

30^ο Θερινό Σχολείο – Συνέδριο
«Δυναμικά Συστήματα & Πολυπλοκότητα»
Κατασκήνωση ΑΠΘ, Καλάνδρα Χαλκιδικής
28 Αυγούστου - 6 Σεπτεμβρίου 2024



Επιστημονικά Θέματα:

- Βασικές Αρχές Δυναμικών Συστημάτων και Πολυπλοκότητας
- Μη Γραμμική Δυναμική και Χάος
- Μη Γραμμικά Κύματα και Σολιτόνια
- Φαινόμενα Συγχρονισμού και Χιμαιρικές καταστάσεις
- Γεωμετρία των Φράκταλς
- Ανάλυση Χρονοσειρών
- Πολυπλοκότητα και Μηχανική Μάθηση
- Κβαντική Υπολογιστική και Κβαντική Τεχνολογία
- Πολύπλοκα Δίκτυα
- Φυσική, Αστρονομία, Διάστημα, Χημεία, Βιολογία, Ιατρική, Νευροεπιστήμες, Γεωεπιστήμες, Οικονομία, Χρηματοοικονομικές και Ενεργειακές Αγορές
- Καλές Τέχνες

Ομιλίες/Παρουσιάσεις

Οι προσκεκλημένοι ομιλητές είναι Καθηγητές και Ερευνητές από την Ελλάδα και το εξωτερικό. Το Θερινό Σχολείο προσκαλεί μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς φοιτητές, μεταδιδάκτορες, και νέους ερευνητές να παρουσιάσουν την έρευνά τους σε αφίσες και σύντομες ομιλίες.

Πληροφορίες/Αιτήσεις

Για πληροφορίες/αιτήσεις επισκεφθείτε τη σελίδα του Σχολείου στη διεύθυνση
<http://websites.auth.gr/complexity2024/>

Οργανωτική Επιτροπή

Δημήτρης Κουγιουμτζής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Γιώργος Βουγιατζής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Βασίλειος Δρακόπουλος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Γιώργος Παπαϊωάννου, Πανεπιστήμιο Πατρών
Πάνης Κομίνης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Βασίλειος Κωνσταντούδης, ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»
Πάνος Αργυράκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τάσος Μπούνης, Πανεπιστήμιο Πατρών



Ανιχνεύοντας τις **δομικές απότομες μεταβολές** στις τιμές Ενεργειακών και χρηματοοικονομικών Χρονοσειρών, ως συνέπεια του **Ρωσο-Ουκρανικού πολέμου**, μέσω ανάλυσης Bayes (the BEAST tool) : Η περίπτωση δέκα Ευρωπαϊκών ηλεκτρικών αγορών.

Δρ. Γ. Παπαϊωάννου, PhD
CRANS, University of Patras



Article

Detecting Structural breakpoints in natural gas and electricity wholesale prices via Bayesian ensemble approach and assessing their interaction-causality relationships via partial mutual information, in the era of energy prices turmoil of 2022 period: the cases of ten European markets

Panayotis G. Papaioannou^{1†}, George P. Papaioannou^{2,†}, George Evangelidis^{3,†}, George Gavalakis⁴

- 1 Eurobank SA, FX & Derivatives Trading Desk-Global Markets & Assets Management, Greece
- 2 Center for Research and Applications in Nonlinear Systems (CRANS), Department of Mathematics, University of Patras, Patras 26 500, Greece
- 3 Department of Transmission System Operations & Control, Independent Power Transmission Operator (IPTO) S.A., Athens 104 43, Greece
- 4 University of West Attica, Athens, Greece (giorgosgavalakis@gmail.com)

* Correspondence gpthespies@gmail.com; Tel.: +30-6972420181

† These authors contributed equally to this work.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- Διερευνούμε τις επιπτώσεις αριθμού **κρίσιμων γεγονότων** που σχετίζονται με **το Ρωσο-Ουκρανικό πόλεμο**, που ξεκίνησε επίσημα στις 24 Φεβρουαρίου 2022 με την Ρωσική επέμβαση στην Ουκρανία, πάνω σε **δέκα Ευρωπαϊκές ηλεκτρικές αγορές, δύο αγορές φυσικού αερίου (Φ/Α) (TTF, NGNMX), και το πώς οι αγορές αυτές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με την αγορά συναλλάγματος USD/RUB.**
- Αναλύουμε τις εν λόγω **αλληλεπιδράσεις** των αγορών, υπο το πρίσμα της απόκρισής τους ως **απότομες δομικές αλλαγές (Breakpoints, structural changes)**, στά κρίσιμα γεγονότα της περιόδου αυτής, με την χρήση τριών εργαλείων, που ‘ρίχνουν φώς’ σε διάφορες πλευρές της πολύπλοκης αυτής κατάστασης.
- Συνδυάζουμε τις έννοιες της **υπόθεσης της αποτελεσματικής αγοράς (YAA) (Efficient Market Hypothesis)** όπως αυτή ποσοτικοποιείται από τον **εκθέτη Hurst (Hurst Exponent)**, με τις δομικές αλλαγές οι οποίες ανιχνεύονται με το εργαλείο **Bayesian ensemble approach, the Bayesian Estimator of Abrupt change, Seasonal change and Trend (BEAST)**, ένα ‘πρόσφατο’ δυναμικό εργαλείο που ανιχνεύει αποτελεσματικά δομικές αλλαγές στη **τάση (trend)** και **εποχικότητα (seasonality)** τών χρονοσειρών.
- Αναλύουμε την **αιτιότητα (causality)** μέσω των εργαλείων **Partial Mutual Information with Mixed Embedding (PMIME) (Fotiadis, Vlachos, Kugiumtzis, Entropy, 2023)** και **rolling Mutual information (rMI)**, με στόχο να ανιχνεύσουμε την ροή πληροφορίας ανάμεσα στις εν λόγω αγορές, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια της οικονομικής και γεωπολιτικής αναταραχής της κρίσιμης αυτής περιόδου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ (συνέχεια)

- Τα ευρήματα της εργασίας μας δείχνουν ότι οι αγορές που εξετάζουμε ανταποκρίθηκαν με διαφορετικό τρόπο στα κρίσιμα γεγονότα, σε σχέση με τον *αριθμό, είδος και χρόνο απίκρισης των απότομων αλλαγών (leading, lagging, concurrent)* στα κρίσιμα γεγονότα.
- *Το πλέον κρίσιμο γεγονός, για την πλεονότητα των αγορών, δεν ταυτίζεται με αυτή καθ'αυτή την ημερομηνία της Ρωσικής επέμβασης, αλλά με άλλα κρίσιμα γεγονότα πριν αυτή, συνέπεια της 'ιδιοσυγκασίας' και 'ετοιμότητας' της κάθε αγοράς.*
- Η *αλληλεπίδραση (causality, 'αιτιότητα')* των TTF, NGNMX και USD/RUB βρέθηκε να είναι αμφίδρομη (bi-directional), με την αγορά συναλλάγματος USD/RUB να επηρεάζει και τις δύο αγορές Φ/Α οι οποίες με την σειρά τους επηρεάζουν, με διαφορετική ένταση, τις ηλεκτρικές αγορές.
- Η χρήση τών τριών εργαλείων παρέχει *συνεπή αποτελέσματα*, συνδέοντας λογικά τις έννοιες της ΥΑΑ ('ετοιμότητα', *βαθμός ανεξαρτησίας απο εισροές Φ/Α απο Ρωσία*), *αριθμό δομικών αλλαγών, δυναμικό προφίλ των καμπύλων τάσης και εποχικότητας*, και της *κατεύθυνσης της αιτιότητας στην πολύπλοκη αλληλεπίδραση των ενεργειακών αγορών* κατά την διάρκεια της Ρωσο-Ουκρανικής κρίσης.

Abstract

- We investigate the impact of several critical events associated with the Russo-Ukrainian war, started officially on 24 February 2022 with the Russian invasion of Ukraine, on ten European electricity markets, two natural gas markets (the European reference trading hub TTF and N.Y.'s NGNMX market) and how these markets interact to each other and with USD/RUB exchange rate, a 'financial market'.
- We analyze the reactions of these markets, manifested as breakpoints attributed to these critical events, and their interaction, by using a set of three tools that can shed light on different aspects of this complex situation. We combine the concepts of market efficiency, measured by quantifying the *Efficient market hypothesis (EMH)* via rolling *Hurst exponent*, with *structural breakpoints* occurred in the time series of gas, electricity and financial markets, the detection of which is possible by using a *Bayesian ensemble approach, the Bayesian Estimator of Abrupt change, Seasonal change and Trend (BEAST), a powerful tool that can effectively detect* structural breakpoints, trends, seasonalities and sudden abrupt changes in time series.
- *We perform also causality analysis using the Partial Mutual Information with Mixed Embedding (PMIME) and rolling Mutual information (rMI) approaches, to analyze the direction of flow of information between the markets to understand the nature of their interaction, especially during the period of crisis and intense – turmoiled economic and geopolitical conditions.*
- The results show that the *analyzed markets have exhibited different modes of reactions to the critical events*, both in respect of number, nature, and time of occurrence (leading, lagging, concurrent with dates of critical events) of breakpoints as well as of the dynamic behavior of their trend components.
- The **most critical event**, in respect of causing a strong structural breakpoint, for the majority of the markets, **is not that of 24 Feb22**, the day of the Russian invasion, but *other critical events before and after this date*. Also, the *interaction between TTF, NGNMX and USD/RUB markets is found to be strongly mutual i.e. bidirectional, the financial market (USD/RUB) affects both gas markets, that in turn affects, to a different degree, the electricity markets.*
- These findings support the results of similar works in literature. The three tools of analysis provide consistent results, linking rationally the concepts of market efficiency, number of breakpoints, dynamic profile of trend curves and the direction of 'causalities' in the complex interaction of the markets during the Russo-Ukrainian crisis.

ATZENTA

- Κρίσιμα γεγονότα (critical events), συνδεδεμένα με την Ρωσο-Ουκρανική διένεξη (Russo-Ukrainian Conflict), όπως ‘ανιχνεύθηκαν’ απο μια εκτενη βιβλιογραφική ανασκόπηση
 - Γραφικές παραστάσεις & Πίνακες τών υπο ανάλυση κρίσιμων ενεργειακών και χρηματοοικονομικών μεγεθών
 - Λίστα με τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας
 - Μεθοδολογία (Methodology)– χρησιμοποιούμενα εργαλεία ανάλυσης
1. *Hurst Exponent and the Efficient Market Hypothesis (EMH). Generalized Hurst Exponent (GHE)*
 2. *Mutual Information and PMIME approach for detecting directed causality between TTF and electricity prices.*
 3. *Bayesian Estimator of Abrupt Change, Seasonal Change, and Trend (BEAST) approach.*
- Αποτελέσματα
 - Συμπεράσματα-Συζήτηση

**Πίνακας
Κρίσιμων γεγονότων
Συνδεόμενων με την
Ρωσο-Ουκρανική
διένεξη**

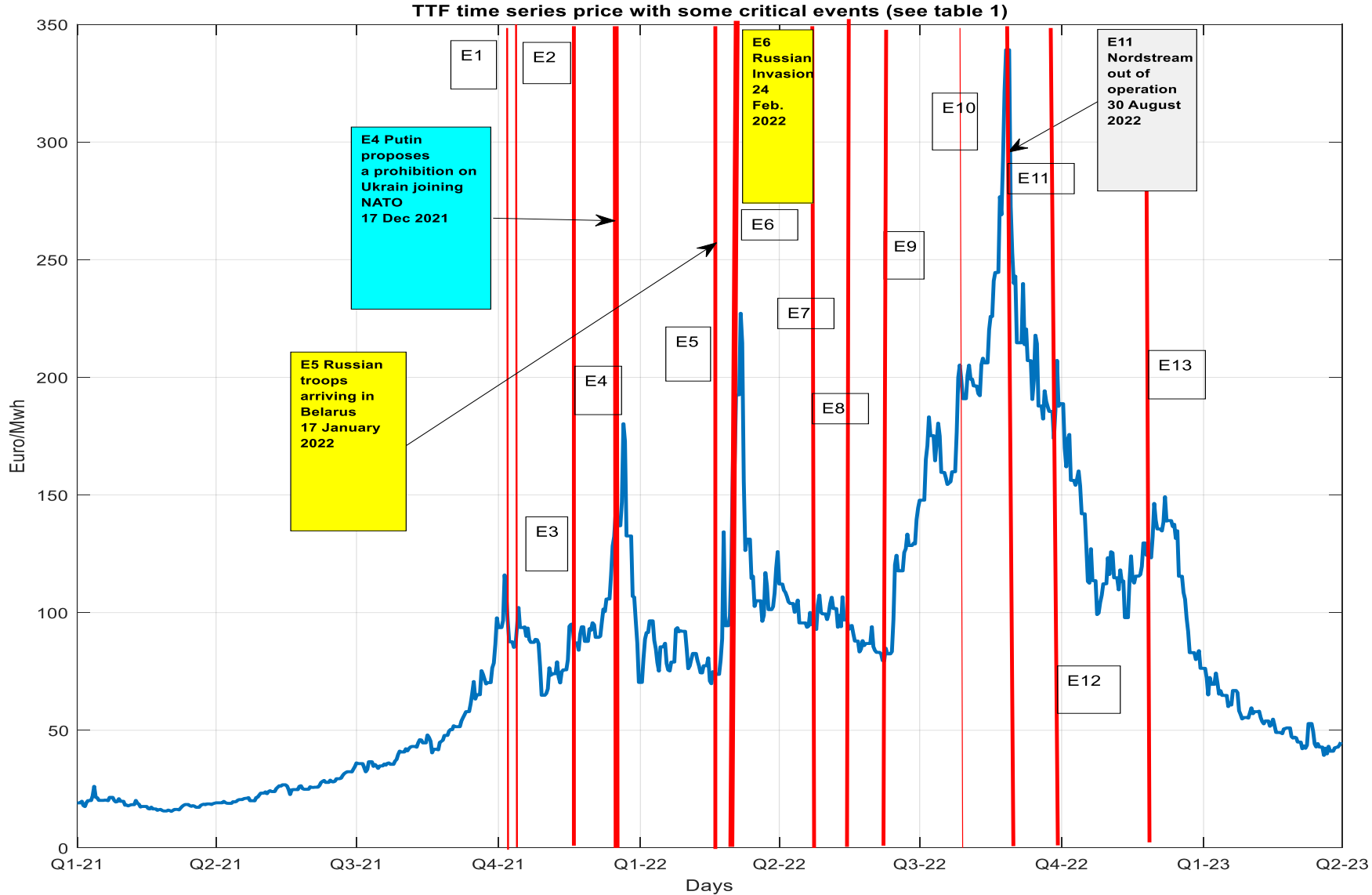
Ρωσική επέμβαση



| | Date | Symbol | Event Description |
|----|------------------------------|-----------|---|
| 1 | 13 October 2021 (Q4) | E1 | The European Commission presents a “toolbox” of measures to tackle exceptional situation and its impacts (Communication on Energy Prices) |
| 2 | Mid-October 2021 (Q4) | E2 | Gazprom ceased selling volumes at EU gas hubs since mid-October 2021, with only limited long-term pipeline contracts remaining. Hub trading has stopped, and disruptions in gas flows occurred via the Yamal and Nord Stream routes from May to September 2022. Meanwhile, Russian LNG deliveries to the EU increased in 2022 and 2023, despite discussions about a potential future ban. |
| 3 | 10 November 2021 (Q4) | E3 | The US reports unusual movement of Russian troops near borders of Ukraine. |
| 4 | 17 December 2021 (Q4) | E4 | Putin proposes a prohibition on Ukraine joining NATO |
| 5 | 17 January 2022 (Q1) | E5 | Russian troops begin arriving in Russia's ally Belarus, "for military exercises". |
| 6 | 24 February 2022 (Q1) | E6 | Russia invades Ukraine. Economic sanctions against Russia began, including the removal of elected Russian banks from the SWIFT interbank system , and prohibition of the Central Bank of Russia from access to foreign exchange reserves. |
| 7 | 27 April 2022 (Q2) | E7 | Gazprom cuts off gas supplies to Bulgaria and Poland, |
| 8 | 18 May 2022 (Q2) | E8 | the European Commission presents its €300 billion REPowerEU plan to eliminate Russian energy imports by 2027 |
| 9 | 23 June 2022 (Q2) | E9 | Germany moves closer to rationing gas, raising alert level to the 2nd of 3 stages. |
| 10 | 21 July 2022 (Q3) | E10 | New package of measures in response to Russia's invasion of Ukraine |
| 11 | 30 August 2022 (Q3) | E11 | Nordstream out of operation |
| 12 | 14 September 2022 (Q3) | E12 | EU announces tax energy companies |
| 13 | 1 November 2022 (Q4) | E13 | Obligation of member states to achieve a minimum filling target of 80% of their gas storage capacity (Driver 3 of ACER-CEER's report) |

Evolution of the **TTF gas price** and critical events (E1-E13) (red vertical lines) during period Q1-2021 and Q2-2023, shown also in table 1.

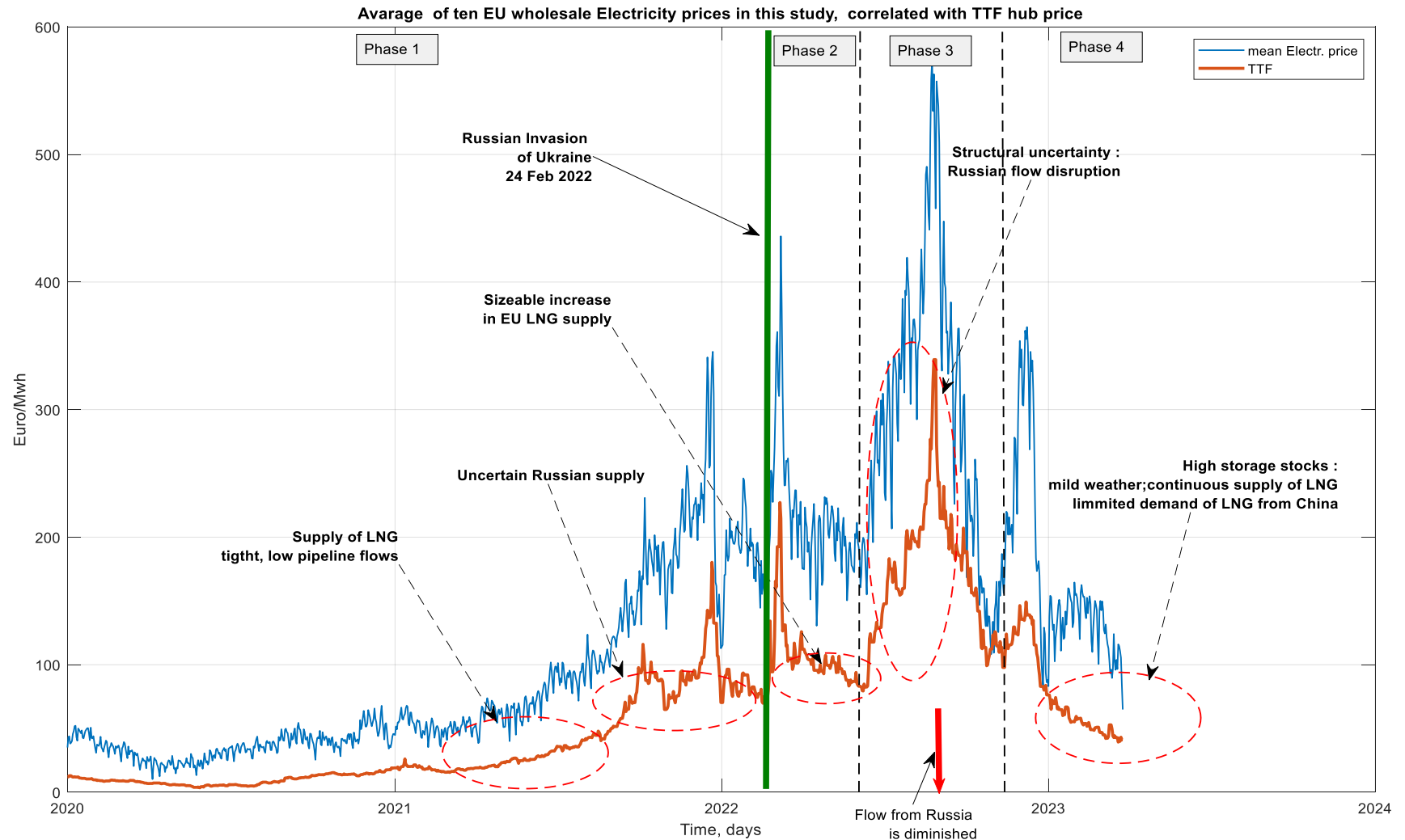
TTF is the virtual trading point of the *Netherlands Transfer Fund* (title transfer facility, TTF), which is used as a reference gas market at European level and trades as Euro/Mwh.



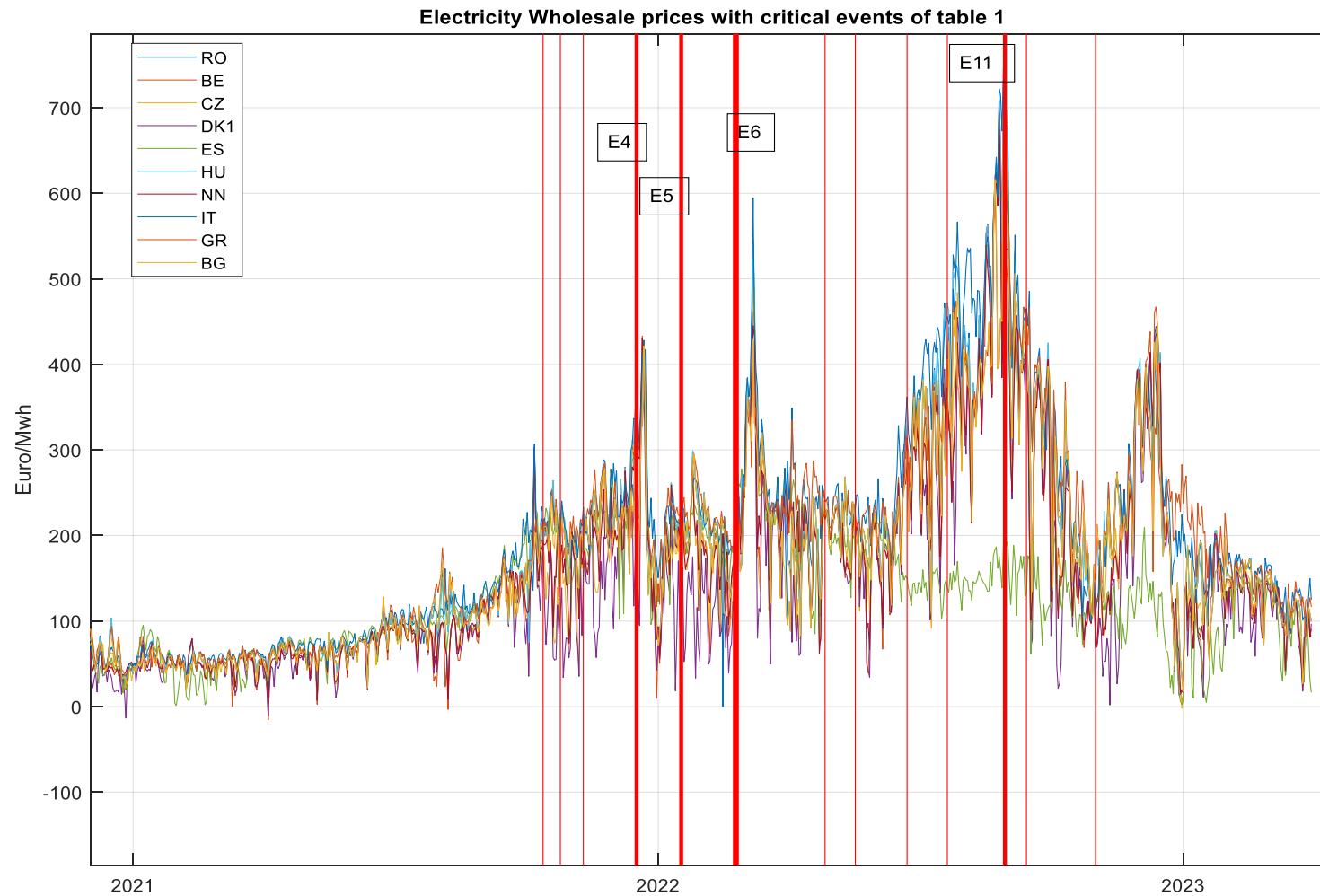
Μέση τιμή των υπο ανάλυση 10 ηλεκτρικών αγορών, σε συσχέτιση με την **τιμή αναφοράς (reference price)** του Φυσικού Αερίου TTF (*Netherlands Transfer Fund* , title transfer facility, TTF)

We use data from *ENTSO-E* for our set of 11 electricity markets, including **Austria (AT), Belgium (BE), the Czech Republic (CH), Denmark (bidding zone 1) (DK1), Germany with Luxemburg (DELU), Spain (ES), France (FR), Greece (GR), Hungary (HU) and Italy (South bidding zone) (ITsouth)**, from January 2020 to April 20, 2022. The data are daily (average of 24-hourly data). All prices are in Euro/Mwh.

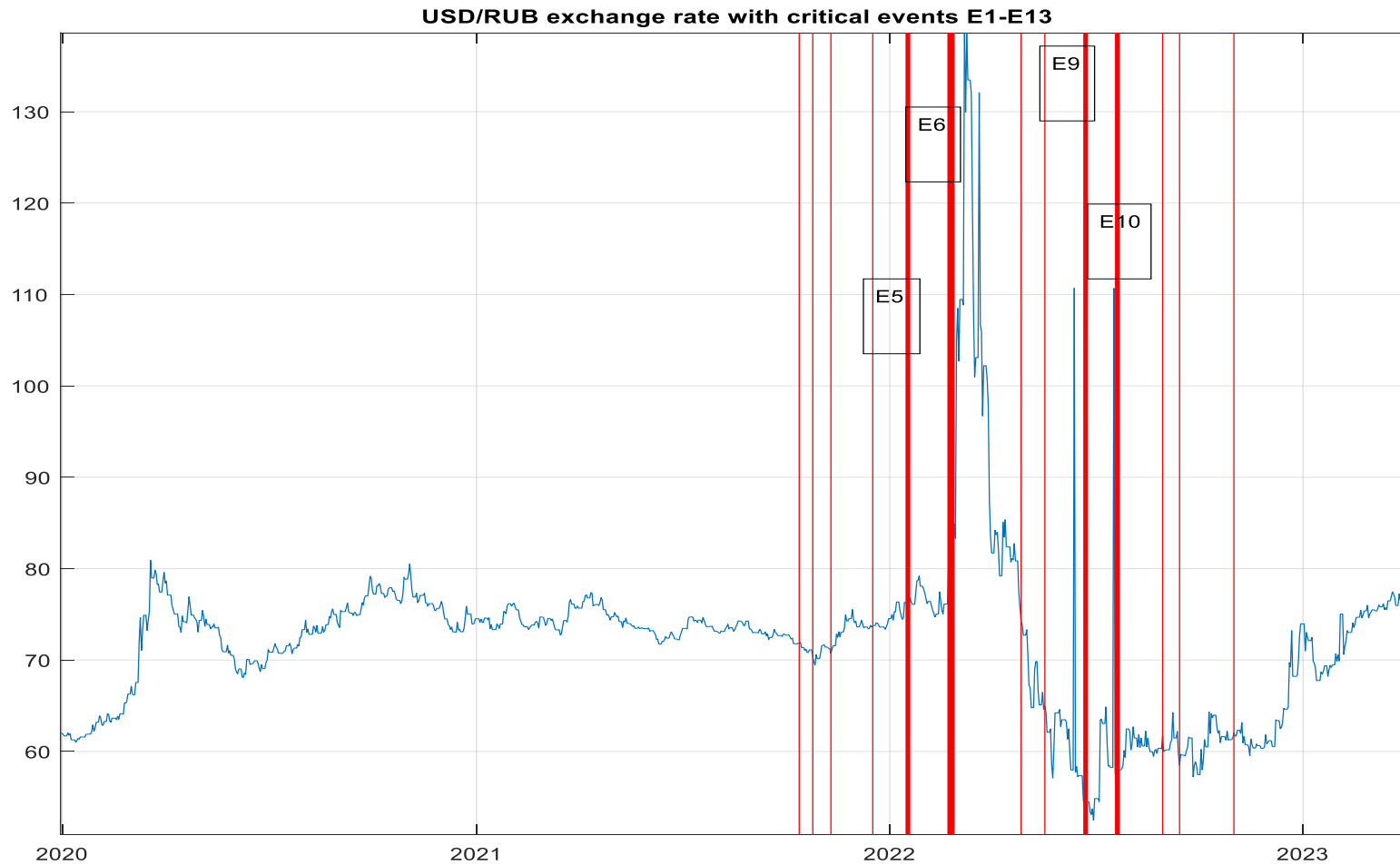
TTF is the virtual trading point of the *Netherlands Transfer Fund* (title transfer facility, TTF), which is used as a reference gas market at European level and trades as Euro/Mwh.



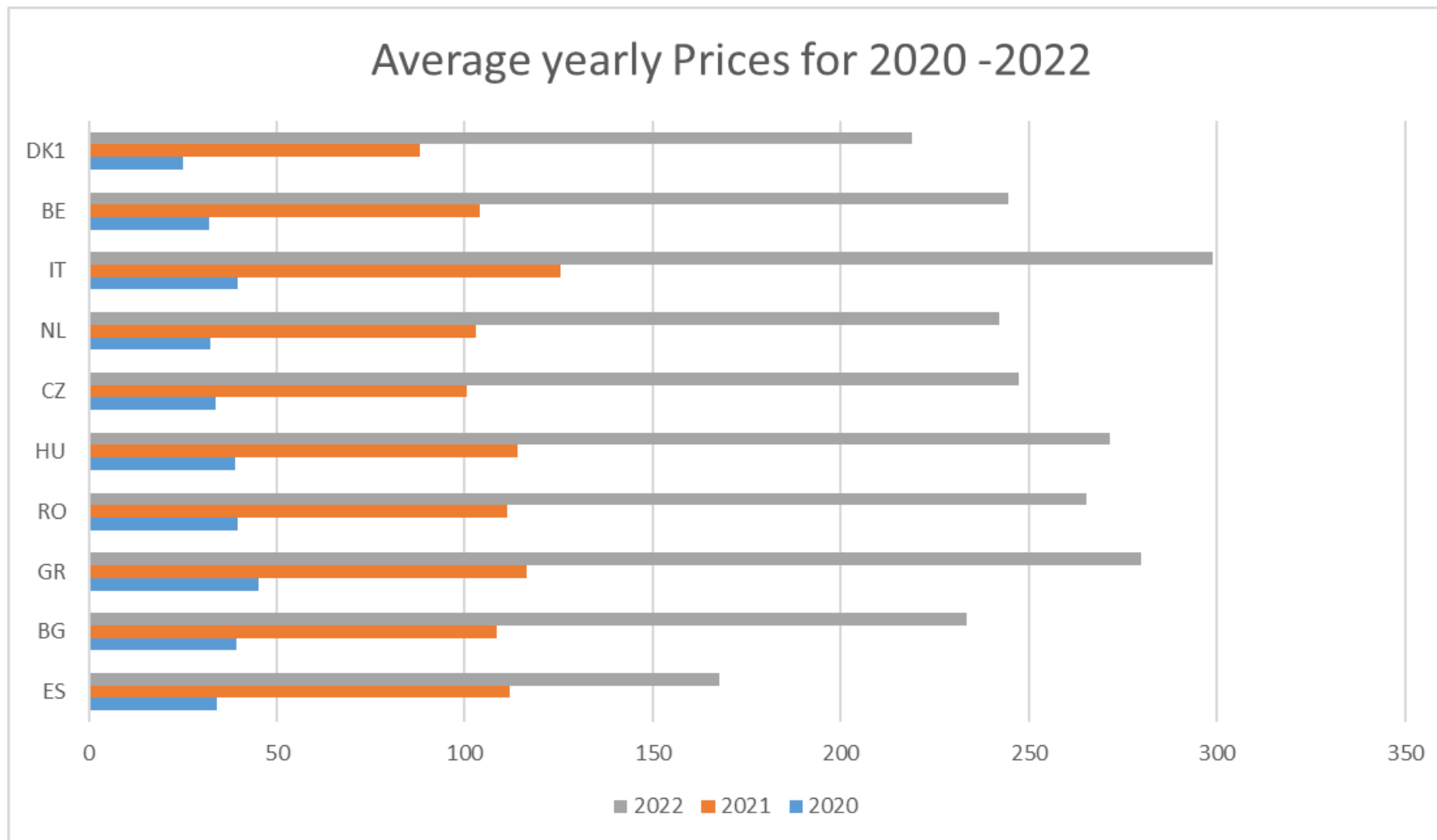
Χρονοσειρές τιμών χοντρικής των 10 υπο ανάλυση Ευρωπαϊκών Ηλεκτρικών Αγορών και ορόσημα 4 κρίσιμων γεγονότων (E4, E5, E6, E11) (κάθετες κόκκινες κατακορυφες γραμμές)



Time series of **USD/RUB exchange rate** from January 2020 to Q1 2023. Red vertical lines mark the critical events E1-E13 of table



Μέσες Ετήσιες τιμές Ηλεκτρικών αγορών (Euro/Mwh), κατά την περίοδο 2020-2022
Η Ιταλική και Ελληνική αγορά οι 'πλέον ακριβές' !!!



Κύρια ερωτήματα της παρούσας έρευνας-μελέτης (Some related research questions and the main targets of the work)

Drawing from the literature review, and ‘exploiting’ the insights gained from studies related to this work, we state below some of the main research questions:

During the examined period of the Russo-Ukrainian conflict (‘long’ before, at the onset and ‘long’ after the invasion):

1. What are the *significant (occurring with the largest probability) breakpoints* of the time series of the price of specific variables of the energy and financial markets analyzed? **Do these breakpoints correspond only to the critical events E1-E13 linked to the mentioned conflict in the time examined or there are also other ‘hidden’ ones?**
2. How does the *Hurst Exponent*, a measure to quantify the *weak-, semi-, and strong-form of the efficiency* of markets analyzed, vary across them, an information that can help us to assess their *adaptability*, especially in the context of *drastic geopolitical and economic changes occurred due to the invasion?*
3. How the *detected structural breakpoints*, by using BEAST approach, are *linked to the market efficiency* measured via the rolling Hurst exponent over the period of our analysis?
4. How the (war related) critical events, seen as the sources of *exogenous shocks* in the markets, contribute to the development of the *structural breakpoints* as well as on the *deviations* of the markets analyzed from the *EMH limit?*
5. How the energy markets (electricity and gas) analyzed, *interacted with the USD/RUB financial market* and what is the *direction of the interaction (or ‘causality’)?* Is there any *mutual (bidirected) interaction* present?

Εργαλείο 1: Hurst Exponent and the Efficient Market Hypothesis (EMH). Generalized Hurst Exponent (GHE)

Hurst exponent is a statistical tool (measure) for analyzing the **scaling properties of a time series**, which, in the case of financial asset prices, corresponds to *patterns that are repeated at different time scales*. The most popular model to study such patterns is the **Brownian motion** of **Bachelier (Bachelier, L., 1900)**, and its modifications as **fractional Brownian motion** (**Mandelbrot B.B., 1997; Clark P.K., 1973**) and **Levy motion** (**Mandelbrot B.B., 1967; Fama E.F., 1965**). The **re-scaled range (R/S)** for **distinguishing completely random time series from correlated time series** (**Hurst, E., 1965**), is the main concept in the seminal work of Hurst.

Μεθοδολογία :

Divide a time series of length L into d subseries of length n , then find the mean (E_k) and standard deviation (S_k), for each sub-series $k = 1, \dots, d$; **normalize** the data ($Z_{i,k}$) by subtracting the sample mean $X_{ik} = Z_{i,k} - E_k$ for $i = 1, \dots, n$; . Finally, create a **cumulative time series**

$Y_{i,k} = \sum_{j=1}^i X_{j,k}$ for $i = 1, \dots, n$; and then find the range $R_k = \max\{Y_{1,k}, \dots, Y_{n,k}\} - \min\{Y_{1,k}, \dots, Y_{n,k}\}$; and rescaling the range R_k/S_k .

R/S is shown to follow asymptotically the relation $(R/S)_n \sim cn^H$ thus by taking logs of both sides we have **$\log(R/S)_n = \log c + H \log n$** . Thus, the value of H can be estimated by simple **regression (H is the slope)**

The mean value of the rescaled range for subseries of length n is finally computed as $(R/S)_n = (1/d) \sum_{k=1}^d R_k/S_k$. We can also plot, the $(R/S)_n$ statistics against n on a double-logarithmic paper.

If the process of returns of a time series is white noise, then we get roughly a straight line with slope 0.5., while if the process is persistent then the slope is > 0.5 . Finally, if the process is anti-persistent, the slope is < 0.5 .

1. Generalized Hurst Exponent (GHE)

Generalized Hurst exponent (GHE), is a generalization of the original method of Hurst (Hurst, H.E., 1951), a popular technique to study directly the *scaling properties of our data via the **qth-order moments** of the distribution of the increments* (Mandelbrot B.B, 1997; Barabasi A.L et al., 1991; Weron R., 2006).

The GHE is related to the long-term statistical dependence of a certain time series $X(t)$, with $t = (1, 2, \dots, k, \dots, \Delta t)$, defined over a time-window Δt , with time-steps of one-unit. GHE actually quantifies the **correlation persistence** therefore there is a need for considering some fundamental statistical quantities, more specifically the *qth-order moments* of the distribution of the increments of the time series, defined as (Di Matteo T., 2007, Barabasi A.L et al., 1991)

$$K_q(\tau) = \frac{\langle |X(t + \tau) - X(t)|^q \rangle}{\langle |X(t)|^q \rangle} \quad (A)$$

where $1 < \tau < \tau_{max}$ and $\langle \cdot \rangle$ is the sample average over the time-window. We emphasize that for $q = 2$, $K_q(\tau)$ is analogous to the autocorrelation function: $C(t, \tau) = \langle X(t + \tau)X(t) \rangle$. From the scaling behavior of $K_q(\tau)$, the **generalized Hurst exponent** is then defined as follows:

$$K_q(\tau) \propto \tau^{qH(q)} \quad (B)$$

1. Generalized Hurst Exponent (GHE) (cont.)

Διαδικασίες που εμφανίζουν *συμπεριφορά κλιμάκωσης (scaling behavior)* ομαδοποιούνται ως εξής :
Processes exhibiting this can be categorized into two groups:

(a) Διαδικασίες *μονής κλιμάκωσης (uni-scaling)*, *μονο-μορφοκλασματικές (uni-fractal)*, ανεξάρτητες του q
 $H(q) = H$, και οι συμπεριφορές τους ορίζεται μοναδιαία απο την σταθερά H (*Hurst exponent or self-affine index*), (DiMatteo T., 2007);

(b) Διαδικασίες με *μεταβαλλόμενο (varying) $H(q)$* , *πολυ-κλιμακούμενες (multi-scaling)* η *πολυμορφοκλασματικές (multi-fractal)* και κάθε ροπή κλιμακώνεται με διαφορετικό δείκτη H . Οι (Di Matteo, T., (2007); Di Matteo, T. et al., 2005) τονίζουν πώς τα χρηματοοικονομικά δεδομένα εμφανίζουν συμπεριφορές πολυμορφοκλασματικής.

Ο γενικευμένος δείκτης Hurst υπολογίζεται ως η μέση τιμή διαφορετικών τιμών του τ_{max} , εξίσωση (A) (Barabasi, A.L et al.,1991; Di Matteo, T., 2007).

1. Τι σημαίνουν οι τιμές του εκθέτη Hurst ?

- ❑ Ο εκθέτης Hurst μας βοηθάει να καθορίσουμε εάν μια χρονοσειρά είναι
 - τυχαίος περίπατος (random walk) ($H \approx 0.5$)
 - έχει μορφοκλασματική τάση (fractal trend) ($H > 0.5$)
 - Οι τιμές επιστρέφουν στη (μακροπρόθεση) μέση τιμή (mean reverting) ($H < 0.5$) (**Ornstein-Uhlenbeck process**)
- ❑ Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την διακύμανση μιας χρονοσειράς λογαριθμικής τιμής $-\log(\text{price})-$, για να εκτηήσουμε τον ρυθμό διαχυτικής (diffusive) συμπεριφοράς της.
- ❑ Οι τιμές H αλλάζουν με το χρησιμοποιούμενο μήκος της χρονικής περιόδου των αποδόσεων (returns) (for DAX index : $H=0.54$ for 1-day returns, $H=0.82$ for 50-days returns)

$H \approx 0$
Σθεναρή τάση επιστροφής
στη μέση τιμή

$0 < (H=0.5) < 1$

$H \approx 1$, σθεναρή τάση,
υψηλός κίνδυνος
μεγάλων αποτομων αλλαγών
(Structural Breakpoints)

$0 < H < 0.5$ Αντιεμονική συμπεριφορά
(Anti-persistent, (Negative autocorrelation))

- **Αυξήσεις τιμών ακολουθούνται πιθανώς από μειώσεις και αντίθετα**
- **Αγορά : υψηλή μεταβλητότητα (volatility)**
- **χαμηλή ευστάθεια (stability)**

Γεωμετρική Κίνηση Brown
(Geometric Brownian motion)

- Πλήρως ασυσχέτιστη διαδικασία
- Μελλοντικές τιμές ανεξάρτητες από προηγούμενες

$0.5 < H < 1$ Εμονική συμπεριφορά – Τάση
(persistent - trend) (+autocorrelation)

- Οι τάσεις πιθανώς συνεχίζονται μελλοντικά
- Κάποια ευστάθεια - αυξητικές η αρνητικές τάσεις – είναι πιο προβλέψιμες

Manifestation of Market Stability Through the Hurst Exponent:

1. Χαμηλή Μεταβλητότητα & Ευστάθεια (Low Volatility and Stability) ($H > 0.5$):

- If the Hurst exponent is *greater than 0.5*, it suggests that the *electricity market prices have a tendency to follow persistent trends*. In a **stable market**, prices do not fluctuate wildly, and *trends* are sustained over time.
- **Market Implication:** A persistent Hurst exponent indicates a stable market where *supply and demand are relatively balanced*, and price movements are smoother and more predictable. This reflects *lower market risk* and *higher confidence among market participants*.

2. Υψηλή Μεταβλητότητα και Αστάθεια (High Volatility and Instability) ($H < 0.5$):

- If the Hurst exponent is *less than 0.5*, it suggests that the market is more erratic, with price changes tending to reverse quickly. This behavior is indicative of a less stable market, where *prices might swing dramatically due to various factors like supply disruptions, demand spikes, or market manipulation*.
- **Market Implication:** An *anti-persistent* Hurst exponent reflects *instability* in the electricity market, characterized by *frequent price reversals and higher volatility*. This could lead to increased risk for market participants and challenges in ensuring reliable electricity supply.

3. Τυχαίος Περίπατος (Random Walk) & Ουδέτερη ευστάθεια (Neutral Stability) ($H \approx 0.5$):

- If the Hurst exponent is *close to 0.5*, the electricity market prices behave like a random walk, indicating no clear long-term memory or predictable trend.
- **Market Implication:** This suggests a neutral stability where the market is neither highly stable nor highly unstable. *The price movements are mostly random, possibly driven by a mix of balanced and fluctuating forces.*

Ανάλυση χρονοσειρών παραγόμενων απο κυλιόμενο παράθυρα του Hurst exponent



Chaos, Solitons and Fractals 166 (2023) 112884



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Chaos, Solitons and Fractals

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chaos



Hurst exponent dynamics of S&P 500 returns: Implications for market efficiency, long memory, multifractality and financial crises predictability by application of a nonlinear dynamics analysis framework

Markus Vogl*

University of Applied Sciences Aschaffenburg, Würzburger Straße 45, 63743 Aschaffenburg, DE, Germany
Executive Management, Markus Vogl (Business & Data Science), Adelheidstraße 51, 65185 Wiesbaden, DE, Germany



Hurst και κρίσιμα γεγονότα

- Πρίν απο κάποια κρίση παρατηρείται μια **καθοδική τάση** στους τοπικούς (κυλιόμενα παράθυρα) εκθέτες Hurst, και μετά ακολουθούν **δυνατές διακύμανσεις** τους (Tzouras S., et al., 2015; Ma P., et al., 2016)
- **Κατά την διάρκεια μιας κρίσης**, η εξελικτική δυναμική εμφανίζει **αρνητικές συσχετίσεις**, όπως συνάγεται απο μια **αύξηση των εκθετών Hurst** (Tzouras S., et al., 2015)

Hurst και EMH

- Εάν για μια χρηματαγορά **ισχύει η EMH**, τότε ο εκθέτης Hurst **πρέπει να είναι ακριβώς ίσιος με 0.5**, και άρα ή **Υποκείμενη δυναμική της ακολουθεί την κίνηση Brown.**
Weron R. (2000) : Η **fBM (fractal Brownian Motion)** είναι το **καταλληλότερο μοντέλο να ελεγχθεί η EMH και αρα η ύπαρξη εμονικής (persistent-long memory) συμπεριφοράς σε χρηματαγορές & ενεργειακές αγορές**

Πρακτική εφαρμογή το εκθέτη Hurst στις Ηλεκτρικές αγορές

(Practical Application of Hurst Exponent in Electricity Markets) :

- **Πρόβλεψη και διαχείριση κινδύνου (Forecasting and Risk Management) :** By calculating the Hurst exponent for electricity prices, market *analysts* and *operators* can assess the *predictability and stability of the market*. **A higher H suggests that past price trends are likely to continue, which can aid in forecasting and risk management.**
- **Ρυθμιστικός έλεγχος (Regulatory Monitoring) :** Regulators (π.χ. ΡΑΕ Ελλάδα) can use the Hurst exponent to monitor **market stability**. A sudden shift in the Hurst exponent (e.g., from > 0.5 to < 0.5) could signal emerging *instability*, prompting *regulatory intervention*.
- **Investment Decisions:** *Investors* and *traders* might use the Hurst exponent to *gauge market conditions*. A *more persistent market* ($H > 0.5$) may be seen as **safer for long-term investments**, while a *market with $H < 0.5$* might be more suited to **short-term trading strategies** due to its higher volatility.

Conclusion:

The Hurst exponent is a valuable tool in assessing the *stability of electricity* markets. A **higher Hurst exponent** generally indicates a **more stable** market with *persistent price trends*, while a **lower Hurst exponent** suggests *instability and higher volatility*. **By analyzing the Hurst exponent over time, market participants can gain insights into the underlying dynamics of the market, which can inform trading, regulatory decisions, and risk management strategies**

Πώς ο εκθέτης Hurst μπορεί να επεξηγήσει την κλιμάκωση και τελική έκρηξη του Ρωσο-Ουκρανικού Πολέμου ?? (How can Hurst exponent explain the turmoil in energy prices due to Russian invasion in Ukraine??)

Ο Hurst μπορεί να μας δώσει μια πολύτιμη προοπτική της εν λόγω κρίσης, μέσω της ανάλυσης **της επίπτωσής της στην ευστάθεια και προβλεψιμότητα των μεταβολών των τιμών. Να μερικές προτάσεις !!!**

1. Κατανόηση Μεταβλητότητας (Market Turbulence)
2. Επίπτωση των Γεωπολιτικών κρίσιμων γεγονότων στον εκθέτη Hurst
3. Δυναμική Αγοράς μετά την εισβολή (Post-Invasion Market Dynamics)
4. Ποσοτική Ανάλυση και διαχείριση ρίσκου (Quantitative Analysis and Risk Management)
5. Επιπτώσεις πραγματικού-κόσμου (Real-World Implications)

1. Κατανόηση Μεταβλητότητας (Market Turbulence) :

- **Πρίν την εισβολή (Pre-Invasion Period) ($H > 0.5$):** Before the invasion, if the energy markets exhibited a $H > 0.5$, it would indicate a *stable market with predictable, persistent price trends*. This stability might have been due to a ***well-functioning supply chain, consistent demand, and geopolitical stability***.
- **Μετά την εισβολή (Post-Invasion Period) ($H < 0.5$):** The *invasion disrupted global energy markets*, particularly in *Europe*, where many countries rely on Russian gas and oil. This ***disruption likely caused a shift in the Hurst exponent towards values less than 0.5, indicating increased volatility and unpredictability in energy prices***. The ***market's previous patterns of stability were likely broken (structural breakpoints)***, leading to price swings and increased uncertainty.

Πώς ο εκθέτης Hurst μπορεί να επεξηγήσει την κλιμάκωση και τελική έκρηξη του Ρωσο-Ουκρανικού Πολέμου ?? (How can Hurst exponent explain the turmoil in energy prices due to Russian invasion in Ukraine??) (continued)

2. Επίπτωση των Γεωπολιτικών κρίσιμων γεγονότων στον εκθέτη Hurst (Impact of Geopolitical Shocks on the Hurst Exponent):

- **Αυξημένη μεταβλητότητα (Increased Volatility):** Η εισβολή οδήγησε σε *διακοπές στην αλυσίδα παροχής Φ/Α*, *κυρώσεις στις Ρωσικές εξαγωγές* και έρευνα για εναλλακτικούς ενεργειακούς πόρους. Αποτέλεσμα, περιβάλλον υψηλής μεταβλητότητας με ευρέως κυμαινόμενες τιμές ως απόκριση σε νέα πληροφορία, αλλαγές πολιτικής και διαταράξεις ισορροπίας προσφοράς-ζήτησης. *Ένας εκθέτης Hurst κινούμενος προς η κάτω του μηδενός, την περίοδο αυτή, αντανακλά τις απότομες και τυχαίες μεταβολές τιμών.*
- **Αντιστροφές συμπεριφορών αγοράς (Market Reversals):** Ο εκθέτης $H < 0.5$ δείχνει *αντεμονή-επιστροφή στη μ.τ*, όπου *αυξήσεις τιμών ακολουθούνται από μειώσεις και αντίστροφα*. Η συμπεριφορά αυτή αποτιπώνεται στις ενεργειακές αγορές ως *κορυφώσεις τιμών (price spikes)*, απόκριση σε κάθε νέα εξέλιξη (διακοπή παροχής αγωγού Φ/Α, εμπάρκο κλπ) και κατόπιν *μερική αποκατάσταση* καθώς οι αγορές *προσαρμόζονται* (π.χ. νέες συμφωνίες παροχής Φ/Α, κυβερνητικές παρεμβάσεις).

Πώς ο εκθέτης Hurst μπορεί να επεξηγήσει την κλιμάκωση και τελική έκρηξη του Ρωσο-Ουκρανικού Πολέμου ?? (How can Hurst exponent explain the turmoil in energy prices due to Russian invasion in Ukraine??) (continued)

3. Δυναμική Αγοράς μετά την εισβολή (Post-Invasion Market Dynamics):

- Προσαρμογή και Σταθεροποίηση (Adaptation and Stabilization): As markets began to *adapt* to the *new geopolitical realities* (e.g., **Europe reducing reliance on Russian energy, increased LNG imports, renewable energy investments**), the *Hurst exponent might have gradually returned towards 0.5 or even above it*, indicating a *new form of market stability, though at a higher and more volatile price level than before*.
- Συνεχιζόμενη Αβεβαιότητα (Continued Uncertainty): If the Hurst exponent *remains below 0.5 for an extended period*, it would suggest that *the market is still in a state of flux*, with continued *uncertainty and instability*. This could be due to ongoing geopolitical tensions, unpredictable policy responses, or new disruptions in energy supply.

4. Ποσοτική Ανάλυση και διαχείριση ρίσκου (Quantitative Analysis and Risk Management):

- Προκλήσεις πρόβλεψης (Forecasting Challenges): A *lower Hurst exponent in the post-invasion period* indicates that ***traditional forecasting models based on past trends would be less reliable***. The energy market's behavior would be dominated by *short-term reactions* to events, making it challenging to predict prices.
- Διαχείριση ρίσκου (Risk Management): *Energy companies, traders, and policymakers* would ***need to adapt their risk management strategies in response to the lower Hurst exponent***. This might involve *hedging* against extreme price fluctuations, *diversifying energy sources*, or *increasing reserves* to *buffer against supply disruptions*.

Πώς ο εκθέτης Hurst μπορεί να επεξηγήσει την κλιμάκωση και τελική έκρηξη του Ρωσο-Ουκρανικού Πολέμου ?? (How can Hurst exponent explain the turmoil in energy prices due to Russian invasion in Ukraine??) (continued)

5. Επιπτώσεις πραγματικού-κόσμου (Real-World Implications):

- **Πολιτική και Ρύθμιση (Policy and Regulation):** Governments and regulatory bodies (RAE in Greece) might use the Hurst exponent to *monitor market stability and intervene*, when necessary, for example, by implementing **price caps**, releasing **strategic reserves**, or supporting **alternative energy sources to reduce volatility**.
- **Επενδυτικές Αποφάσεις (Investment Decisions):** Investors could use the Hurst exponent to *assess the risk of energy-related investments during this period*. **A lower Hurst exponent** would signal a **higher-risk environment**, potentially leading to *more conservative investment strategies* or a focus on assets *less correlated with energy prices*.

Conclusion:

The *turmoil in energy prices due to the Russian invasion of Ukraine* can be explained through the lens of the *Hurst exponent* by showing **how the invasion disrupted market stability and increased volatility**. A **shift in the Hurst exponent from a stable, persistent value ($H > 0.5$) to a more volatile, anti-persistent value ($H < 0.5$)** reflects the significant impact of **geopolitical shocks** on energy markets, highlighting the challenges in **forecasting and managing risks** during such turbulent times

Εργαλείο 2. Mutual Information and PMIME approach for detecting directed causality between TTF and electricity prices.

Απαραίτητη βιβλιογραφία

Papana A., Kugiumtzis D. Ditection of direct causal effects and applications to epileptic electroencephalogram analysis. International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 22, No. 9 (2012) 1250222 (7 pages).

Kugiumtzis D., "[Direct coupling information measure from non-uniform embedding](#)", *Physical Review E*, Vol 87, 062918, 2013 [[arxiv: 1305.6204](#)] [[the algorithm in matlab](#)]

Papapetrou, M.; Siggiridou, E.; Kugiumtzis, D. Adaptation of Partial Mutual Information from Mixed Embedding to Discrete-Valued Time Series. *Entropy* **2022**, *24*, 1505. <https://doi.org/10.3390/e24111505>

Fotiadis, A.; Vlachos, I.; Kugiumtzis, D. **Detecting Nonlinear Interactions in Complex Systems: Application in Financial Markets**. *Entropy* 2023, *25*, 370. <https://doi.org/10.3390/e25020370>
(PMIME used for detecting **Structural Breaks** in a VAR process) !!!!!!!

Το μέτρο PMIME τύπου Granger

Η εντροπία μεταφοράς (**transfer entropy, TE**) ποσοτικοποιεί την **αιτιότητα (Causality)** από μια **διεγείρουσα (driving)** μεταβλητή X_1 σε μια **αποκρίνουσα (response)** μεταβλητή X_2 , μιας διμεταβλητής χρονοσειράς $\{x_{1,t}, x_{2,t}\}, t=1, \dots, n$

- Η TE ορίζεται από την **δεσμευμένη αμοιβαία πληροφορία (conditional mutual information)** ως :

$$TE_{x_1 \rightarrow x_2} = I(x_{2,t+1}; \mathbf{x}_{1,t} | x_{2,t})$$

όπου το **διάνυσμα εμβύθισης** $\mathbf{x}_{1,t}$ περιέχει την πληροφορία της X_1 από το παρόν στο παρελθόν, ορισμένη απλώς ως την μέγιστη καθυστέρηση L ,

$$\mathbf{x}_{1,t} = [x_{1,t}, x_{1,t-\tau}, \dots, x_{1,t-(L-1)\tau}]$$

(για σήματα διακριτού χρόνου, $\tau=1$).

- Η **μερική (partial) εντροπία μεταφοράς (PTE)**, επεκτείνει την TE τη παρουσία άλλων παρατηρούμενων μεταβλητών $Z = [X_3, \dots, X_k]$, και μετράει την **απ'ευθείας (direct)** αιτιότητα της X_1 σε X_2

$$PTE_{x_1 \rightarrow x_2} = I(x_{2,t+1}; \mathbf{x}_{1,t} | x_{2,t}, Z_t)$$

Το μέτρο PMIME τύπου Granger

- Η ΡΤΕ ποσοτικοποιεί την πληροφορία στο παρόν και παρελθόν της X_1 , ενώ εξηγεί την μελλοντική τιμή της X_2 που **δέν περιέχεται** ήδη στο παρόν και παρελθόν της καθε μιας άλλης μεταβλητής (X_2 και τών άλλων $k-2$ μεταβλητών).
- Μολονότι εννοιολογικά η ΡΤΕ είναι κατάλληλη για την μέτρηση της **απ'ευθείας (direct)** αιτιότητας, **στην πράξη δέν είναι κατάλληλη** λόγω αδυναμίας υπολογισμού της CMI για μεγάλα K η L η και τα δύο μαζί.
- Το PMIME αντιμετωπίζει το **πρόβλημα της διαστατικότητας**, λόγω χρήσης των K διανυσμάτων εμπύθισης, το καθε ένα με L συνιστώσες (μεταβλητές υστέρησης). Το PMIME δημιουργεί προοδευτικά το **μικτό διάνυσμα εμπύθισης (mixed embedding vector)**, w_1 , που περιέχει τις **πλέον πληροφοριακές μεταβλητές υστέρησης**, για την μελλοντική τιμή της X_2 ($x_{2,t+1}$), σε σχέση με ένα μικρό υποσύνολο του συνόλου όλων των KL μεταβλητών υστέρησης.
- Το w_1 μπορεί να περιέχει μεταβλητές της διεγείρουσας X_1 , της αποκρίνουσας X_2 και τών υπόλοιπων μεταβλητών Z , δηλαδή των $w_t^{x_1}$, $w_t^{x_2}$, w_t^Z . Η **προβλεπτική πληροφορία** της X_2 αποκλειστικά απο την X_1 , ποσοτικοποιείται ως

$$I(x_{2,t+1}; w_t^{x_1} || w_t^{x_2}, w_t^Z)$$

(Κανονικοποιημένη απο την αμοιβαία πληροφορία $x_{2,t}$ και w_t).

Το μέτρο PMIME τύπου Granger

Τελικά η PMIME ορίζεται ως εξής :

$$PMIME_{x_1 \rightarrow x_2} = \frac{I(x_{2,t+1}; w_t^{x_1} | w_t^{x_2}, w_t^Z)}{I(x_{2,t+1}; \mathbf{w}_t)}$$

- Η PMIME (υπολογισμένη για κάθε κατευθυνόμενο ζεύγος των K μεταβλητών) , παρέχει τον **Πίνακα Γειτνίασης (adjacency matrix)** , εάν θετικές τιμές =1, και συνεπώς το αντίστοιχο **δίκτυο αιτιότητας(Causality network)** των σταθμισμένων (weighted) η διαδικτών (binary) συνδέσεων, αντίστοιχα.

Δίκτυα Αιτιότητας απο την PMIME (Causality networks from PMIME)

Δείκτες Δικτύου Αιτιότητας PMIME

- Χρησιμοποιούνται για τον *έλεγχο ύπαρξης μη-γραμμικής αιτιότητας (nonlinear causality)*
- Υπολογίζονται στα δίκτυα αιτιότητας του PMIME
- ✓ μια **σύνδεση (connection)** υφίσταται εάν $PMIME > 0$ και οι **σταθμισμένες (weighted)** συνδέσεις είναι οι τιμές PMIME
- ✓ οι δείκτες αναφέρονται στις *πρώτες και δεύτερες ροπές* του **βαθμού (degree, K)** και της **έντασης (Strength, S)** του δικτύου:
 - Μέση τιμή, $ave(K)$, τυπική απόκλιση, $SD(K)$, του κάθε κόμβου (node), για **δυναμικές (binary) συνδέσεις**
 - $Ave(S)$, $SD(S)$, της έντασης του κάθε κόμβου, για σταθμισμένες συνδέσεις
- ✓ **Ένταση** : άθροισμα των εισρεοντων σε και εκρεοντων απο ένα κόμβο δυναμικών η σταθμισμένων συνδέσεων, αντίστοιχα
- **Για την PMIME, η παρουσία όρων υστέρησης (Lag terms) της διεγείρουσας (driving) μεταβλητής στο μικτό διάνυσμα εμφύθησης υποδεικνύει την ύπαρξη αιτιακής αιτιότητας της μεταβλητής αυτής στην μεταβλητή απόκρισης (response), με συνεισφορά των lag terms ανάλογη της σταθμισμένης σύνδεσης που παρέχεται απο την PMIME.**

Δίκτυα Αιτιότητας απο την PMIME (Causality networks from PMIME)

Ελεγχος μη-γραμμικής αιτιότητας (Test for nonlinear causality)

Παραγωγή τυχαιοποιημένης πολυμεταβλητής (K) χρονοσειράς (**surrogate** multivariate time series), συνεπή με την μηδενική υπόθεση :

- H_0 : Το σύστημα που παράγει τις K χρονοσειρές ΔΕΝ περιέχει καθόλου μη-γραμμικές αλληλεπιδράσεις, παρα μόνο γραμμικές, αιτιακές σχέσεις μεταξύ των K μεταβλητών.
- Η αιτιακή δομή της PMIME της αρχικής (οχι της surrogate) χρονοσειράς παραμένει ΙΔΙΑ εάν η αρχική χρονοσειρά ΔΕΝ περιέχει μη-γραμμική αιτιότητα, ενώ στην περίπτωση που περιέχει, η δομή της αιτιότητας παραγόμενη απο την PMIME είναι διαφορετική και θα μπορούσε να διατηρηθεί απο την τυχαιοποίηση.

Ανίχνευση της δομικής απότομης αλλαγής (structural breakpoint) μέσω PMIME

- **Στασιμότητα (Stationarity)** : μια *σημαντική υπόθεση* στην ανάλυση χρονοσειρών. Οι στατιστικές ιδιότητες *δεν αλλάζουν* στο χρόνο. Η αρχή αυτή παραβιάζεται , κατα κόρο στην ανάλυση *πραγματικών* χρονοσειρών, λόγω κυρίως της μεταβολής της υποκείμενης δυναμικής (change of underlying dynamics)

- **Δομική αλλαγή (Structural change – Breakpoint or Changepoint)** αντικείμενο μελέτης **πολύπλοκων συστημάτων**

Εφαρμογές σε : Χανάλυση Χρημαγορών, brain sciences , oceanography, etc.

- Η μη-γραμμική αιτιότητα μπορεί να *αναδύεται* και *εξαφανίζεται* (αμφίδρομη δομική αλλαγή)
- Μια *δομική αλλαγή ανιχνεύεται* εάν, για δύο διαδοχικά ‘παράθυρα’ της χρονοσειράς, η μηδενική υπόθεση H_0 δεν μπορεί να απορριφθεί κατα τον έλεγχο ύπαρξης μη-γραμμικής αιτιότητας, ενώ αυτή *απορρίπτεται στο αμέσως τρίτο ‘παράθυρο’*, αναδεικνύοντας την **ύπαρξη μη-γραμμικής αιτιότητας** (Fotiadis A., et al., 2023, Entropy).
- Δομική αλλαγή , στο *στατιστικό πλαίσιο*, ισοδυναμεί με παραβίαση της στασιμότητας, και εκφράζεται ως *σημείο απότομης αλλαγής* χαρακτηριστικών της χρονοσειράς , όπως αλλαγή μέσης τιμής της *τάσης* (trend) , *παραμέτρων εποχικότητας*, (seasonality), *μεταβλητότητας* (volatility) , *αλλαγές ροπών 1^{ης}, 2^{ης} τάξης* (mean, variance, autocovariance) , μέσω πληθώρας ελεγχων όπως
 - ❖ **Chow test, CUSUM test , Bai-Perron Test, Kernel estimators** (παραδοσιακοί έλεγχοι)
 - ❖ Πρόσφατα μέτρα αλληλεξάρτησης σε πολυμεταβλητές χρονοσειρές : **Granger Causality, PMIME** (innovative approaches)

Ανίχνευση μη γραμμικών αλληλεπιδράσεων που ‘κυβερνούν’ υποκείμενους μηχανισμούς τών χρηματοοικονομικών συστημάτων , μέσω PMIME

Vlachos, I.; Kugiumtzis D., Phys. Rev. E 2010, 82;
Kugiumtzis , D., Phys. Rev. E 2013, 87

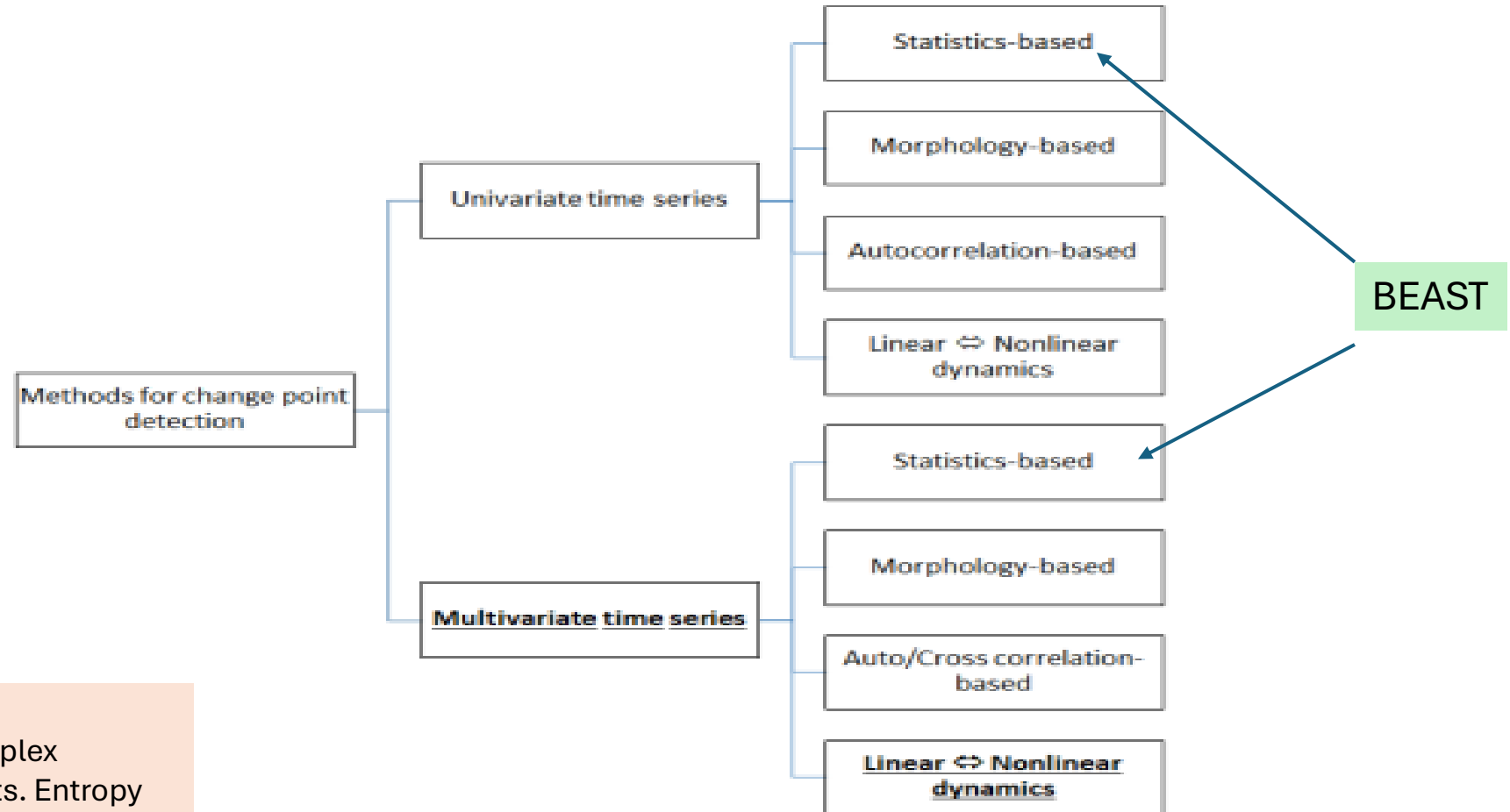
Κύρια υπόθεση

Πριν απο *κάθε γεγονός μιας αποτομής αλλαγής (breakpoint)* σε ένα πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, θα μπορούν *να αναδυθούν-ενεργοποιηθούν η αντίθετα να εξαλειφθούν ‘κρυμμένες’ (αλλά υπάρχουσες) μη γραμμικές αιτιότητες, η ακόμα να ενδυναμωθούν* (Salim et al., 2017;, Purica I., 2015)

Η PMIME ανιχνεύει τις απ’ευθείας (direct) επιδράσεις αιτιότητας, και ταυτοχρονα χρισιμεύει ως στατιστικός ελεγχος της μηδενικής υπόθεσης

H0 : Δεν υπάρχουν μη-γραμμικές αιτιακές επιδράσεις στο πολύπλοκο σύστημα που εξετάζουμε

The main categories of the methods used for change-point detection in univariate and multivariate time series

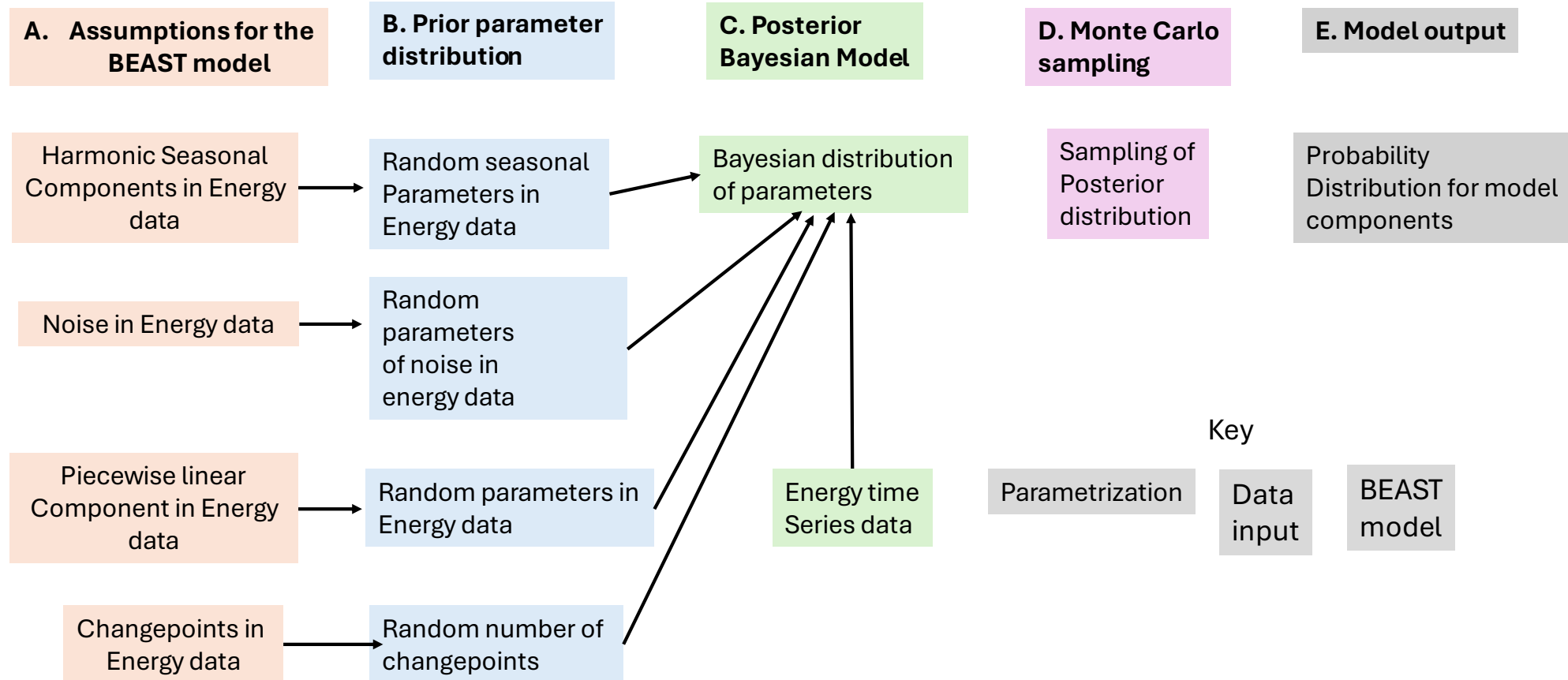


Fotiadis, A.; Vlachos, I.; Kugiumtzis, D.
Detecting Nonlinear Interactions in Complex
Systems: Application in Financial Markets. Entropy
2023, 25, 370. <https://doi.org/10.3390/e25020370>

From Fotiadis et al., 2023 . ‘The main categories of the methods used for change-point detection in univariate and multivariate time series. Our proposed methodology detects structural breaks in multivariate time series by the emergence or the diminishing of nonlinear effects, thus it belongs to the subcategory in **bold font**

3. BEAST analysis

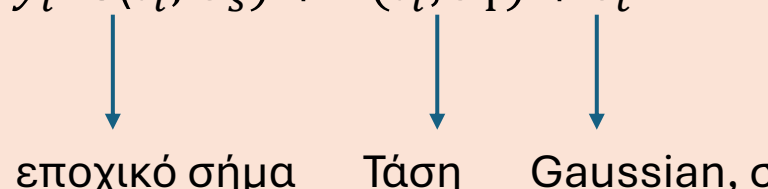
Schematic presentation of the BEAST approach and modeling of Energy time series data



Παραμετρική μορφή του Bayesian Estimator of Abrupt change, Seasonal change, and Trend (BEAST) για ανάλυση χρονοσειράς

Στόχος η ανάλυση μιας χρονοσειράς, $T=\{t_i, y_i\}, i = 1, \dots, n$ σε συνιστώσες: **εποχικότητας (seasonality)**, **Τάσης (trend)**, **απότομων (δομικών) αλλαγών (change points or breakpoints or abrupt changes)**, και **Θορύβου**

$$y_i = S(t_i; \Theta_S) + T(t_i; \Theta_T) + \varepsilon_t \quad (1)$$



εποχικό σήμα Τάση Gaussian, σ

1. Εποχικότητα (Seasonality) (piecewise harmonic model)

$$S(t) = \sum_{l=1}^{L_k} \left[a_{k,l} \sin\left(\frac{2\pi l t}{P}\right) + b_{k,l} \cos\left(\frac{2\pi l t}{P}\right) \right], \xi_k \leq t \leq \xi_{k+1}, k = 0, \dots, p$$

p κόμβοι (knots), ξ_k , συμβολίζουν changepoints, P : περίοδος, L_k : harmonic order, $a_{k,l}$, $b_{k,l}$: παραμετροι για $\sin()$, $\cos()$.

2. Τάση (Trend)

$$T(t) = a_j + b_j t \quad \text{για } \tau_j \leq t \leq \tau_{j+1}, j=0, \dots, m$$

BEAST

Σύνολα παραμέτρων
Τάσης Θ_T , και εποχικότητας Θ_S

$$\rightarrow \{\Theta_T, \Theta_S\} = \{M, \beta_M\}$$

Δομή Μοντέλου
changepoints τάσης &
Εποχικότητας, harmonic orders

Συντελεστές-παράμετροι
για κάθε ξεχωριστό τμήμα
τών καμπυλών τάσης & εποχικότητας

Εξάρτηση
απο δομή
μοντέλου

$$\beta_M = \{a_j, b_j\}, j = 0, \dots, m \cup \{a_{k,j}, b_{k,j}\}, k = 0, \dots, p; l=1, \dots, L_k$$

Η εξίσωση (1) γίνεται

$$y(t_i) = X_M(t_i) \beta_M + e_t \quad (2)$$

- Στη μοντελοποίηση κατα bayes, ΟΛΟΙ οι παράμετροι θεωρούνται τυχαίοι (δομή M , συνετεστές β_M , σ^2)
- Δεδομένης χρονοσειράς $T = \{t_i, y_i\}, i = 1, \dots, n$ ο στόχος είναι να εκτιμήσουμε ΟΧΙ ΜΟΝΟ τις τιμές των παραμέτρων αυτών αλλά πιο σημαντικά, την **εκ των υστέρων (posterior) κατανομή πιθανότητάς τους** $p(\beta_M, \sigma^2, M | T)$

Φορμαλισμός Bayes του BEAST

Απο το **Θεώρημα Bayes**, η **μεταγενέστερη (posterior) κατανομή** είναι το γινόμενο της **συνάρτησης πιθανοφάνειας (Likelihood)** και του **προηγούμενου μοντέλου (prior) M**

$$p(\beta_M, \sigma^2, M|T) \propto p(T|\beta_M, \sigma^2, M) \pi(\beta_M, \sigma^2, M)$$

Η **συνάρτηση πιθανοφάνειας** $p(T|\beta_M, \sigma^2, M)$ εκφράζει τη πιθανότητα να παρατηρήσουμε τα δεδομένα της χρονοσειράς T , δεδομένων των παραμέτρων του μοντέλου β_M, σ^2, M , το οποίο γράφεται $y = x_M \beta_M + \varepsilon$.

Λόγω της κανονικής κατανομής του ε , η πιθανοφάνεια είναι απλά Gaussian

$$p(T|\beta_M, \sigma^2, M) = \prod_{i=1}^n N(y_i; x_M(t_i); \sigma^2)$$

(οπου $N()$ Normal κατανομή)

Φορμαλισμός Bayes του BEAST

Εξ ορισμού $\pi(\beta_M, \sigma^2, M) = (\beta_M, \sigma^2 | M) \cdot \pi(M)$ = κωδικοποίηση **ΟΛΗΣ της υπάρχουσας πληροφορίας** η των **πεποιθήσεών μας** για τις πιθανές τιμές των παραμέτρων του μοντέλου.

Γενικά, ελλειπής η ασαφής πληροφορία, οπότε οι κατανομές θα είναι επίπεδες (flat), non-informative.

Η $\pi(\beta_M, \sigma^2 | M)$ είναι η **δεσμευμένη προηγούμενη κατανομή** (conditional prior distribution), **ενώ η $\pi(M)$ το προηγούμενο μοντέλο** (prior model).

Για την $\pi(\beta_M, \sigma^2 | M)$: επιλέγω την **Normal-Inverse Gamma distribution**, προσθέτοντας μια επιπλέον **υπερπάρμετρο διάχυσης (diffusion)**, ν , λόγω της ασαφούς γνώσης για τους β .

Για την $\pi(M)$: το πλήθος των *changepoints* είναι ακέραιος, θετικός, **ισοπίθανο** στην prior κατανομή

Τελικά, η **μεταγενέστερη κατανομή (posterior)** των παραμέτρων του μοντέλου γίνεται

Φορμαλισμός Bayes του BEAST

Extra **dispersion** hyperparameter
Reflects the vague knowledge of the
Magnitude of $\beta_{\mathbf{M}}$

Conditional prior
(normal-inverse Gamma) Model prior

$$p(\beta_{\mathbf{M}}, \sigma^2, \nu, \mathbf{M} | T) \propto \prod_{i=1}^n N(y_i; X_M(t_i) \beta_{\mathbf{M}}, \sigma^2) \pi_{\beta}(\beta_{\mathbf{M}}, \sigma^2, \nu | \mathbf{M}) \pi(\mathbf{M})$$

Posterior of model parameters

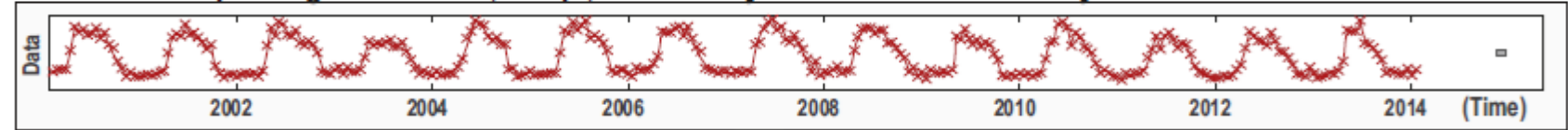
Likelihood (N , Gaussian)

Prior distribution
Of model parameters

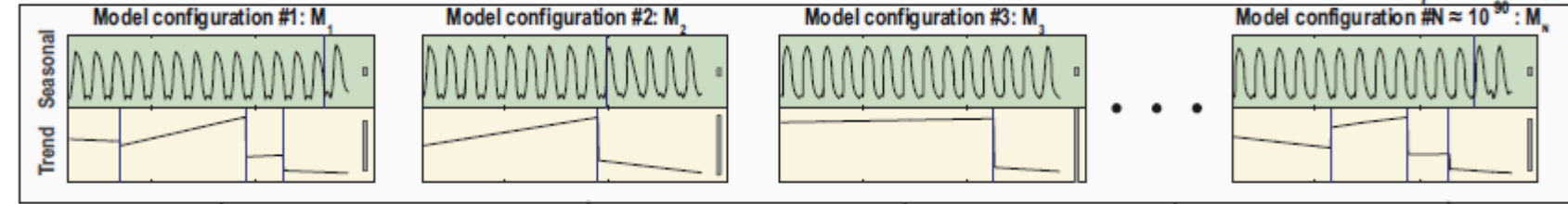
- Η **posterior κατανομή**, κωδικοποιεί **όλη** την πληροφορία που είναι σημαντική για την εξαγωγή **συμπερασμάτων** (inferences) για την δυναμική του συστήματος που αναλύουμε.
- Αναλυτικά **δυσεπίλυτη η Likelihood**, χρησιμοποιούμε **Markov Chain Monte Carlo (MCMC)** για sampling (ενσωματώνει reverse jump, MCMC sampler στο πλαίσιο δειγματοληψίας Gibbs).

BEAST

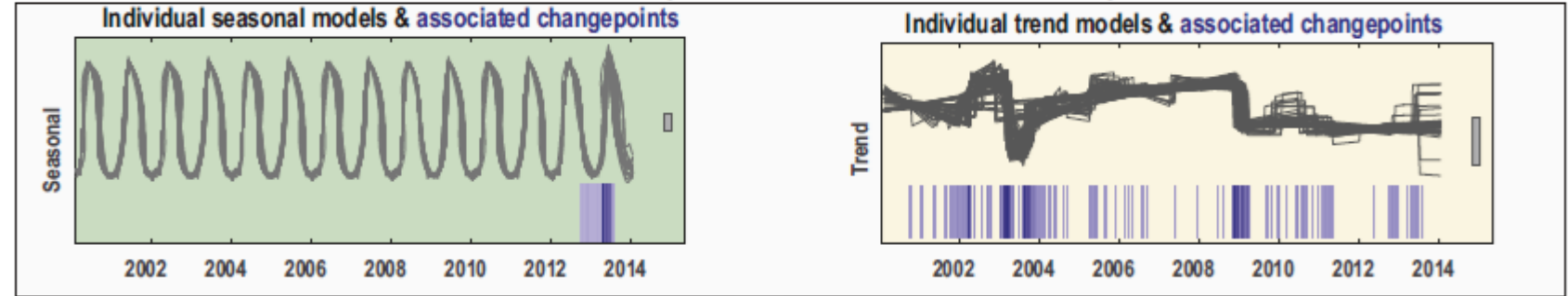
A time series capturing the seasonal, abrupt, and trend dynamics of the observed system



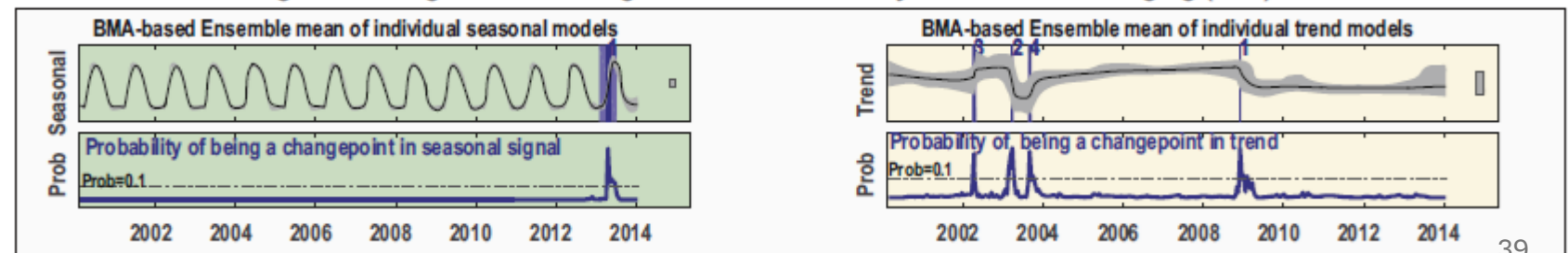
The time series can be decomposed to uncover seasonal and trend signals via numerous alternative models ($M_i, i=1, \dots, N$)



All the models are useful to some extent. Combining them is often better than choosing a so-called best model



Model usefulness can be quantified by a Bayesian posterior probability $p(M_i | \text{data}) \propto p(\text{data} | M_i) p(M_i)$, allowing us to combine all models into a weighted average model—an algorithm known as Bayesian model averaging (BMA)

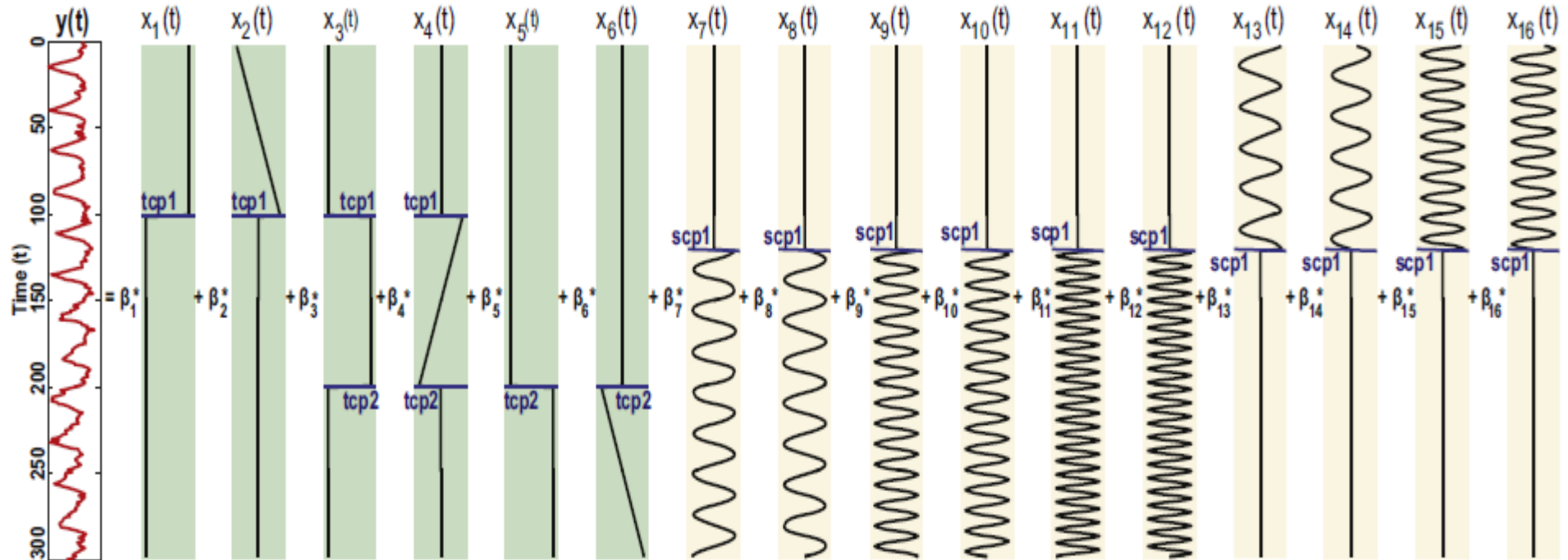


Εκ τών υστέρων
(Posterior)συμπερασματολογία
των δομικών αλλαγών
(structural
changepoints/breakpoints)

- Ο αλγόριθμος MCMC παράγει μια αλυσίδα posterior samples μήκους $N, \{\mathbf{M}^{(i)}, \boldsymbol{\beta}_M^{(i)}, \sigma^{2(i)}, \nu^{(i)}\}, i=1, \dots, N$, που 'συλαμβάνει' όλη την πληροφορία, σημαντική για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την δυναμική του υποκείμενου συστήματος (π.χ. Ενεργειακών, χρηματοοικονομικών χρονοσειρών), που αναλύουμε.

BEAST

Η δειγματοποιημένη (sampled) δομή του μοντέλου $\{M^{(i)}\}$, όπως π.χ. οι χρονικές στιγμές που συμβαίνουν τα Changepoints & οι τάξεις (orders) των αρμονικών (harmonics), μεταφράζονται σε συμμεταβλητές (covariates) $X_{Mi}(t)$ του μοντέλου



BEAST adopts a general linear model for time-series decomposition:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 + \beta_9 x_9 + \beta_{10} x_{10} + \beta_{11} x_{11} + \beta_{12} x_{12} + \beta_{13} x_{13} + \beta_{14} x_{14} + \beta_{15} x_{15} + \beta_{16} x_{16}$$

Matrix Form $\rightarrow y = X_M \beta_M$ where model structure $M = \left\{ \begin{array}{l} \text{number \& timings of trend changepoints (tcp),} \\ \text{number \& timings of seasonal changepoints (scp),} \\ \text{harmonic orders of individual seasonal segments} \end{array} \right\}$

| | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|--|--|
| 1st trend segment | 2nd trend segment | 3rd trend segment | 1st seasonal segment (3rd-order harmonic: 6 terms) | 2nd seasonal segment (2nd-order harmonic: 4 terms) |
|-------------------|-------------------|-------------------|--|--|

- Κάθε δειγματοποιημένο μοντέλο $M^{(i)}$ παρέχει μια εκτίμηση της δυναμικής της τιμής (price) $X_M(t_i)\beta_M$
- Ο συνδυασμός των εκτιμήσεων δέν δίνει μόνο ένα τελικό **BMA (Bayesian Model Average)**, αλλά ταυτόχρονα και τα **μέτρα αβεβαιότητας**

Μέση τιμή μοντέλου
Bayes Model Average
(BMA)

$$\text{BMA} : \hat{y}(t) \cong \sum_{i=1}^N X_{M^{(i)}}(t) \beta_{M^{(i)}} / N$$

Διακύμανση η
Μέτρο αβεβαιότητας

$$\widehat{\text{var}}[\hat{y}(t)] \cong \sum_{i=1}^N [X_{M^{(i)}}(t) \beta_{M^{(i)}} - \hat{y}(t)]^2 / N - 1$$

- Οι εξαχθείσες από τις MCMC **αλυσίδες** (της δειγματοποιημένης δομής του μοντέλου $\mathbf{M}^{(i)}$), $\{m^{(i)}\}, i = 1, \dots, N$ και η $\{p^{(i)}\}$, παρέχουν την εμπειρική κατανομή του αριθμού τών changepoints στις καμπύλες Τάσης και εποχικότητας, αντίστοιχα.
- Άρα Μέσες τιμές συνολικών αριθμών changepoints **τάσης** και **εποχικότητας**:

$$\bar{m} = \sum_{i=1}^N \frac{m^{(i)}}{N} \quad \bar{p} = \sum_{i=1}^N \frac{p^{(i)}}{N}$$

Εάν $\{L_{k=0, \dots, p^{(i)}(i)}\}, i=1, \dots, N$ η αλυσίδα ξεχωριστών τάξεων αρμονικότητας, τότε η **μέση τάξη** $\bar{L}(t)$, αναγκαία για

την Προσεγγιστική εκτίμηση της εποχικότητας ανα πάσα στιγμή t είναι $\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^N L_{k_i}^{(i)}}{N}$, $t \in [\xi_{k_i}^{(i)}, \xi_{k_{i+1}}^{(i)}]$

- Οι αλυσίδες $\{\tau_{\kappa=1,\dots,m^{(i)}(i)}, \xi_{\kappa=1,\dots,p^{(i)}(i)}\}, i=1,\dots,N$

τών ακριβών (exact) χρονικών στιγμών (timings) που συνέβησαν οι **δομικές απότομες αλλαγές (changepoints)**, στις καμπύλες τάσης και εποχικότητας, χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της πιθανότητας ότι ένα changepoint συμβαίνει σε χρόνο t_s , η εντός ενός διαστήματος $[t_s, t_e]$, μετρώντας την συχνότητα δειγμάτων

$$p(\text{changepoint at } t_s \text{ or in } [t_s, t_e]) \cong \frac{\# \text{ τών } M^{(i)} \text{ που περιλαμβάνει την } t_s \text{ η βρίσκεται εντός } [t_s, t_e]}{N}$$

- Ένα changepoint με εκτιμώμενη πιθανότητα 3% να συμβεί, είναι λιγότερο πιθανό να παριστά μία αληθή αποτομη αλλαγή
- *Κάποια ερωτήματα στα οποία απαντά το BEAST και άλλα εργαλεία αδυνατούν :*
 1. Ποία η **δεσμευμένη (conditional) πιθανότητα** να παρατηρήσουμε, σε μια χρονική στιγμή, μια απότομη δομική αλλαγή, στην καμπύλη τάσης, εάν μία άλλη απότομη αλλαγή έχει ήδη συμβεί κάπου αλλού?
 2. Ποία η **απο κοινού (joint) πιθανότητα** να παρατηρήσουμε μια απότομη αλλαγή στην τάση σε μια στιγμή, και μια άλλη απότομη αλλαγή στην καμπύλη εποχικότητας, σε μια άλλη στιγμή?

Αποτελέσματα (results)

A. Ανάλυση HURST & Efficient Market Hypothesis (EMH)

Υπολογισμός ετήσιας & όλης της περιόδου 2018-22 μ.τ
Γενικευμένου Εκθέτηας Hurst (GHE) όλων των αγορών

- Οι αγορές NGNMX & USD/RUB είναι οι **αποτελεσματικότερες** το 2021 & 2022 (financial markets more mature and efficient)
- Την περίοδο 2018-23 ΟΛΕΣ οι **ηλεκτρικές** αγορές είναι **mean reverting** ($H < 0.5$) ενώ οι TTF, NGNMX, USD/RUB περιόδους, ενώ η TTF persistent ($H > 0.5$)

- Οι **υψηλότερες τιμές Hurst παρατηρούνται την χρονιά της κορύφωσης της κρίσης 2022**, μολονότι < 0.5 αλλά 'τείνουν' προς την τιμή αυτή

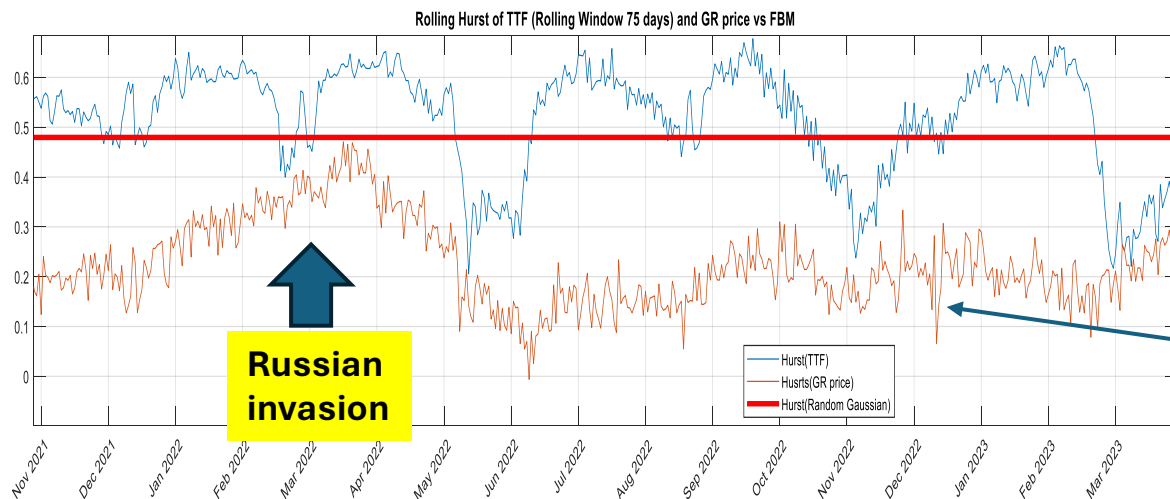
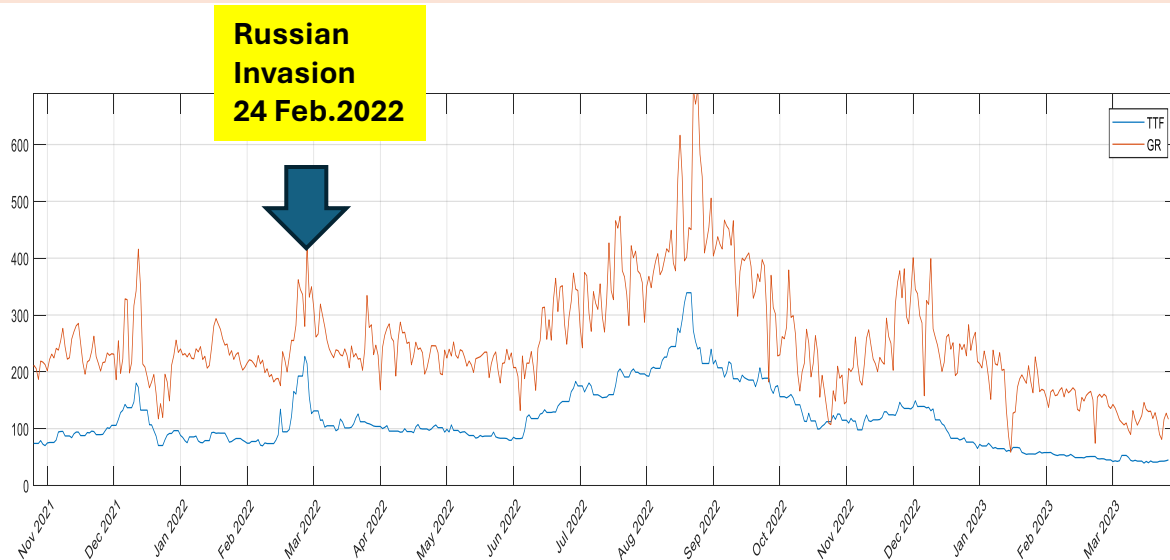
| Market | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 * | 2018-2023 |
|---------|---------------|--------|---------------|---------------|--------|---------------|
| RO | 0.1843 | 0.1444 | 0.1566 | 0.2328 | 0.1460 | 0.2039 |
| BE | 0.1354 | 0.1263 | 0.1758 | 0.2781 | 0.1734 | 0.2371 |
| CZ | 0.1413 | 0.1087 | 0.1822 | 0.2833 | 0.0980 | 0.2251 |
| DK1 | 0.1159 | 0.1175 | 0.1397 | 0.2692 | 0.1478 | 0.2222 |
| ES | 0.2298 | 0.1726 | 0.2807 | 0.2568 | 0.2423 | 0.2591 |
| HU | 0.1900 | 0.1494 | 0.1659 | 0.2811 | 0.0460 | 0.2294 |
| NNL | 0.1509 | 0.1289 | 0.1715 | 0.2795 | 0.1059 | 0.2418 |
| IT | 0.1589 | 0.1396 | 0.1901 | 0.3286 | 0.1707 | 0.2431 |
| GR | 0.1896 | 0.1539 | 0.1640 | 0.2111 | 0.1988 | 0.2046 |
| BG | 0.1438 | 0.1212 | 0.1284 | 0.2021 | 0.1456 | 0.1862 |
| TTF | 0.5125 | 0.6244 | 0.5367 | 0.5768 | 0.3212 | 0.5893 |
| NGNMX | 0.5708 | 0.5297 | 0.5068 | 0.5212 | 0.3554 | 0.5702 |
| USD/RUB | 0.6009 | 0.5473 | 0.5485 | 0.4960 | 0.3627 | 0.5179 |

*Note : H values estimated with reservations, due to a small size of only 90 days (3 months) in 2023

- **$H > 0.5$: Εμονική (persistent) αγορά , με κάποια ευστάθεια και τάσεις (πάνω η κάτω) πιο προβλέψιμες, χαμηλή μεταβλητότητα**
- **$H < 0.5$: αντιεμονική (ani-persistent, mean reverting) αγορά, με υψηλή μεταβλητότητα, χαμηλή ευστάθεια**
- **$H = 0.5$: Efficient (αποτελεσματική) Αγορα με συμπεριφορά Brownian Motion (ασυσχέτιστη διαδικασία) , 'ισχύουν' οι EMH, FMH, μελλοντικές τιμές ανεξάρτητες απο προηγούμενες**

A. Ανάλυση HURST & Efficient Market Hypothesis (EMH)

Rolling Hurst (window=75 days) *of Greek electricity and TTF* gas prices vs. the reference random Gaussian process for which $H=0.5$. The period of escalation of Russo-Ukrainian war is from Nov.2021 - Mar.2022.

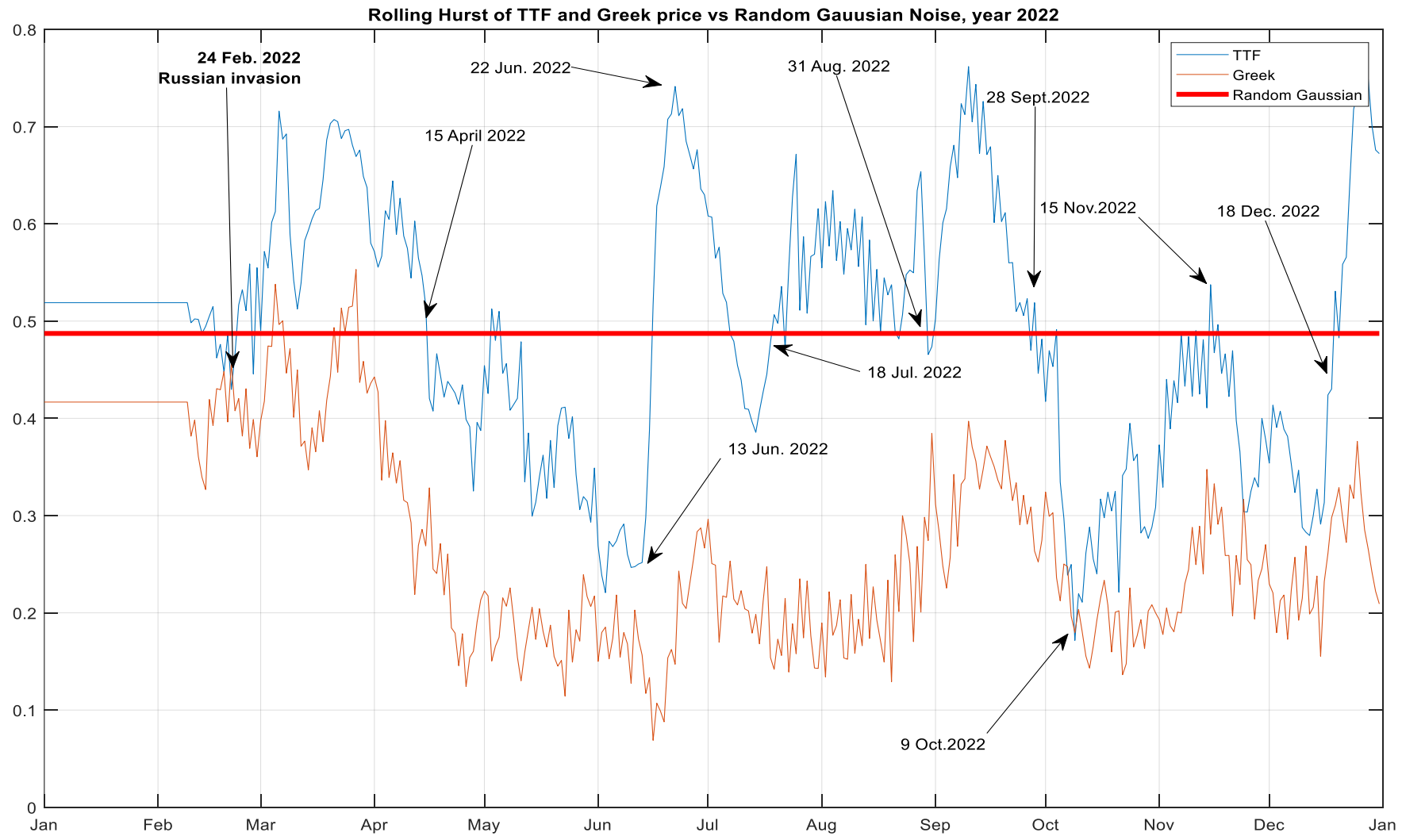


Το κυλιόμενο (rolling) 'παράθυρο' των 75 ημερών επιλέχθηκε με σκοπό να προσεγγίσουμε τον στόχο των βραχυπρόθεσμων λήξεων (maturities) των assets που διαπραγματεύονται **κερδοσκοπικά** οι Traders, σε περιόδους κρίσης, σε αγορές μελλοντικής Εκπλήρωσης (futures)

- Πολυ κοντα στις 24 Feb.2022, απότομη αλλαγη εκθετη του Hurst (απο $H>0.5$ σε $H<0.5$), των σε GR & TTF αγορών, αρα ύπαρξη δομικής απότομης αλλαγής (Breakpoint).
- Οι καμπύλες rolling Hurst, και των δύο αγορών (TTF & GR) , έρχονται πλησιέστερα μεταξύ τους και **'συγκλίνουν'** και οι δύο **πρός την $H=0.5$.**,
- Σε ολη την εξεταζόμενη περίοδο, $H<0.5$ **στην Ελληνική αγορά (μη-αποτελεσματική, ασταθής, υψηλης μεταβλητότητας)**

A. Ανάλυση HURST & Efficient Market Hypothesis (EMH)

Κυλιόμενος δείκτης Hurst TTF & Greek markets για το 2022 (zoom προηγού. Εικόνας)



A. Ανάλυση HURST & Efficient Market Hypothesis (EMH)

a) *TTF and ES (Spanish) price time series*, b) rolling Hurst (window=75 days) of Spanish electricity and TTF gas price vs. the reference random Gaussian process for which $H=0.5$.

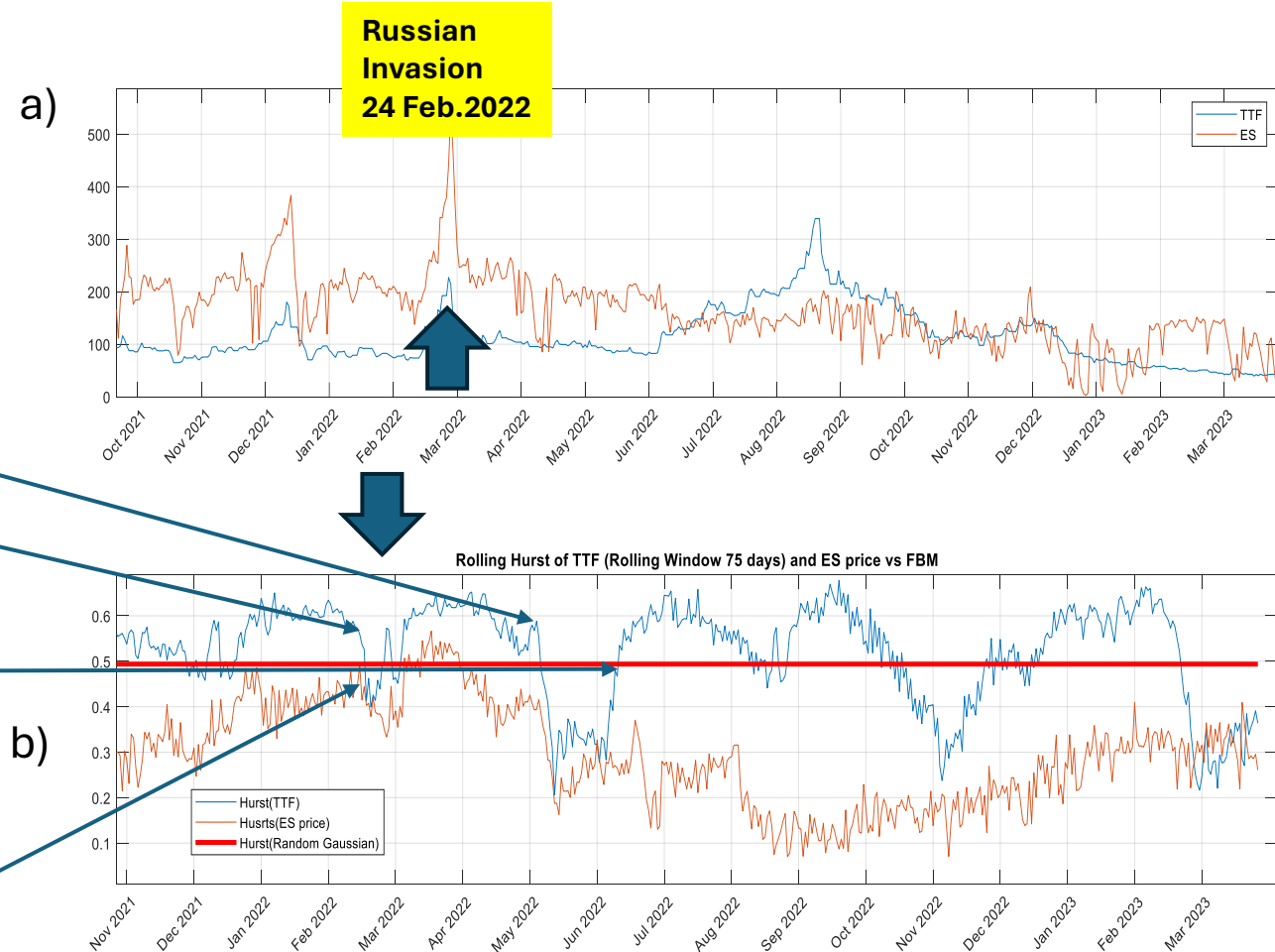
Στήν περίπτωση της Ισπανικής αγοράς Ηλεκτρισμού, ο Hurst προσεγγίζει την EMH τιμή ($H=0.5$), στις 26 Φεβ. 2022, 2 μέρες μετά την Ρωσική εισβολή !!

- Σε ολη την εξεταζόμενη περίοδο, επίσης στην **Ισπανική αγορά $H < 0.5$ (άρα μη-αποτελεσματική, ασταθής, υψηλής μεταβλητότητας)**

Breakpoints : from ***persistent to Mean reverting*** or vice versa as H changes abruptly from $H > 0.5$ to $H < 0.5$

24 Feb. 2022

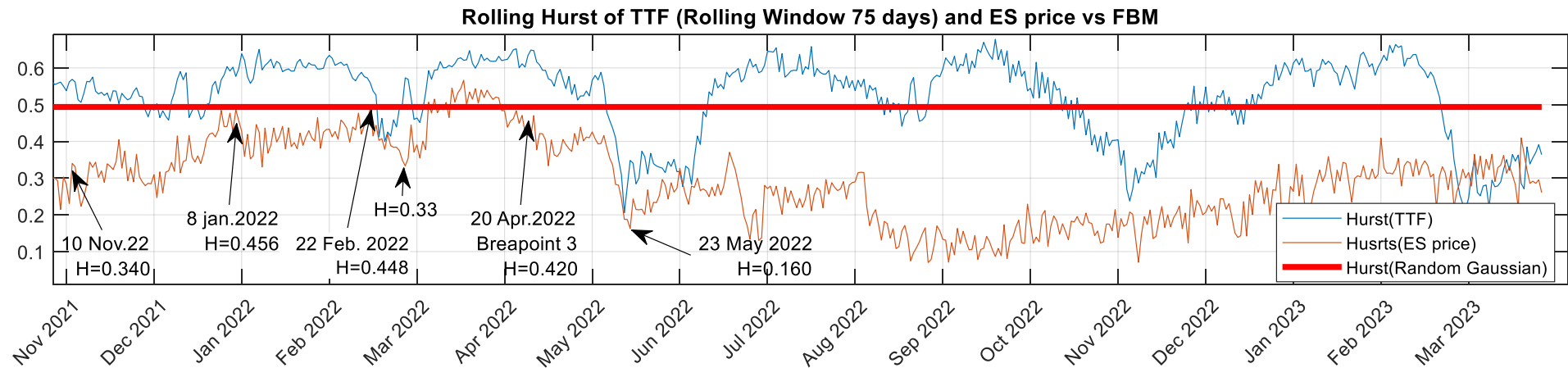
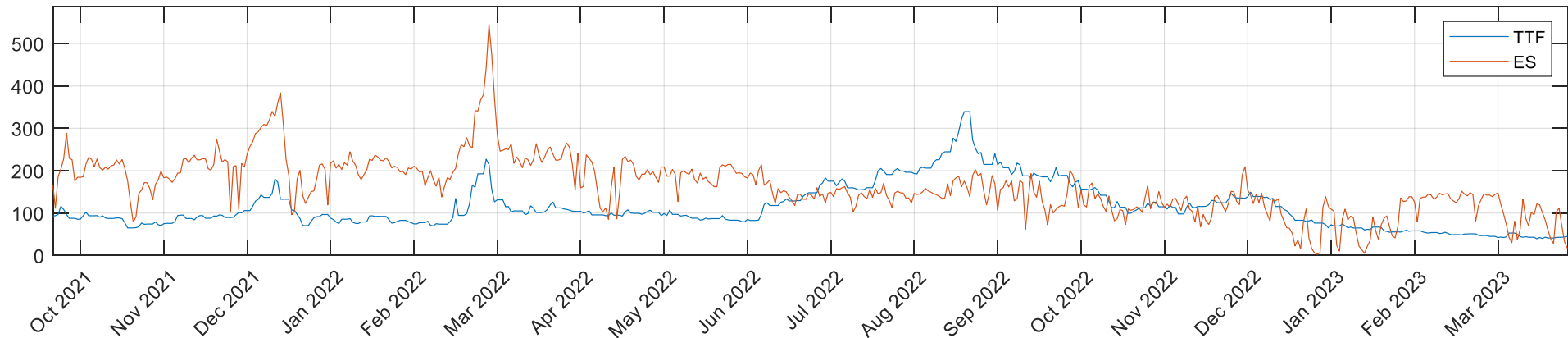
Russian invasion. Markets approach Brownian motion behavior ($H=0.5$)



A. Ανάλυση HURST & Efficient Market Hypothesis (EMH)

a) *TTF and ES (Spanish) price time series*, b) rolling Hurst (window=75 days) of *Spanish electricity and TTF gas price* vs. the reference random Gaussian process for which $H=0.5$.

Some other Breakpoints detected by BEAST, dates and Hurst values BEFORE and AFTER breakpoints

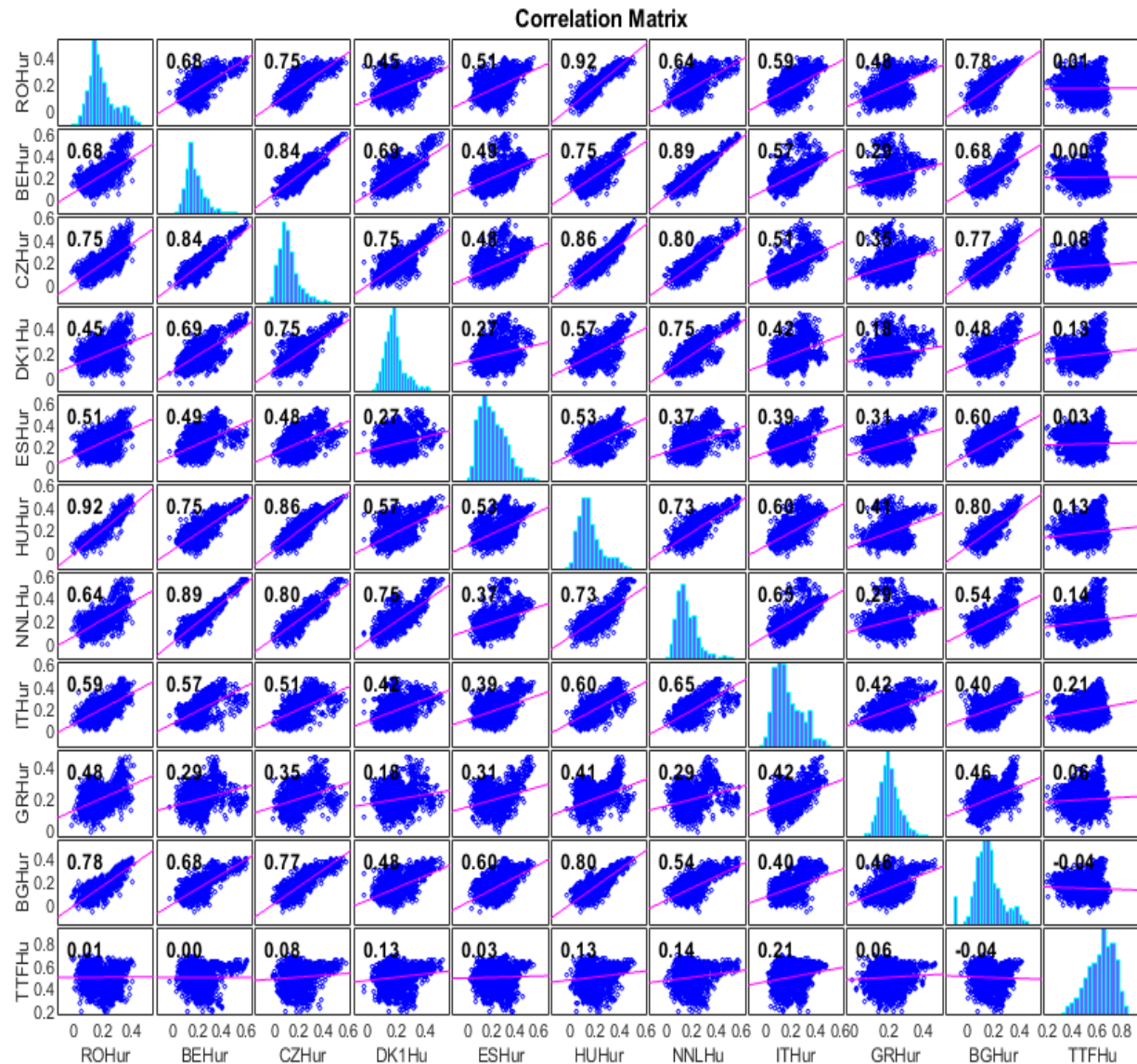


Hurst Exponent values before and after the breakpoints (BP) detected by BEAST (Only three BPs are shown, with high probability of occurrence)

| Market | | BP1 | BP2 | BP3 |
|--------|--------|--------------|--------------|----------------|
| RO | Prob. | 100% | 100% | 99% |
| | Date | 8 Jan. 2022 | 13 Feb. 2022 | 20 April. 2022 |
| | Before | 0.309 | 0.335 | 0.270 |
| | After | 0.385 | 0.260 | 0.050 |
| BE | Prob. | 100% | 99% | 100% |
| | Date | 8 Jan. 2022 | 13 Feb. 2022 | 12 May 2022 |
| | Before | 0.397 | 0.430 | 0.320 |
| | After | 0.470 | 0.330 | 0.115 |
| CZ | Prob. | 100% | 99% | 100% |
| | Date | 1 Jan. 2022 | 10 Feb. 2022 | 12 Apr. 2022 |
| | Before | 0.240 | 0.251 | 0.413 |
| | After | 0.387 | 0.384 | 0.329 |
| DK1 | Prob. | 100% | 100% | 100% |
| | Date | 8 Jan. 2022 | 20 Apr. 2022 | 11 May 2022 |
| | Before | | | |
| | After | | | |
| ES | Prob. | 100% | 100% | 100% |
| | Date | 10 Nov. 2021 | 8 Jan. 2022 | 22 Feb. 2022 |
| | Before | 0.340 | 0.456 | 0.448 |
| | After | 0.247 | 0.330 | 0.330 |

| HU | Prob. | 100% | 100% | 100% |
|-----|--------|--------------|--------------|--------------|
| | Date | 8 Jan 2022 | 27 Apr. 2022 | 2 July 2022 |
| | Before | 0.337 | 0.377 | 0.127 |
| | After | 0.417 | 0.049 | 0.350 |
| NNL | Prob. | 100% | 99% | 100% |
| | Date | 8 Jan. 2022 | 8 May 2022 | 28 June 2022 |
| | Before | 0.265 | 0.284 | 0.273 |
| | After | 0.402 | 0.129 | 0.078 |
| IT | Prob. | 100% | 100% | 100% |
| | Date | 10 Nov. 2021 | 16 Apr. 2022 | 8 June 2022 |
| | Before | 0.133 | 0.374 | 0.081 |
| | After | 0.483 | 0.090 | 0.305 |
| GR | Prob. | 100% | 99% | 99% |
| | Date | 14 Nov. 2021 | 20 Apr. 2022 | 9 July 2022 |
| | Before | 0.165 | 0.372 | 0.206 |
| | After | 0.378 | 0.069 | 0.087 |
| BG | Prob. | 100% | 98% | 100% |
| | Date | 8 Jan. 2022 | 20 Apr. 2022 | 9 July 2022 |
| | Before | 0.232 | 0.376 | 0.044 |
| | After | 0.118 | 0.080 | 0.272 |

A. Ανάλυση HURST & Efficient Market Hypothesis (EMH)



Detection of similarities of the dynamic evolution of the efficiency of the markets.

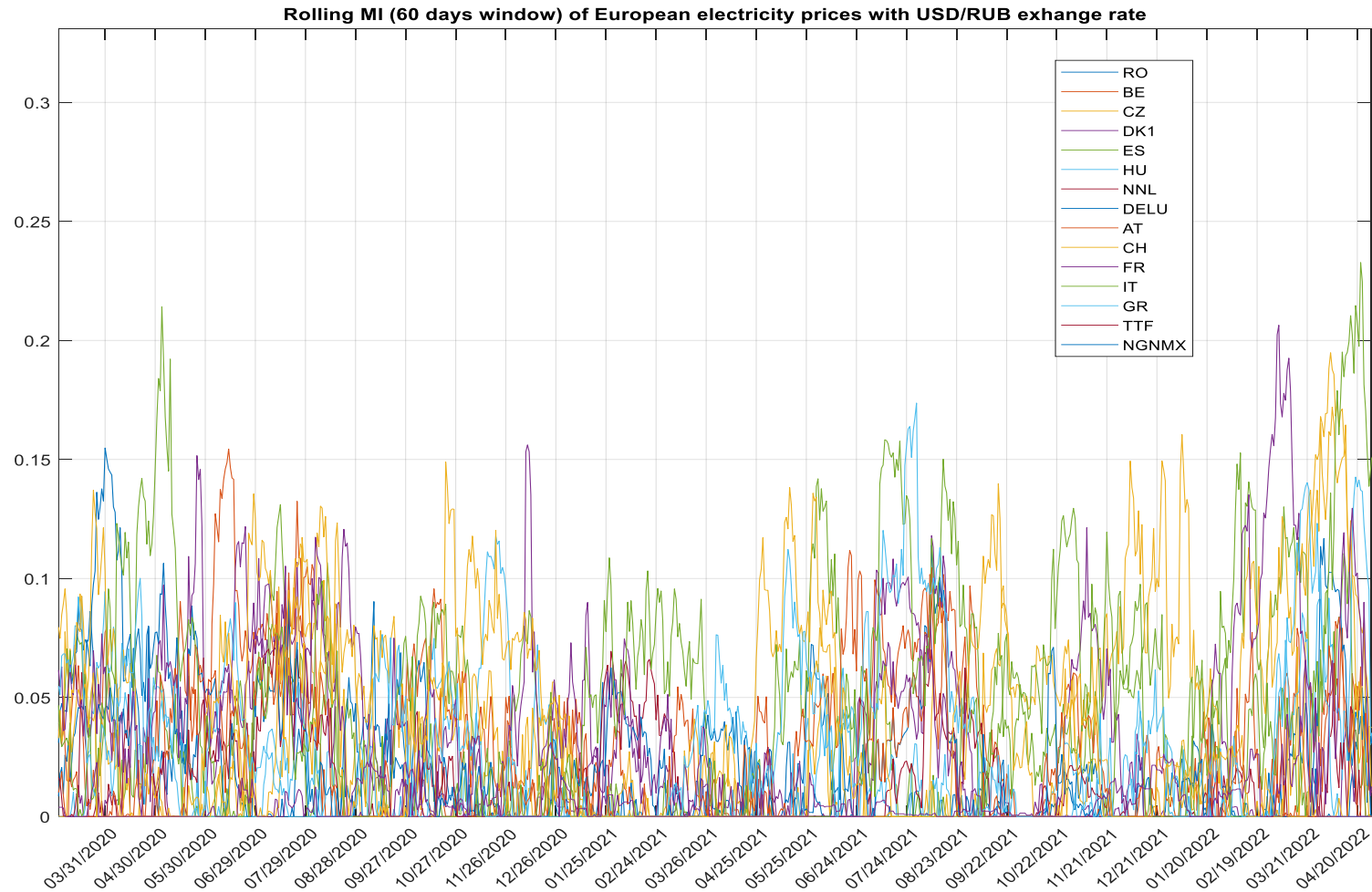
*Correlation matrix of rolling Hurst exponents (window of 75 days) of all energy markets. A large correlation between two markets means that **their efficiency follows a similar dynamic pattern for the period examined.***

We observe that some markets show *very similar* i.e. (correlations > 70%) *efficiency evolutions*: RO-HU 92%, BE-NNL 89%, BE-CZ 84%, HU-BG 80%. An interesting also result is that **no similarities exist in the development of their market efficiency of IT, GR and ES with all other markets** and finally no significant correlation exist between the evolution of TTF's market efficiency and all other market efficiencies.

The specific stylized facts of these markets (especially their dependence on Russian gas imports, generation mix etc.) can explain the above dissimilarity in the development of their level of market efficiency.

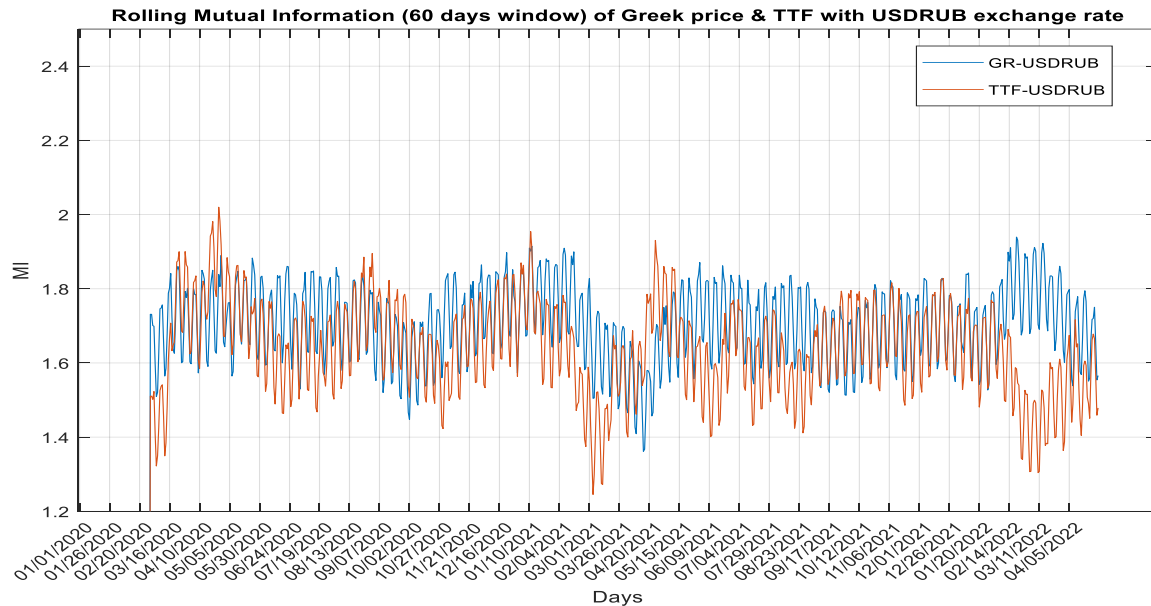
B. Αποτελέσματα rolling MI & PMIME

60 days rolling window calculated Mutual Information (MI) values of all European electricity prices against the USD/RUB exchange rate, spanning the period Nov 2021 to May 2022.

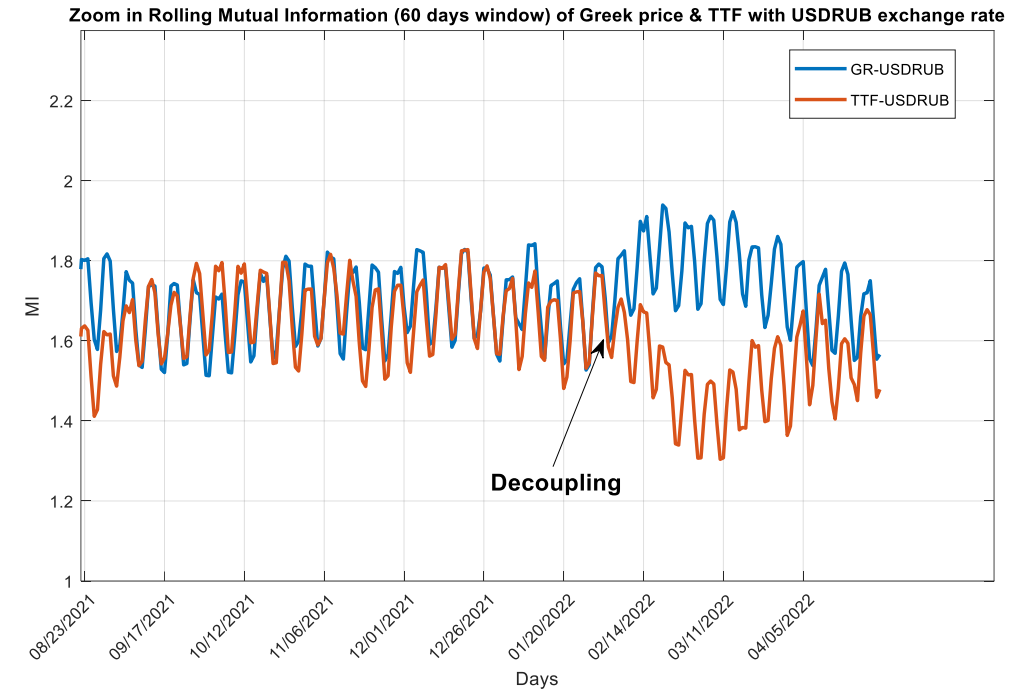


B. Αποτελέσματα rolling MI & PMIME

B: a Zoom in figure A. Rolling Mutual Information (window 60 days), of Greek price-USD/RUB and TTF- USD/RUB. The date of the decoupling, around 10th February 2022, is now clear.

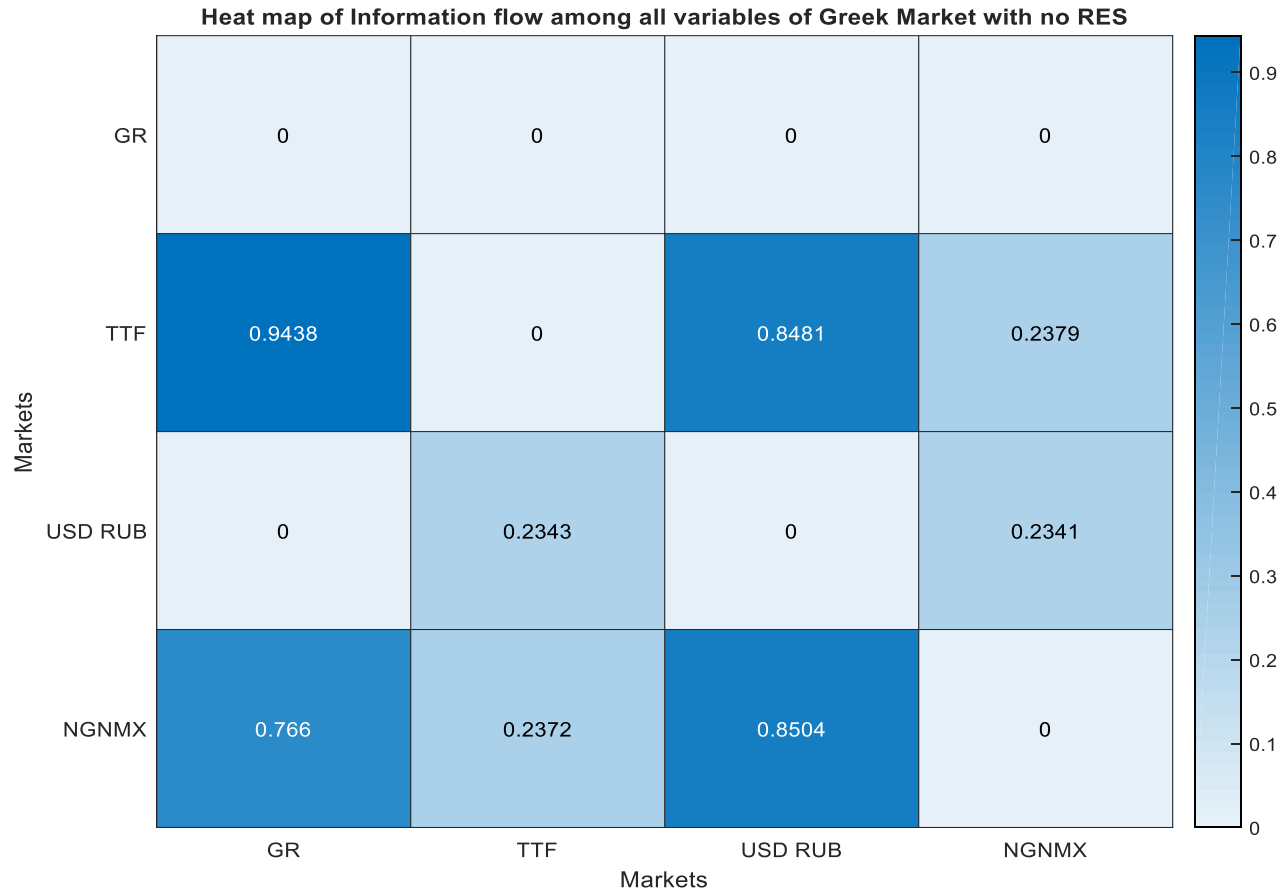


A: Rolling Mutual Information (window 60 days), of Greek price-USD/RUB and TTF- USD/RUB

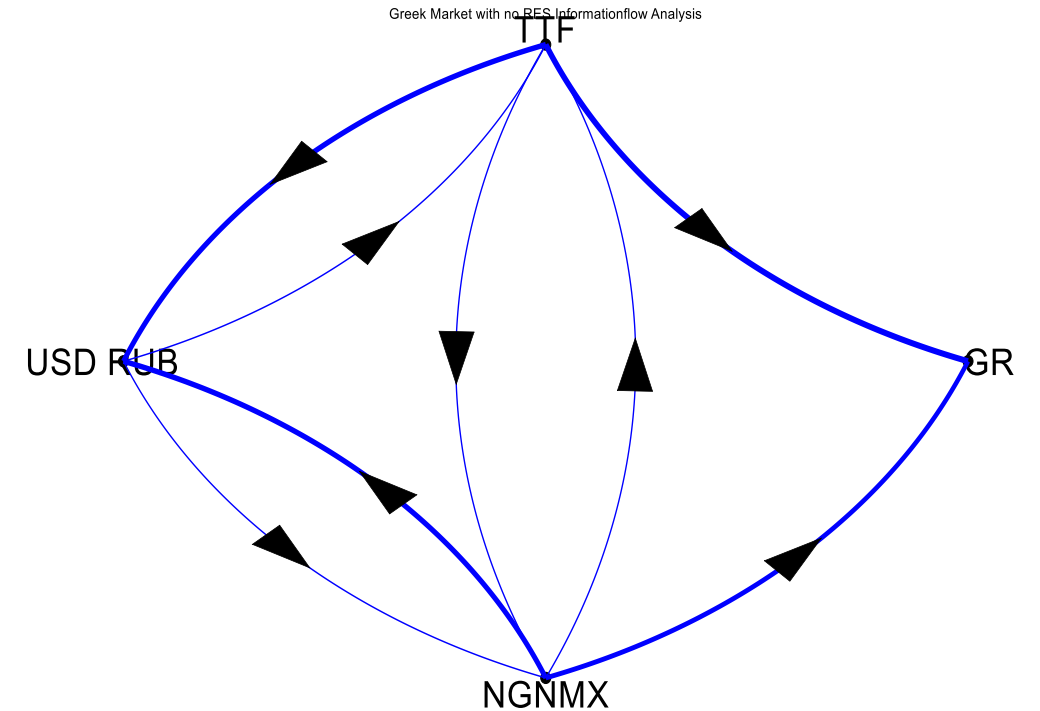


B. Αποτελέσματα rolling MI & PMIME

Heat map of information flow, derived by PMIME approach, among the Greek price, with TTF and NGNMX prices and USD/RUB rate (log price returns). Cells (areas) of the map with more intense blue color, indicate strongest partial mutual information flow.

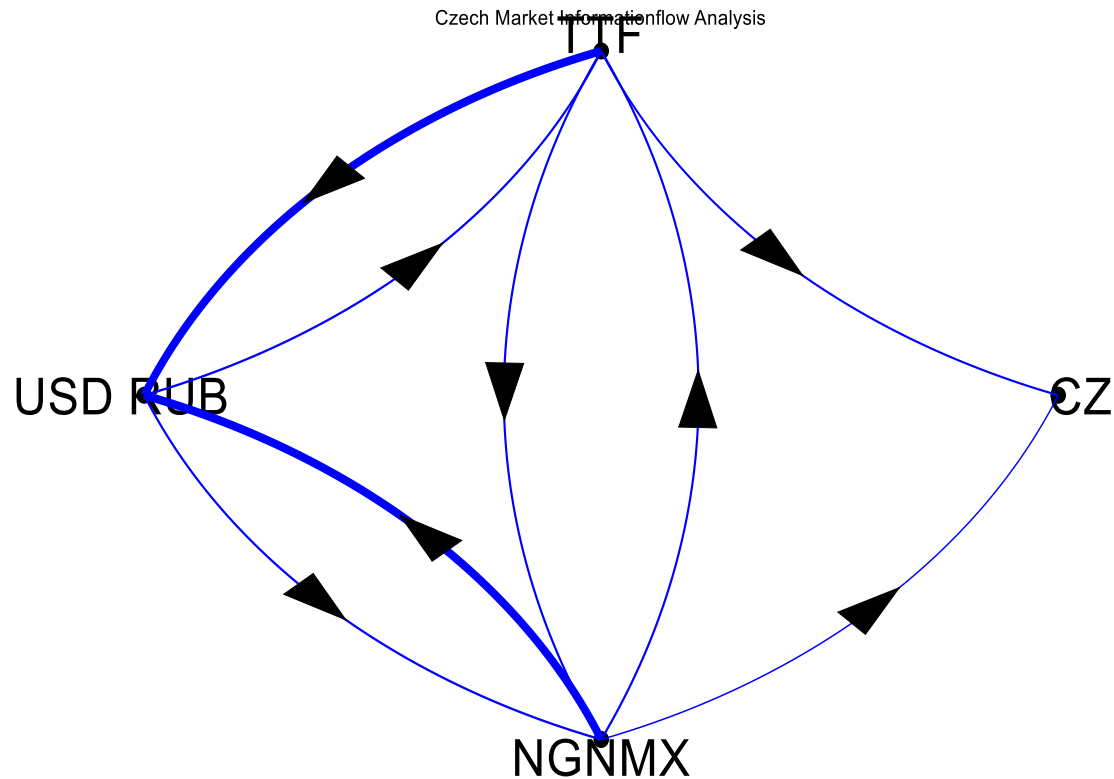


Network graph of information flow, derived by PMIME approach, of the Greek price, with TTF and NGNMX prices and USD/RUB rate (signed log price returns). Heavy arrow lines, connecting two nodes, indicate the strongest partial mutual information flow. Greek price is strongly affected by TTF and NGNMX gas prices (fat arrow lines), which also mutually interact to each other.



B. Αποτελέσματα rolling MI & PMIME

Network graph of information flow, derived by PMIME approach, of the Czech price, with TTF and NGNMX prices and USD/RUB rate (signed log price returns). Heavy arrow lines, connecting two nodes, indicate the strongest partial mutual information flow. Czech price is moderately affected by TTF and NGNMX gas prices (slim arrow lines), which also mutually interact to each other.



PMIME values between TTF-NGNMX gas and all electricity prices

| Market | TTF | NGNMX |
|--------|--------------|--------------|
| RO | 0.220 | 0.143 |
| BE | 0.294 | 0.296 |
| CZ | 0.221 | 0.156 |
| DK1 | - | 0.284 |
| ES | 0.321 | 0.367 |
| HU | 0.123 | 0.095 |
| NNL | 0.235 | 0.286 |
| IT | 0.751 | 0.632 |
| GR | 0.944 | 0.766 |
| BG | 0.180 | 0.147 |

Γ. Αποτελέσματα ανίχνευσης απότομων αλλαγών (breakpoints) μέσω BEAST

Τον φεβρουάριο του 2022, στην αγορά 'πρότυπο' Φ/Α, την TTF (Ολανδία), παρατηρήθηκαν δραστικές απότομες αυξητικές αλλαγές στην τιμή της, λόγω της Ρωσικής εισβολής στην Ουκρανία. Όμως :

- Ποιά είναι οι πραγματική υποκείμενη δυναμική πίσω απο τις καμπύλες (χρονοσειρές) της Τάσης (Trend) και εποχικότητας (seasonality) της τιμής του TTF ?
- Πώς είμαστε σύγουροι ότι οι δομικές αλλαγές (breakpoints) που παρατηρούνται στη τιμή TTF, και κατά συνέπεια στις τιμές χοντρικής της ηλεκτρικής ενέργειας, οφείλονται κατά κύριο λόγο στο γεγονός της εισβολής που έγινε στις 24 Φεβ. 2022, και όχι σε μία σειρά άλλων κρίσιμων γεγονότων, γνωστών (E1-E13) και 'κρυμμένων' που προηγήθηκαν της εισβολής ??

Η εφαρμογή του εργαλείου BEAST ανέδειξε μια σειρά απο πολύ ενδιαφέροντα και σημαντικά Ευρήματα που σχετίζονται με σειρά γεγονότων πριν , κατά, και μετά την Ρωσική εισβολή

Μία πολύ σημαντική και ‘προφητική’ συνάμα εργασία, σχετική με την **κλιμάκωση των εχθροπραξιών Ρωσίας και Ουκρανίας** !!!! Πρός **ποία κατεύθυνση** διαμορφώθηκαν σταδιακά τα κρίσιμα γεγονότα ??

The Journal of Energy Markets (3–28)

Volume 2/Number 4, Winter 2009/10

Russian gas to western Europe: a game-theoretic analysis

Peter Zweifel

Socioeconomic Institute, University of Zurich, Hottingerstrasse 10,
CH-8032 Zurich, Switzerland; email: pzweifel@soi.uzh.ch

Boris Krey

AWK Group, Leutschenbachstrasse 45, Zurich, CH-8050 Switzerland;
email: boris.krey@awk.ch

Sandro Schirillo

Socioeconomic Institute, University of Zurich, Hottingerstrasse 10,
CH-8032 Zurich, Switzerland

- Μοντέλο **παίγνιου** για την ‘**κυριαρχούσα διαπραγματευτική δύναμη, ΚΔΔ**’ στη διαμετακόμιση Φ/Α τριών χωρών : **Ρωσίας, Λευκορωσίας, και Ουκρανίας**
- Η ΚΔΔ εξαρτάται από την **συμμαχία**. Στη περίπτωση του **μη-συνεργατικού** σχήματος, η Ρωσία χρησιμοποιεί παράπλευρες πληρωμές (side payments) για να **προκαλέσει συνεργασία**.
- Η αναμενόμενη **ισορροπία Nash**, είναι η **συνεργατική**, που οδηγεί , **ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ**, σε **συμμαχία** και των **3**, με **βέλτιστο όφελος αυτό της Ρωσίας. Η μη-συμμετοχή μιας χώρας (π.χ Ουκρανίας)**, αποτελεί εμπόδιο στη επίτευξη συμμαχίας, άρα στη δυνατότητα μεγιστοποίησης του Ρωσικού οφέλους στη διαμετακόμιση Φ/Α.

Since the fall of the Soviet Union it has been necessary for Russia to form a coalition with at least one of the transit countries Belarus and Ukraine in order to be able to ship gas to western Europe. This paper models the gas transit game using a cooperative module to determine the bargaining power of the three countries. The bargaining power is dependent on the coalition that is achieved. In the non-cooperative module, the three countries involved decide whether or not to cooperate, with Russia using side payments to induce cooperation. On the basis of published demand and cost estimates, the predicted Nash equilibrium is the cooperative one resulting in the grand coalition. Predicted gas quantities correspond quite closely to actual 2004 and forecast 2010 and 2030 figures. The completion of the North Transgas pipeline will benefit Russia, to the detriment of the others, particularly Ukraine.

Comparison of crucial events E1-E13's dates with the structural changepoints' dates detected by BEAST.

Γ. Αποτελέσματα ανίχνευσης απότομων αλλαγών (breakpoints) μέσω BEAST



| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 |
|-----|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--|--------------------------------|
| | 13 Oct. 2021 | Mid-Oct. 2021 | 10 Nov. 2021 | 17 Dec. 2021 | 17 Jan. 2022 | 24 Feb. 2022 | 27 Apr. 2022 | May. 2022 | 23 June 2022 | 21 July 2022 | 30 Aug. 2022 | 14 Sep. 2022 | 1 Nov. 2022 |
| RO | 20 Oct. 2021 89% Lag | 20 Oct. 2021 89% concurrent | 29 Nov. 2021 87% lead | 6 Dec. 2021 87% lead | 8 Jan. 2022 100% lead | 13 Feb. 2022 100% lead | 20 Apr. 2022 99% lead | | | 2 Jul. 2022 100% lead | | 20 Sep. 2022 100% lag | 18 Nov. 2022 100% lag |
| BE | 30 Oct. 2021 99% lag | 30 Oct. 2021 99% lag | | | 8 Jan. 2022 100% lead | 13 Feb. 2022 99% concurrent | | 12 May. 2022 100% lead | 28 Jun. 2022 100% lag | | | 20 Sep. 2022 100% lag | 29 Nov. 2022 100% lag |
| CZ | 27 Oct. 2021 100% lag | 27 Oct. 2021 100% lag | | | 1 Jan. 2022 100% lead | 10 Feb. 2022 99% lead | 12 Apr. 2022 100% lead | | 6 June 2022 99% lead | 20 Jul. 2022 99% concurrent | | 13 Sept. 2022 100% 'concurrent' | 21 Nov. 2022 100% lag |
| DK1 | 27 Oct. 2021 100% lag | 27 Oct. 2021 100% lag | 21 Nov. 2022 100% concurrent | | 8 Jan. 2022 100% lead | | 20 Apr. 2022 100% lead | 11 May 2022 100% lead | 3 June 2022 100% lead | | | 13 Sept. 2022 100% 'concurrent' | 21 Nov. 2022 100% lag |

Γ. Αποτελέσματα ανίχνευσης απότομων αλλαγών (breakpoints) μέσω BEAST

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--|---------------------------------------|--|--|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|
| IT | | | 10 Nov. 2021 100% concurrent | | | | 16 Apr. 2022 100% lead | 12 May 2022 22% lead | 8 June 2022 100% lead | 6 July 2022 100% lead | | 20 Sep. 2022 100% lag | 14 Nov. 2022 100% lag |
|----|--|--|---------------------------------------|--|--|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|

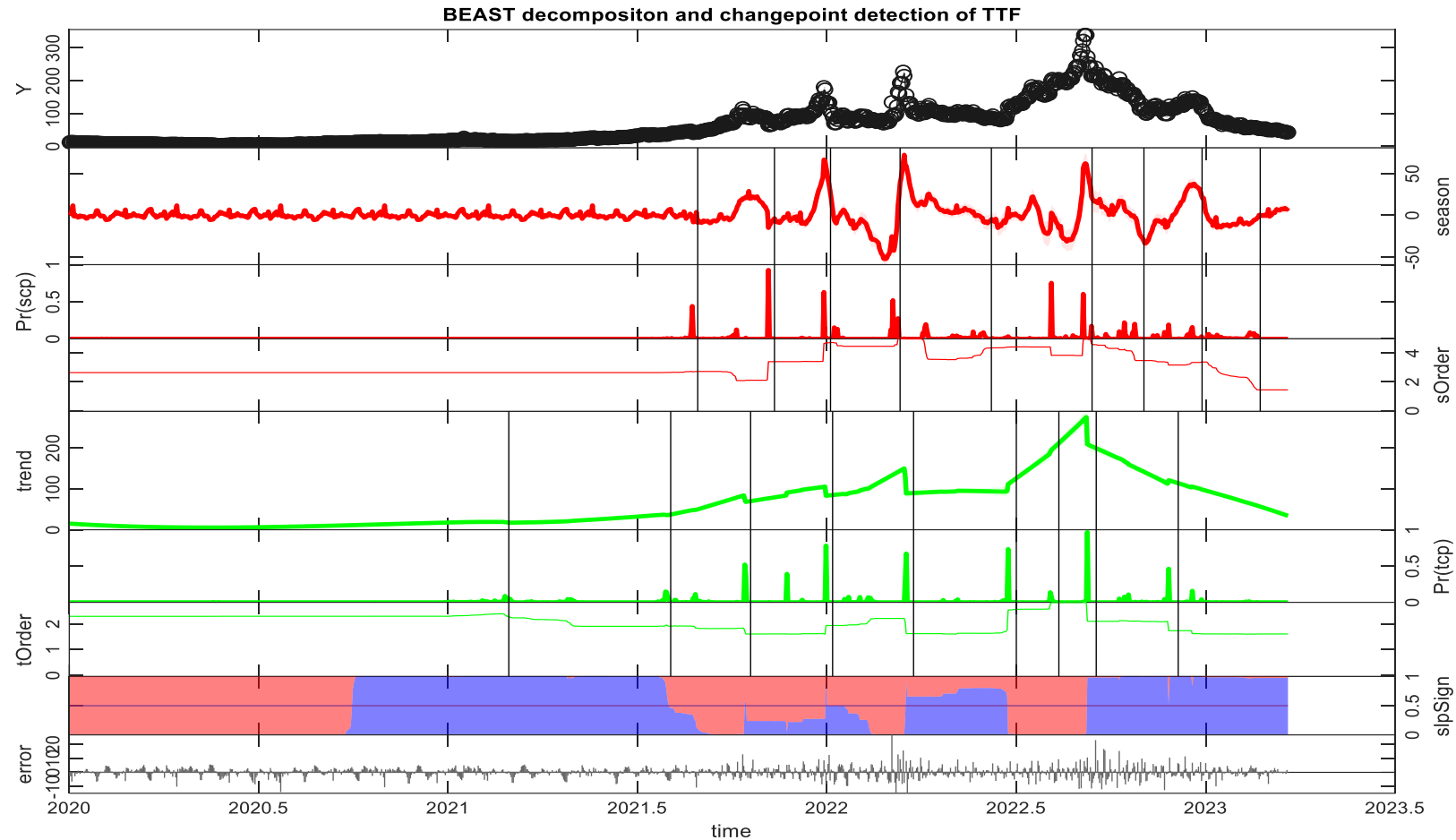
| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| GR | 16 Oct. 2021 82% Lag | 16 Oct. 2021 82% Lag | 14 Nov. 2021 100% lag | 10 Dec. 2021 18% lead | | | 20 Apr. 2022 99% lead | | | 9 July 2022 99% lead | 22 Aug. 2022 40% lead | 9 Sept. 2022 100% lead | 14 Nov. 2022 100% lag |
| BG | 20 Oct. 2021 82% lag | 20 Oct. 2021 82% lag | | 6 Dec. 2021 47% lead | 8 Jan. 2022 100% lead | | 20 Apr. 2022 98% lead | | | 9 July 2022 100% lead | | 9 Sept. 2022 100% lead | 18 Nov. 2022 100% lag |
| TTF | | | 10 Nov. 2021 97% concurrent | | 4 Jan. 2022 99% lead | | | | | 2 July 2022 97% lead | | 13 Sep. 2022 100% concurrent | |

Γ. Αποτελέσματα ανίχνευσης απότομων αλλαγών (breakpoints) μέσω BEAST

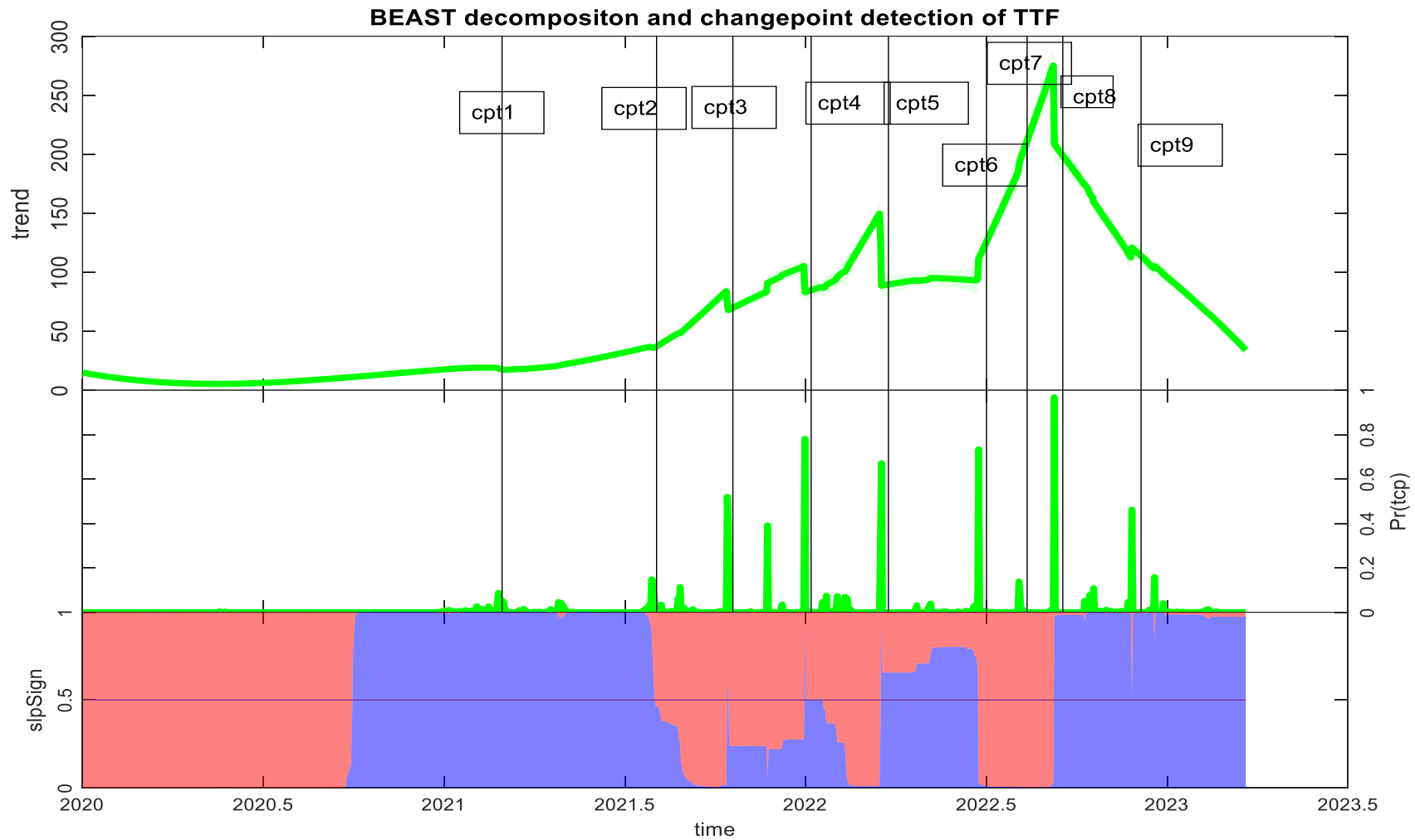
Πίνακας αποτελεσμάτων BEAST Η μεγάλη εικόνα (big picture) ΟΛΩΝ των πιθανών Breakpoints

Παράδειγματα οι αναλύσεις της **Ρουμανικής, Ιταλικής & Ελληνικής** αγοράς

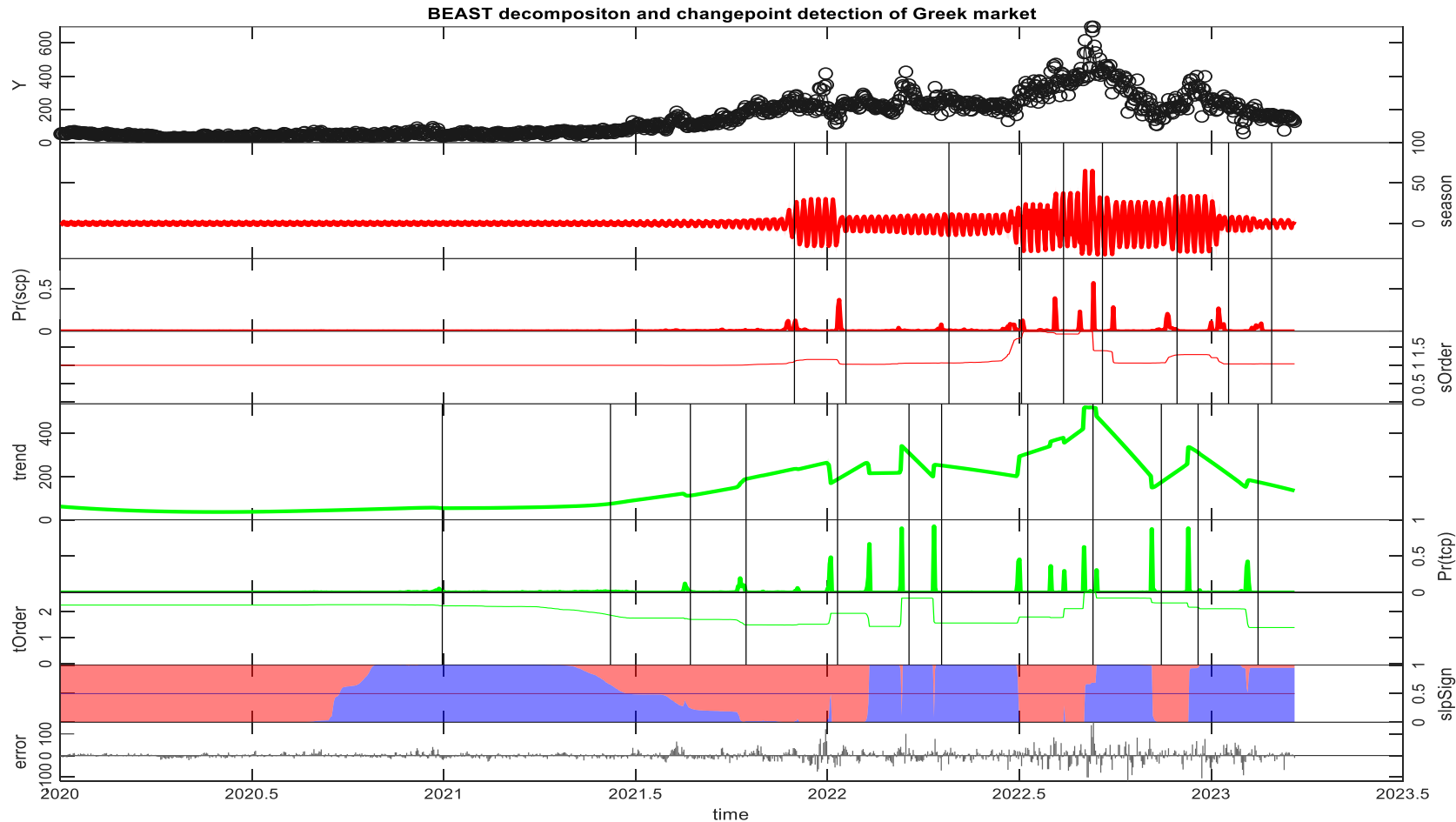
- Για την **Ρουμανική** αγορά ανιχνεύθηκαν 10 breakpoints, που συνδέονται χρονικά ποικιλότροπα (lagged, leading, concurrent), με τα κρίσιμα γεγονότα E1-E13
- Το BEAST ανίχνευσε 10/13 ήτοι 77% των κρίσιμων γεγονότων
- **Γενικά : Το BEAST παρέχει διαφορετικούς αριθμούς breakpoints για την κάθε μία αγορά, ως αντιδράσεις στα ίδια E1-E13 γεγονότα, και αναδεικνύει το πώς η δομή (ιδιοσυγκρασία) της κάθε αγοράς είναι καθοριστική στο τρόπο αντίδρασής τους.**
- **Παραρηρούμε ότι το 80% των ηλεκτρικών αγορών έχει αντιδράσει στο E5 κρίσιμο γεγονός (συγκέντρωση Ρωσικών στρατευμάτων στα σύνορα με Λευκορωσία, 17 Ιαν. 2022, συνεπώς το E5 αναδεικνύεται το κρισιμότερο γεγονός της περιόδου αυτής και όχι το E6 (Ρωσική εισβολή, 24 Φεβ. 2022) !!!!**
- **Οι περισσότερες των ηλεκτρικών αγορών αντέδρασαν ΕΓΚΑΙΡΑ, πολύ πιο νωρίτερα απο την Ρωσική εισβολή, οδηγούμενες απο την απότομη αύξηση της τιμής του TTF (4 Jan. 2022)**



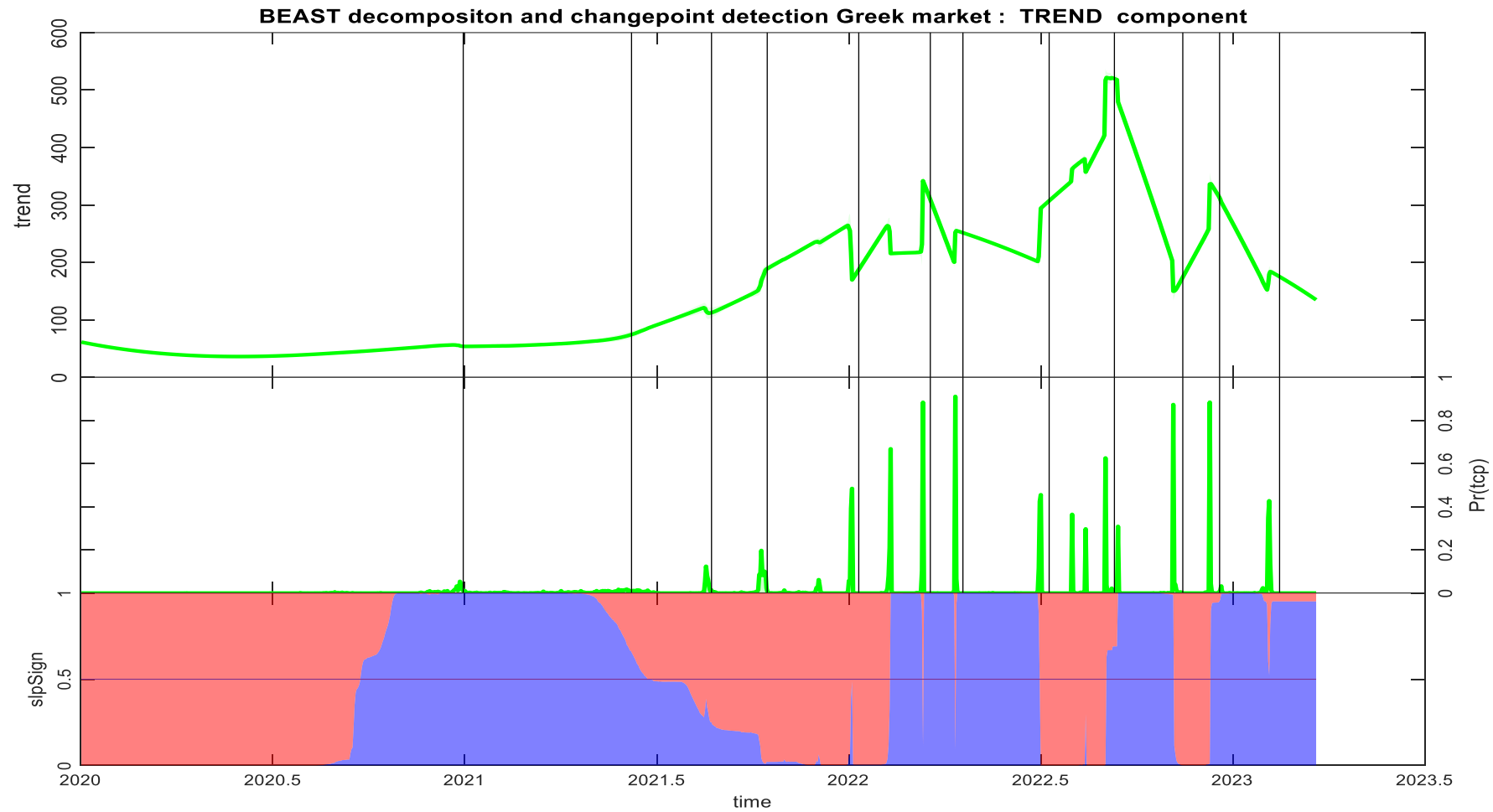
Result of BEAST decomposition for the TTF data. The nine subplots contained useful information as described in the main text. In the 8th subplot (slpSign): The sign of the trend slope is positive (red), negative (blue), zero (green). Black vertical lines correspond to the nine dates of changepoints, both in the trend and seasonal components, detected by BEAST.



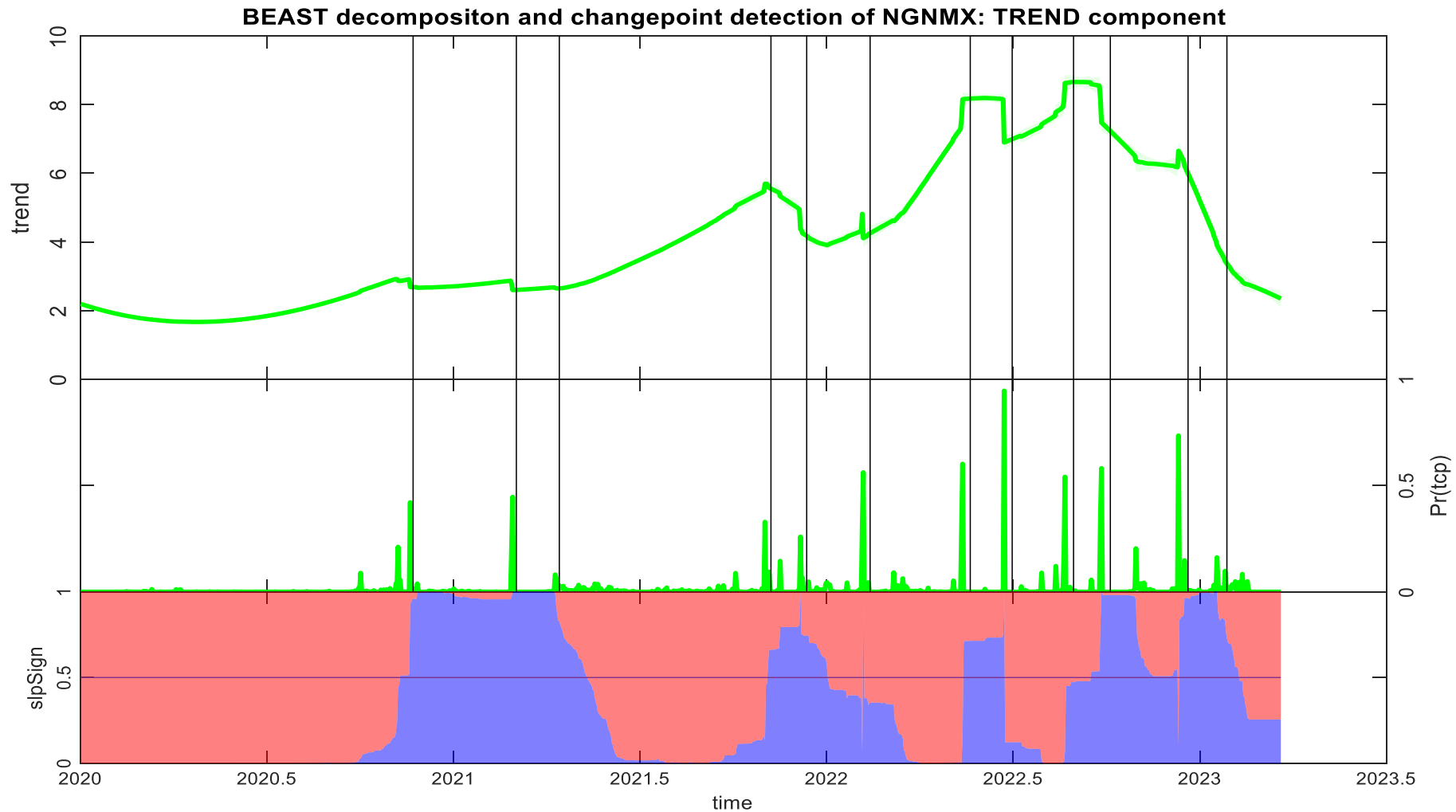
Isolation of trend component in figure 44, showing the 9 trend changepoints (tcp) their probability of occurrence, $P(tcp)$ as well as the probability of the trend slope being positive (red part) (i.e., increasing trend), for being zero (green) and finally for being negative (blue), at each time point, of the trend component of TTF data. Black vertical lines correspond to the nine dates of changepoints, both in the trend component, detected by BEAST.



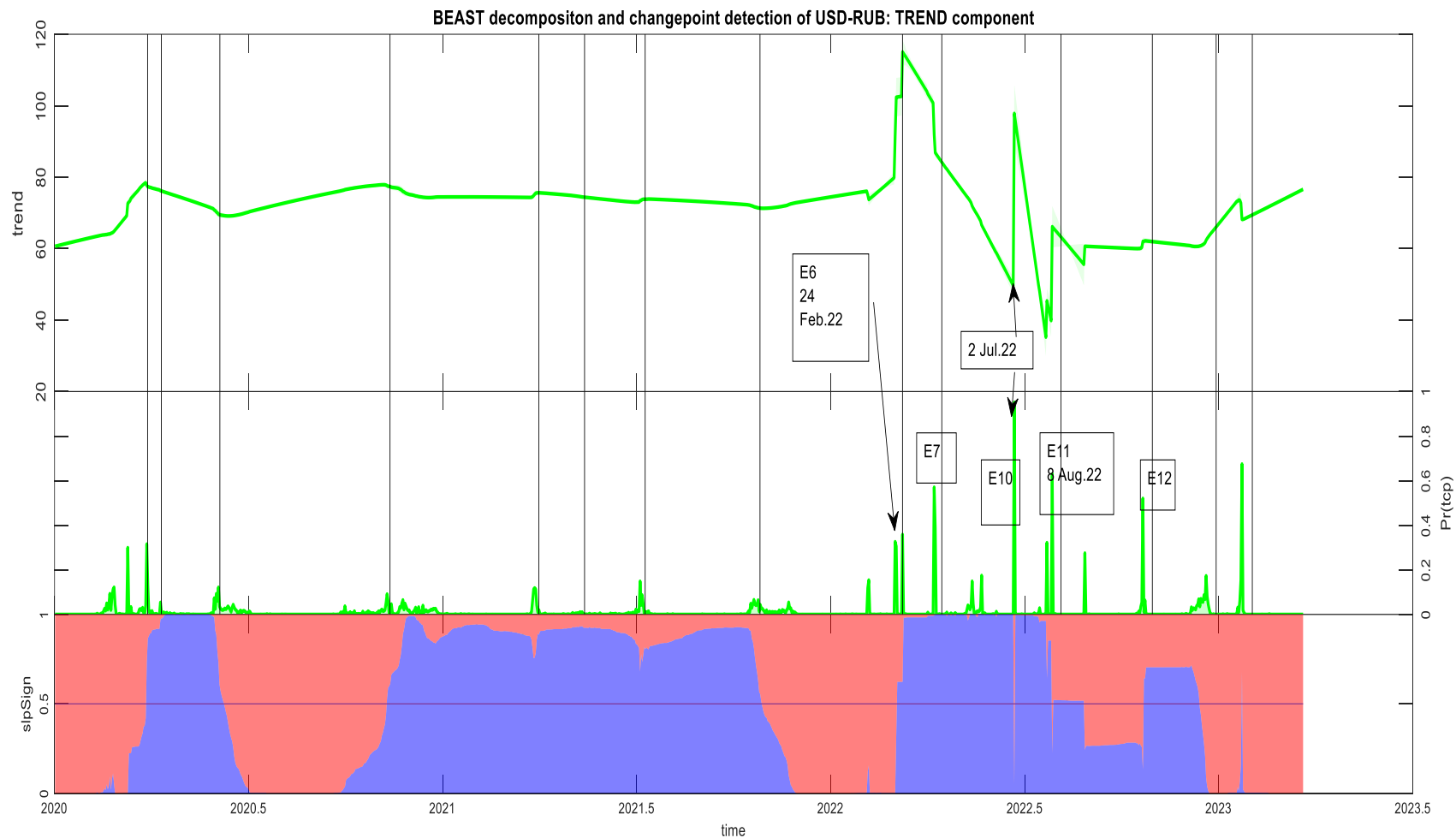
Result of BEAST decomposition for the Greek electricity price data. The nine subplots contained useful information as described in the main text. In the 8th subplot (slpSign): The sign of the trend slope is positive (red), negative (blue), zero (green). Black vertical lines correspond to the nine dates of changepoints, both in the trend and seasonal components, detected by BEAST



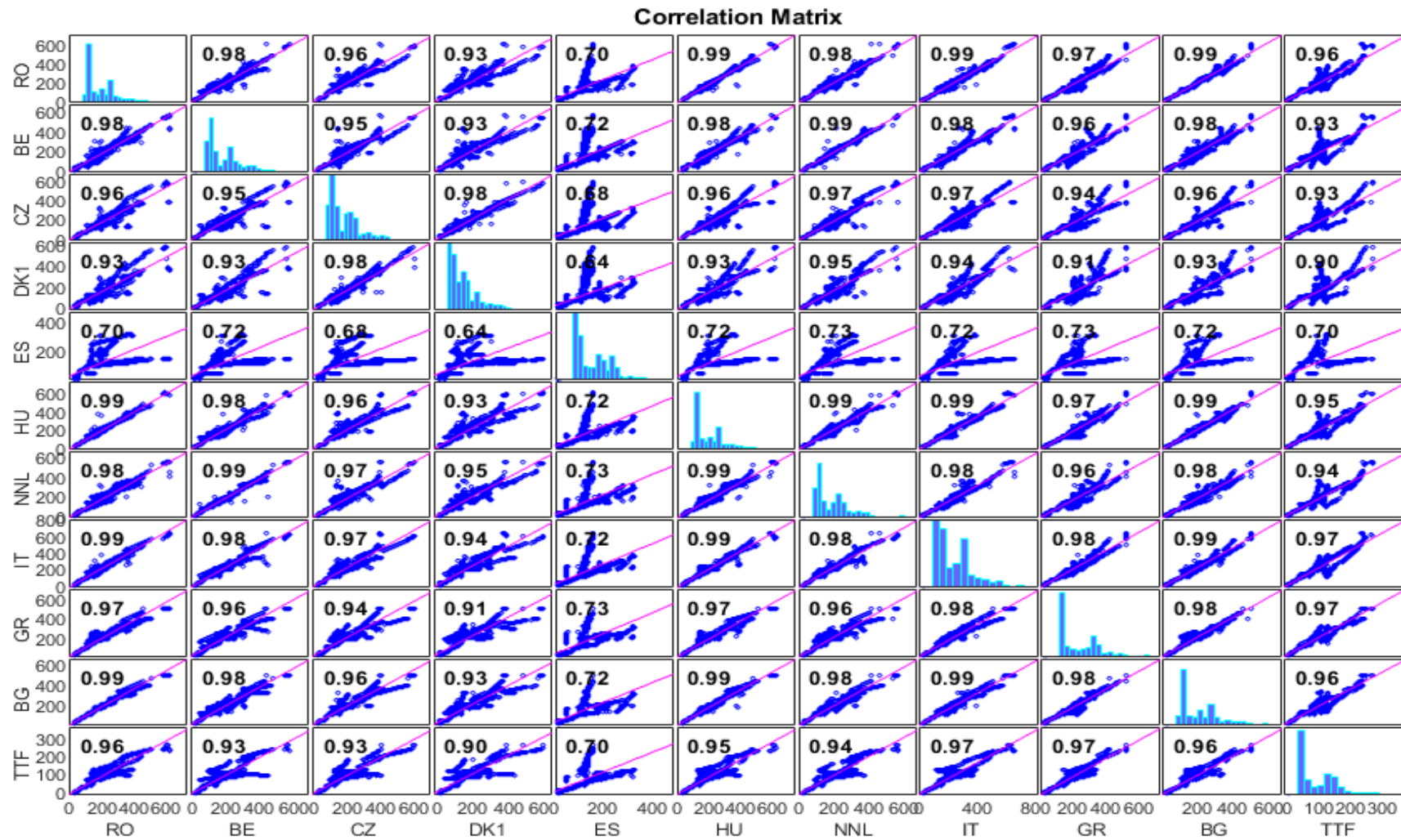
Isolation of trend component in figure 20, showing the 12 trend changepoints (tcp) their probability of occurrence, $P(tcp)$ as well as the probability of the trend slope being positive (red part) (i.e., increasing trend), for being zero (green) and finally for being negative (blue), at each time point, of the trend component of Greek price data. Black vertical lines correspond to the nine dates of changepoints, both in the trend component, detected by BEAST.



Trend component of BEAST analysis for NGNMx, showing the 12 trend changepoints (tcp) their probability of occurrence, $P(tcp)$ as well as the probability of the trend slope being positive (red part) (i.e., increasing trend), for being zero (green) and finally for being negative (blue), at each time point, of the trend component of NGNMx price data. Black vertical lines correspond to the nine dates of changepoints, both in the trend component, detected by BEAST.



Trend component of BEAST analysis for USD/RUB data, showing the 12 trend changeponts (tcp) their probability of occurrence, $P(tcp)$ as well as the probability of the trend slope being positive (red part) (i.e., increasing trend), for being zero (green) and finally for being negative (blue), at each time point, of the trend component of USD/RUB price data. Black vertical lines correspond to the nine dates of changepoints, both in the trend component, detected by BEAST.



Correlation matrix of trend curves of all electricity markets and TTF. High correlation values indicate a 'similarity' of the dynamics of the trend curves of a pair of markets.

Συμπεράσματα (Conclusions)

- Οι ενεργειακές αγορές που εξετάζουμε ανταποκρίθηκαν με διαφορετικό τρόπο στα κρίσιμα γεγονότα, σε σχέση με τον *αριθμό, είδος και χρόνο απίκρισης των απότομων αλλαγών (leading, lagging, concurrent)* στα κρίσιμα γεγονότα.
- *Το πλέον κρίσιμο γεγονός, για την πλεονότητα των αγορών, δεν ταυτίζεται με αυτή καθ'αυτή την ημερομηνία της Ρωσικής επέμβασης, αλλά με άλλα κρίσιμα γεγονότα πριν αυτή, συνέπεια της 'ιδιοσυγκασίας' και 'ετοιμότητας' της κάθε αγοράς.*
- Η *αλληλεπίδραση (causality, 'αιτιότητα')* των TTF, NGNMX και USD/RUB βρέθηκε να είναι αμφίδρομη (bi-directional), με την αγορά συναλλάγματος USD/RUB να επηρεάζει και τις δύο αγορές Φ/Α οι οποίες με την σειρά τους επηρεάζουν, με διαφορετική ένταση, τις ηλεκτρικές αγορές.
- Η χρήση τών τριών εργαλείων παρέχει *συνεπή αποτελέσματα*, συνδέοντας λογικά τις έννοιες της ΥΑΑ ('ετοιμότητα', *βαθμός ανεξαρτησίας απο εισροές Φ/Α απο Ρωσία*), *αριθμό δομικών αλλαγών, δυναμικό προφίλ των καμπύλων τάσης και εποχικότητας*, και της *κατεύθυνσης της αιτιότητας στην πολύπλοκη αλληλεπίδραση των ενεργειακών αγορων* κατά την διάρκεια της Ρωσο-Ουκρανικής κρίσης.

Ευχαριστώ πολύ !!!

Thanks a lot !!!!