääoman summalla
- Kerätään osakkeiden hinnat kuukausittain
 - Väli 01/2005–12/2019 sovittamiseen
 - Väli 12/2019–05/2023 optimoitujen portfolioiden testaukseen
- Mallinnetaan kuukausittaista log-tuottoa

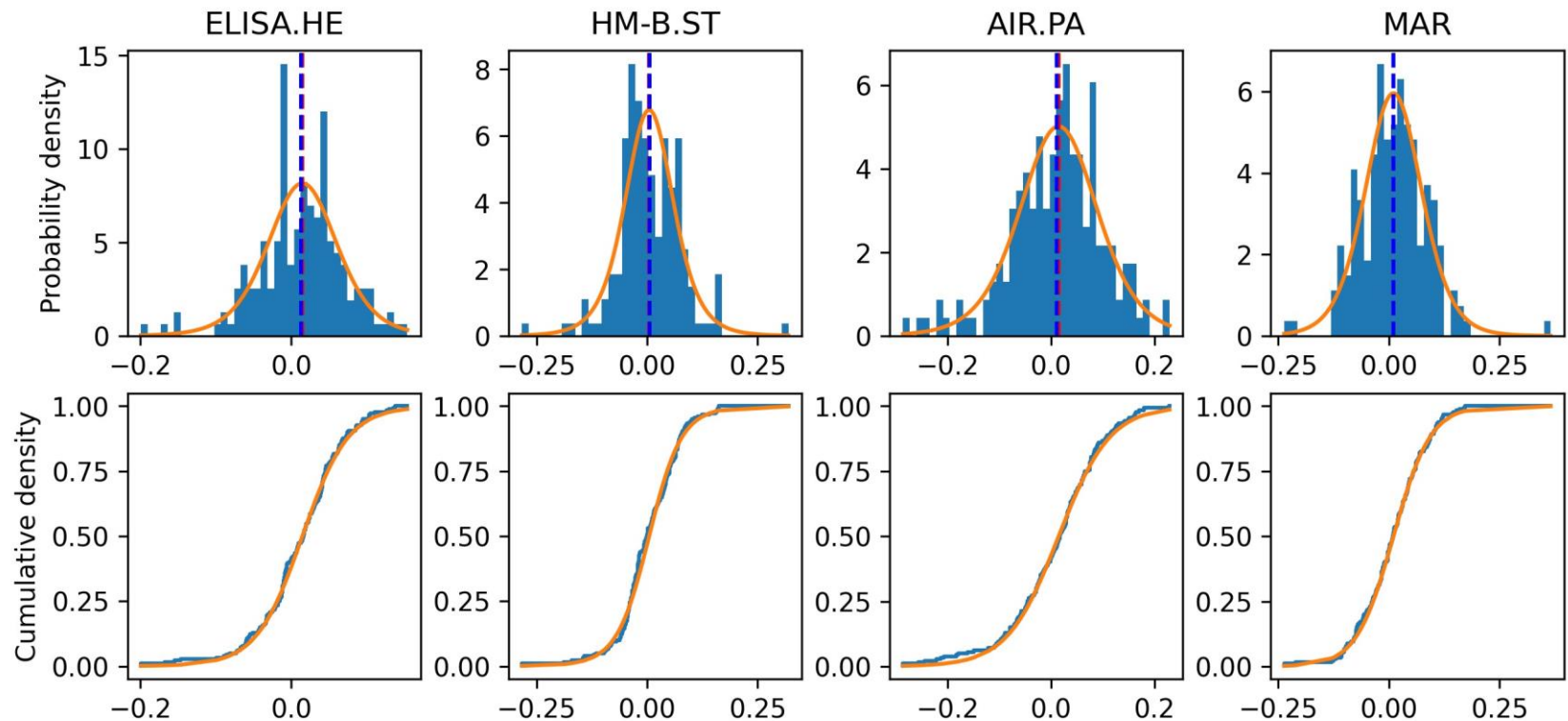
$$r_{i,t} = \ln \left(\frac{K_{i,t}}{K_{i,t-1}} \right)$$

Mallinnetaan osaketuottoja yksiulotteisilla t-jakaumilla

- Parametrit estimoidaan suurimman uskottavuuden menetelmällä
- Kolmogorov–Smirnov-testi



Neljän osakkeen toteutuneet kuukausittaiset log-tuotot opetusjaksolla sekä sovitetut t-jakaumat



Mallinnetaan osakkeiden välisiä riippuvuuksia t-kopulalla

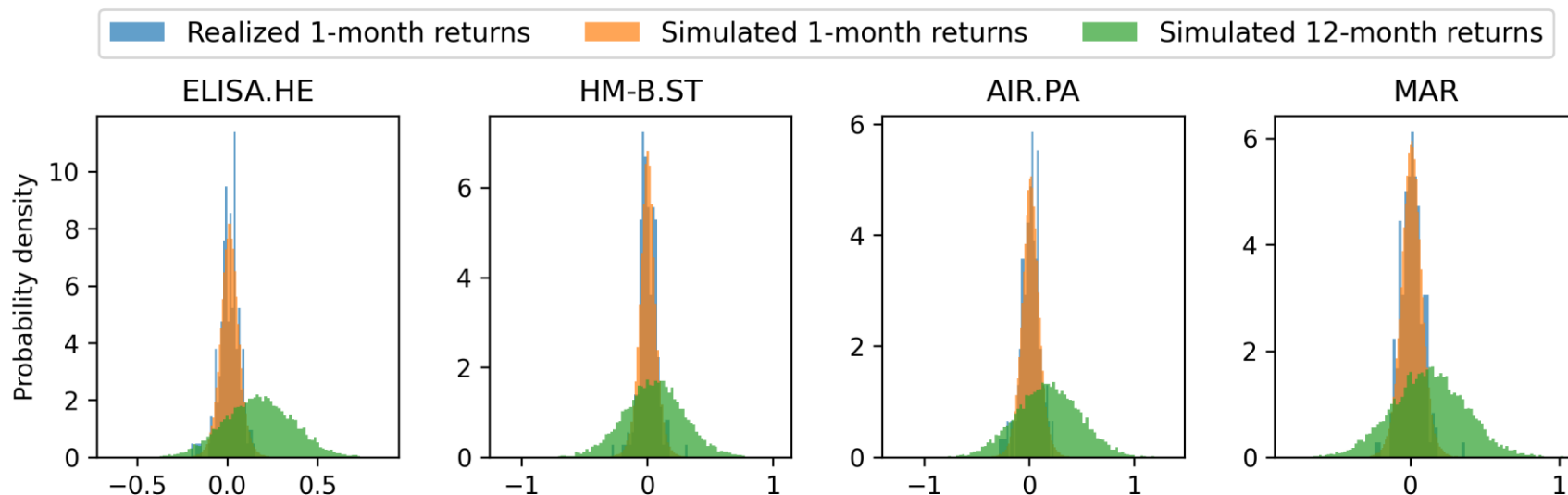
- Kopula on yksikkökuutiossa määritetty funktio, joka mahdollistaa riippuvuusrakenteen mallintamisen erillään osaketuottojakaumista
- Käytetään t-kopulaa, jossa n on osakkeiden määrä, ν on vapausaste parametri ja R korrelaatiomatriisi

$$C_{\nu,R}^n(\mathbf{u}) = t_{\nu,R}^n(t_{\nu}^{-1}(u_1), \dots, t_{\nu}^{-1}(u_n)),$$

- Osakekohtainen PIT (probability integral transform)
- Kopulan optimaalinen vapausaste parametri estimoidaan suurimman uskottavuuden menetelmällä

Luodaan sovitetuista jakaumista tuottoskenaarioita satunnaisotannalla

- 120 000 kuukausittaista → noin 10 000 vuosittaista skenaariota



Optimointitehtävä

$$\begin{aligned} & \min_{x, \zeta, z} -x^T y \\ & \zeta + \frac{1}{J(1-\alpha)} \sum_{j=1}^J z_j \leq \omega \\ & z_j \geq -x^T s_j + V - \zeta \\ & \sum_{i=1}^n x_i = V \\ & E^T x \leq \gamma \\ & Ix \leq \beta \\ & Ax \leq \beta_A \\ & Bx \leq \beta_B \end{aligned}$$

$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, n, z_j \geq 0, j = 1, \dots, J, \zeta \in \mathbb{R}$$

Optimointitehtävä

sijoitettava
osakekohtainen
summa

skenaarioista
laskettu vuosittainen
tuotto-odotus

$$\min_{x, \zeta, z} -x^T y$$

$$\zeta + \frac{1}{J(1-\alpha)} \sum_{j=1}^J z_j \leq \omega$$

$$z_j \geq -x^T s_j + V - \zeta$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = V$$

$$E^T x \leq \gamma$$

$$Ix \leq \beta$$

$$Ax \leq \beta_A$$

$$Bx \leq \beta_B$$

$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, n, z_j \geq 0, j = 1, \dots, J, \zeta \in \mathbb{R}$$

portfolion lähtöarvo

Optimointitehtävä

$$\min_{x, \zeta, z} -x^T y$$

$$\zeta + \frac{1}{J(1-\alpha)} \sum_{j=1}^J z_j \leq \omega$$

$$z_j \geq -x^T s_j + V - \zeta$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = V$$

$$E^T x \leq \gamma$$

$$Ix \leq \beta$$

$$Ax \leq \beta_A$$

$$Bx \leq \beta_B$$

$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, n, z_j \geq 0, j = 1, \dots, J, \zeta \in \mathbb{R}$$

skenaarioiden määrä
merkittävyytaso
suurin sallittu CVaR-arvo
riskirajate-ehto (CVaR)
yksittäinen tuottoskenaario

portfolion tuotto

Optimointitehtävä

$$\min_{x, \zeta, z} -x^T y$$

$$\zeta + \frac{1}{J(1-\alpha)} \sum_{j=1}^J z_j \leq \omega$$

yn päästörajoite

$$z_j \geq -x^T s_j + V - \zeta$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = V$$

Enimmäissijoitus yksittäiseen...

hajautusvaatimukset

$$E^T x \leq \gamma$$

$$I x \leq \beta$$

$$A x \leq \beta_A$$

$$B x \leq \beta_B$$

osakkeeseen (2,5%)

toimialaan (20%)

maahan (20%)

$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, n, z_j \geq 0, j = 1, \dots, J, \zeta \in \mathbb{R}$$

Optimointitehtävä

päätösmuuttujat \rightarrow $\min_{x, \zeta, z} -x^T y$

$$\zeta + \frac{1}{J(1-\alpha)} \sum_{j=1}^J z_j \leq \omega$$

$$z_j \geq -x^T s_j + V - \zeta$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = V$$

$$E^T x \leq \gamma$$

$$Ix \leq \beta$$

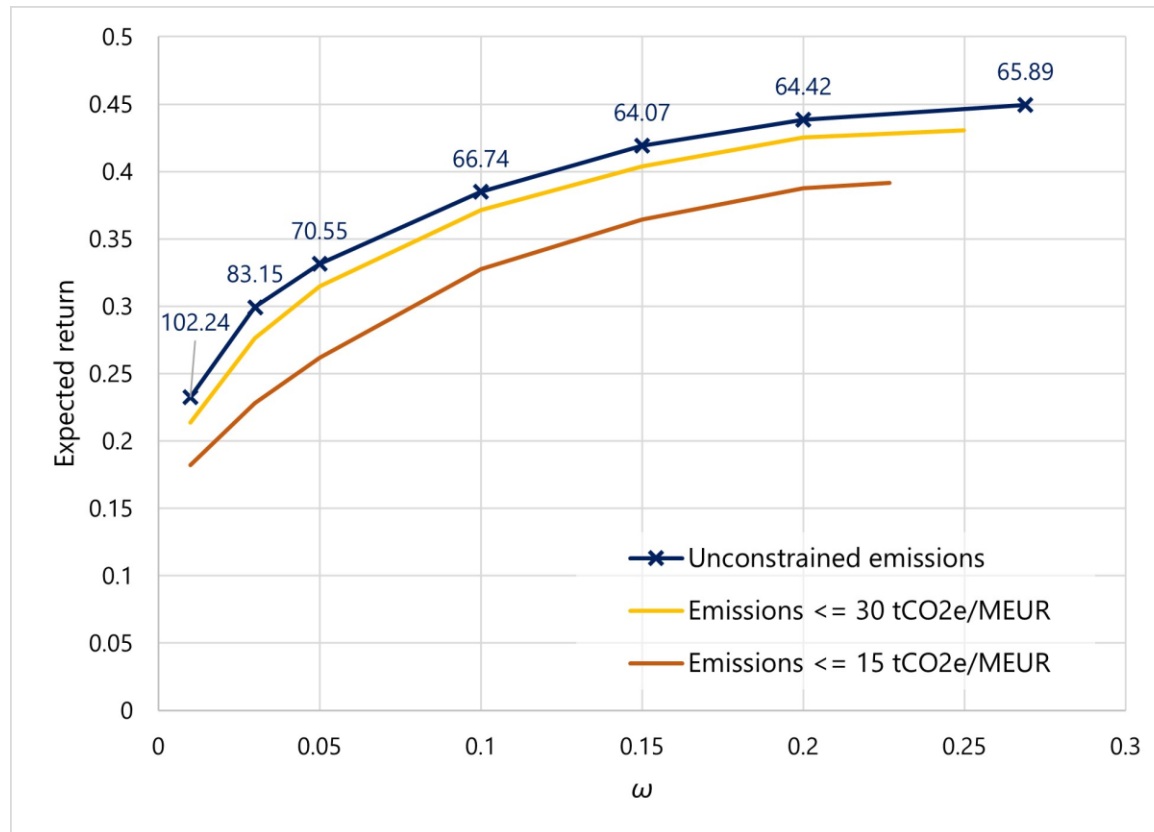
$$Ax \leq \beta_A$$

$$Bx \leq \beta_B$$

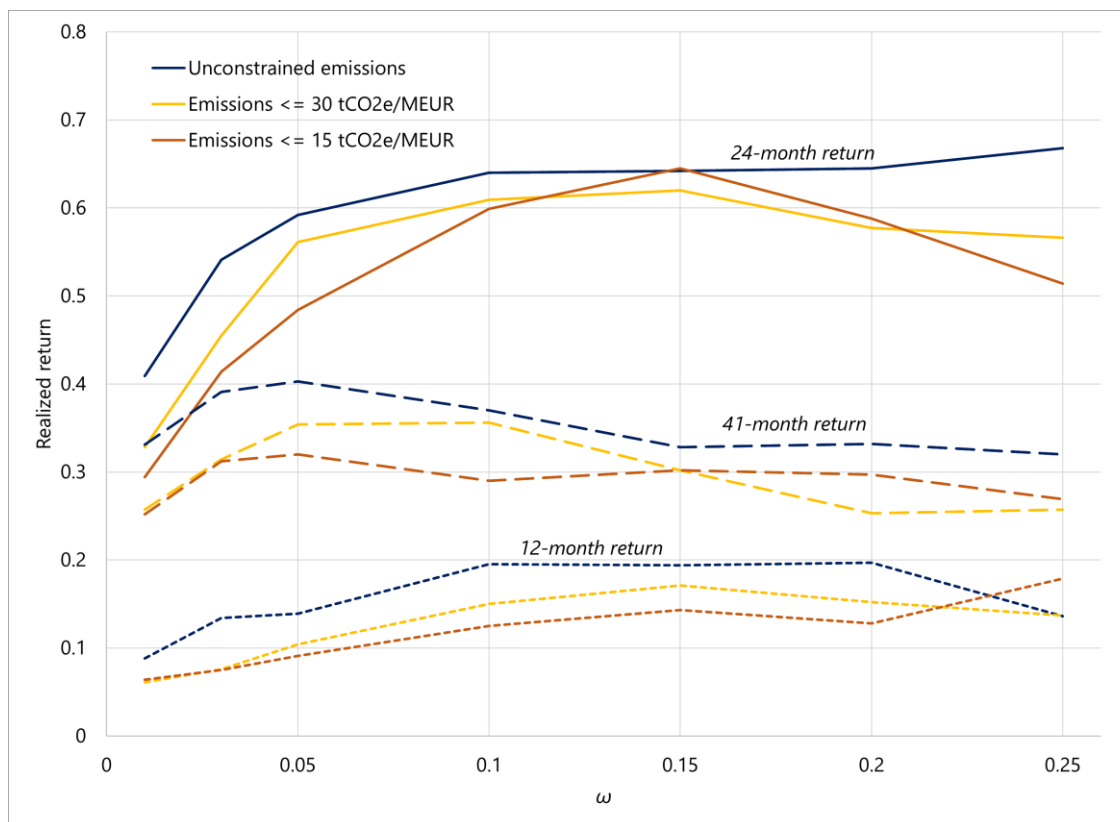
$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, n, z_j \geq 0, j = 1, \dots, J, \zeta \in \mathbb{R}$$

parametrit, joiden arvoa muutetaan

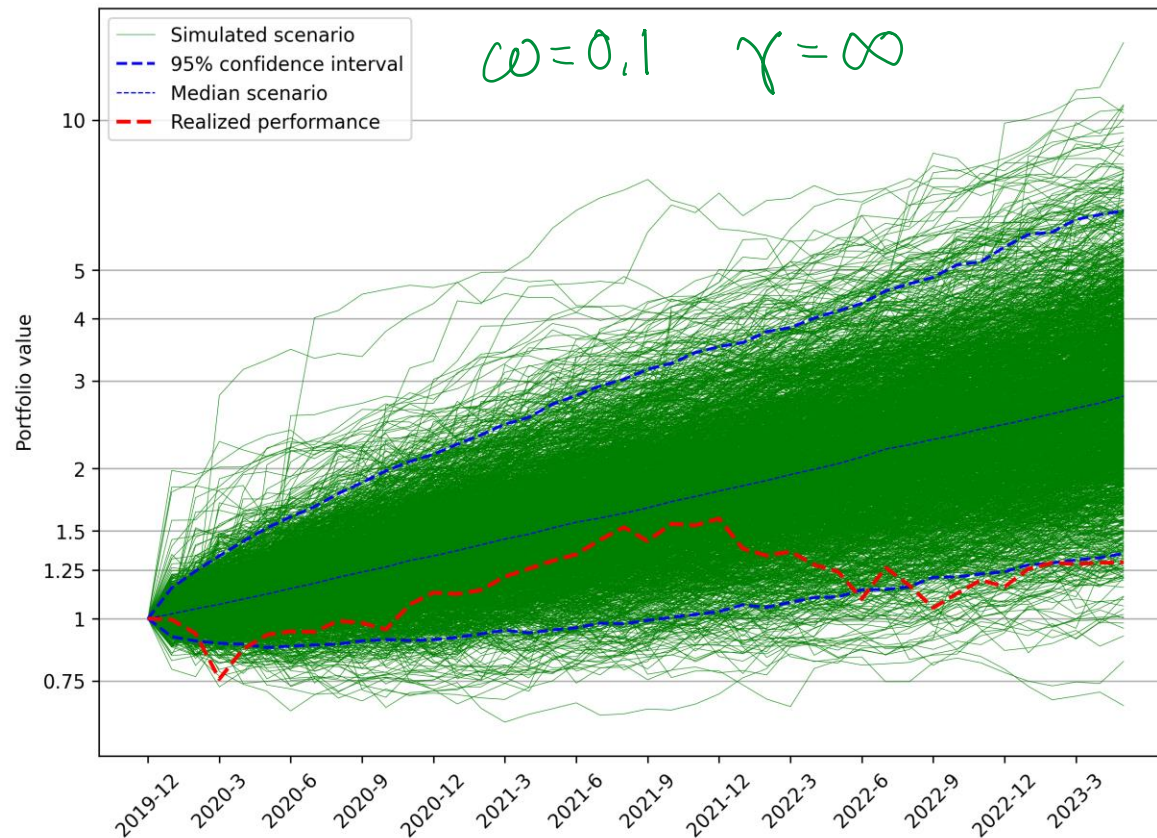
Päästöjen rajoittaminen vähentää odotettua tuottoa tasaisesti



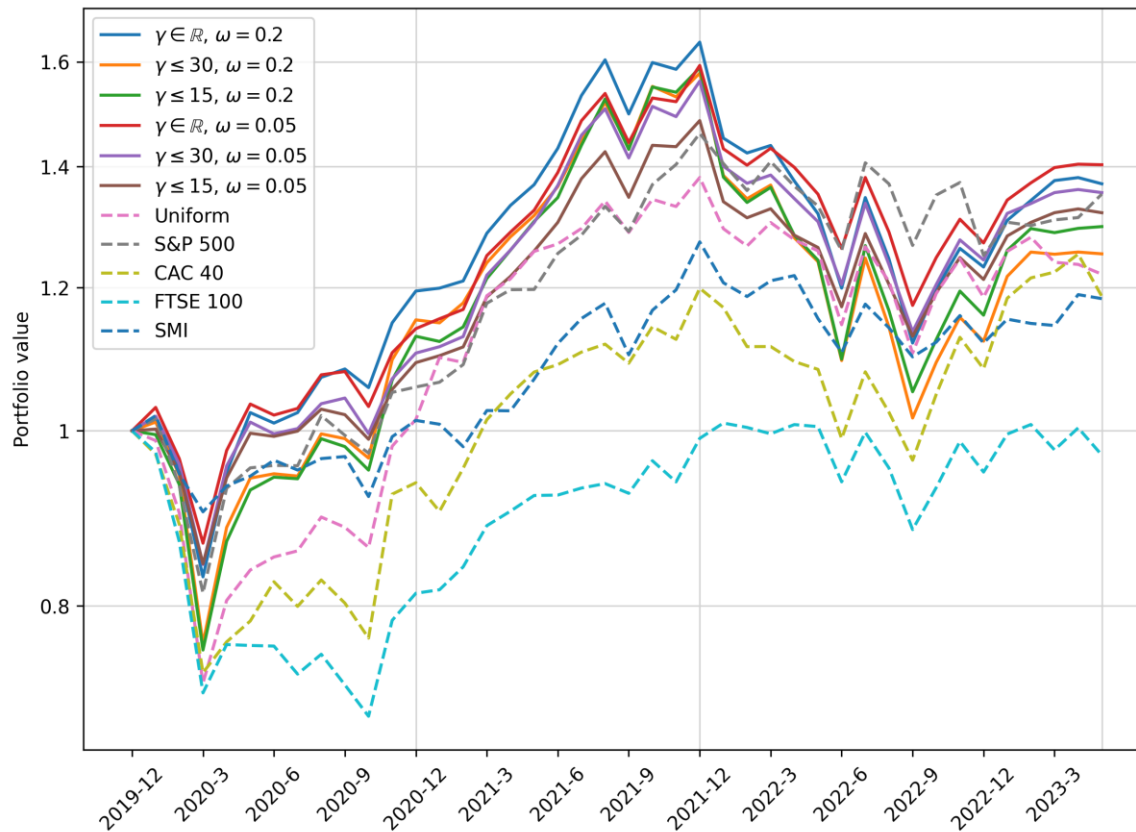
Testijakson tuottojen suuruusjärjestys eri rajoite-ehdoilla mukailee odotettua



Testijaksolla portfolio suoriutuu huomattavasti odotettua heikommin



Optimoidut portfoliot suoriutuvat verrokkejaan paremmin



Huomioita

- Tekijöitä, joita voi muuttaa
 - Käytetty riskitunnusluku ja merkitsevyystaso
 - Tuottojakaumat
 - Osakekurssien aikaväli ja tutkittava jakso
 - Päästörajoitteiden suuruus
 - Hajautusvaatimukset
- Päästöintensiteetti ei ole kattava ympäristövaikutusten mittari
- Riskienhallinnan perustavanlaatuinen haaste: menneet tuotot eivät ole tae tulevasta

Lähteitä

- Alexander J. McNeil, Rüdiger Frey and Paul Embrechts. *Quantitative Risk Management*. Princeton University Press, 2005.
- Pavlo A. Krokmal, Stanislav Uryasev, and Jonas Palmquist. Portfolio optimization with conditional value-at-risk objective and constraints. *Journal of Risk*, 4(2): 43–68, 2001.
- Iakovos Kakouris and Berç Rustem. Robust portfolio optimization with copulas. *European Journal of Operational Research*, 235(1):28–37, 2014.
- PCAF. *The Global GHG Accounting and Reporting Standard Part A: Financed Emissions. Second Edition*. 2022.
- Théophile Anquetin, Guillaume Coqueret, Bertrand Tavin, and Lou Welgryn. Scopes of carbon emissions and their impact on green portfolios. *Economic Modelling*, 115:105951, 2022.