

Διαλέξεις υποψηφίων για την εκλογή Επίκουρου Καθηγητή στον Τομέα
ΥΠΠΕΡ στο γνωστικό αντικείμενο «Ανανεώσιμη Ενέργεια και
Υδροενεργειακά Έργα» – Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, 23/10/2018


Μοντελοποίηση συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας: Μεθοδολογικές προκλήσεις και ερευνητικά ερωτήματα

Ανδρέας Ευστρατιάδης

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Η παρουσίαση είναι διαθέσιμη στη διεύθυνση: www.itia.ntua.gr/1900/


Αντί προλόγου: Αναζητήσεις στο Διαδίκτυο

renewable energy 

[All](#) [Images](#) [News](#) [Videos](#) [Maps](#) [More](#) [Settings](#) [Tools](#)

About 103,000,000 results (0.43 seconds)

Renewable energy is **energy** that is collected from **renewable resources**, which are naturally replenished on a human timescale, such as sunlight, wind, rain, tides, waves, and geothermal heat.



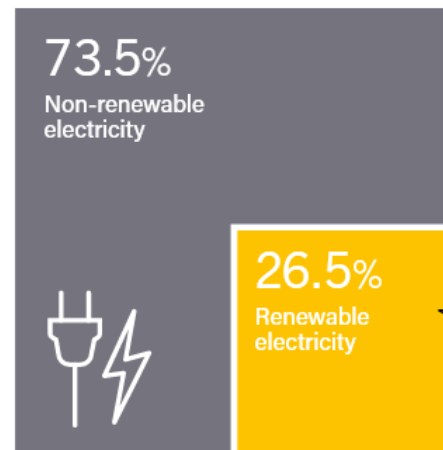
www.studentenergy.org

[Renewable energy - Wikipedia](#)
https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy

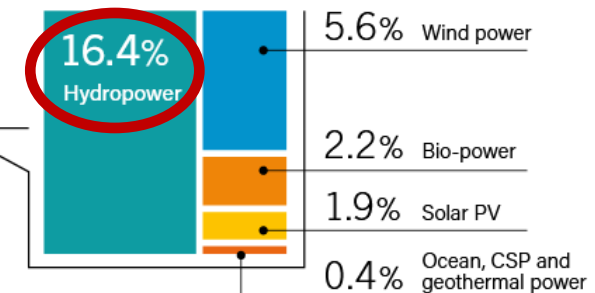
| | |
|--------------------------|--------------------|
| Renewable energy: | 103 000 000 |
| RE + environment: | 60 700 000 |
| RE + climate change: | 40 700 000 |
| RE + sustainability: | 36 200 000 |
| RE + hybrid: | 20 900 000 |
| RE + crisis: | 20 500 000 |
| RE + CO ₂ | 15 700 000 |
| RE + uncertainty: | 9 940 000 |
| RE + water resources: | 5 630 000 |
| RE + pumped-storage: | 312 000 |

Αποτελέσματα αναζήτησης ανά πηγή

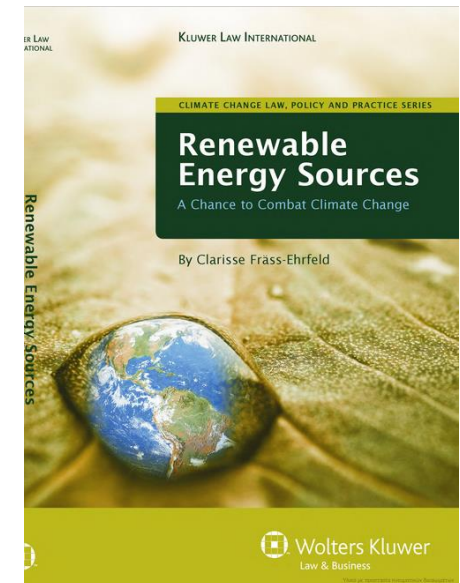
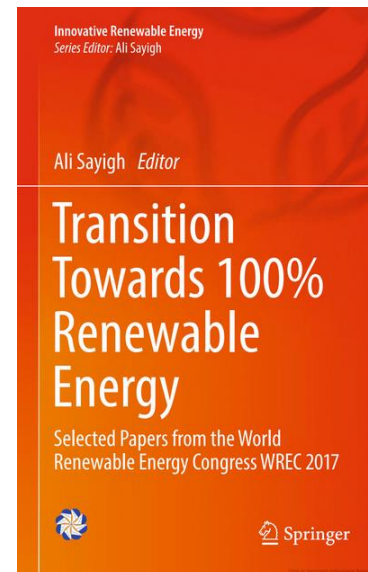
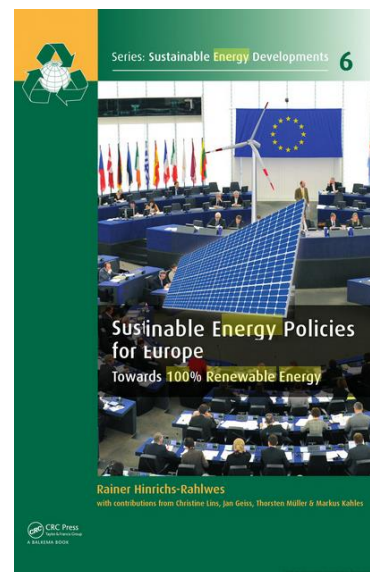
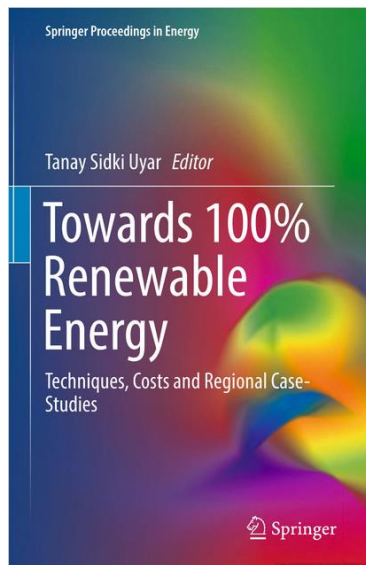
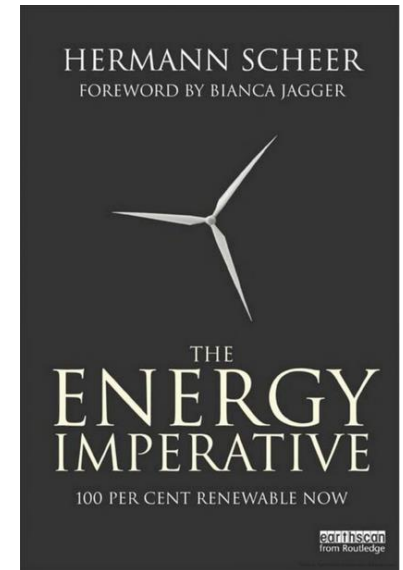
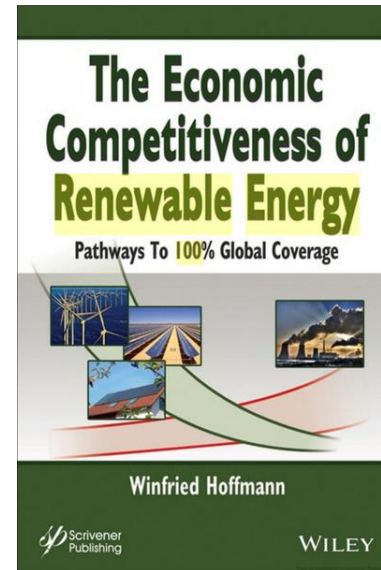
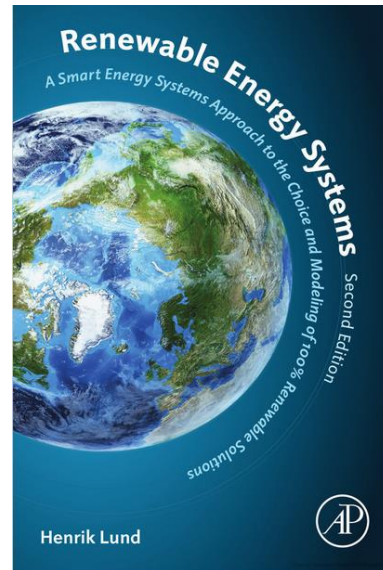
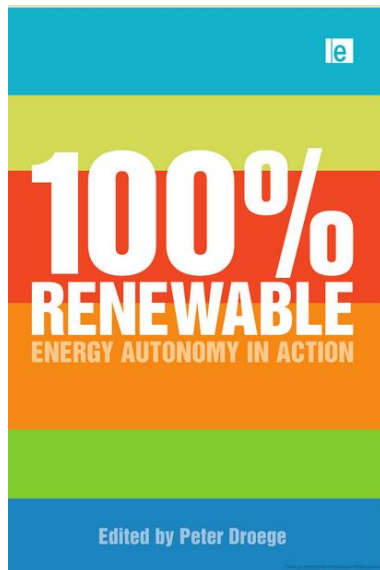
| | |
|---|------------|
| <input type="checkbox"/> RE + solar: | 63 800 000 |
| <input type="checkbox"/> RE + wind: | 55 500 000 |
| <input type="checkbox"/> RE + biomass: | 22 000 000 |
| <input type="checkbox"/> RE + wave: | 14 600 000 |
| <input type="checkbox"/> RE + geothermal: | 11 100 000 |
| <input type="checkbox"/> RE + <u>hydropower</u> : | 5 040 000 |
| <input type="checkbox"/> RE + biofuel: | 3 690 000 |
| <input type="checkbox"/> RE + tidal: | 3 280 000 |



Κατανομή παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έτους 2017
 (Πηγή: *Renewables 2018 Global Status Report*, Paris, REN21 Secretariat)



ΑΠΕ & παγκόσμιες προσδοκίες



Μοντελοποίηση ανανεώσιμης ενέργειας & υδροενεργειακών έργων

□ Κατηγορίες προβλημάτων:

- Σχεδιασμός, χωροθέτηση, διαστασιολόγηση νέων έργων
- Αποτίμηση ενεργειακής ή/και οικονομικής επίδοσης, για δεδομένο σχεδιασμό και δεδομένες φορτίσεις (εισροές «καυσίμου»)

□ Κοινό ζητούμενο κάθε μελέτης είναι η **εκτίμηση των υδρομετεωρολογικών φορτίσεων** (ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου, παροχή).

□ Σημαντικά ερωτήματα – διαφορετικά επίπεδα **πολυπλοκότητας**:

- Μεμονωμένο έργο ή συνιστώσα συστήματος έργων;
- Κλειστό σύστημα (ενεργειακά αυτόνομο) ή τμήμα του διασυνδεδεμένου;
- Αξιολόγηση της προσφοράς ενέργειας σε αντιπαραβολή με τη ζήτηση (ελλείμματα, πλεονάσματα);
- Δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας (ταμιευτήρες, βιοκαύσιμα, μπαταρίες);
- Στο σύστημα περιλαμβάνονται ταμιευτήρες ή άλλα έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων (ανάγκη συνδυασμένης διαχείρισης νερού-ενέργειας);
- Είναι δεδομένα όλα τα μεγέθη του συστήματος ή ζητείται η εκτίμησή τους, μέσω βελτιστοποίησης;

Υδρομετεωρολογικές φορτίσεις

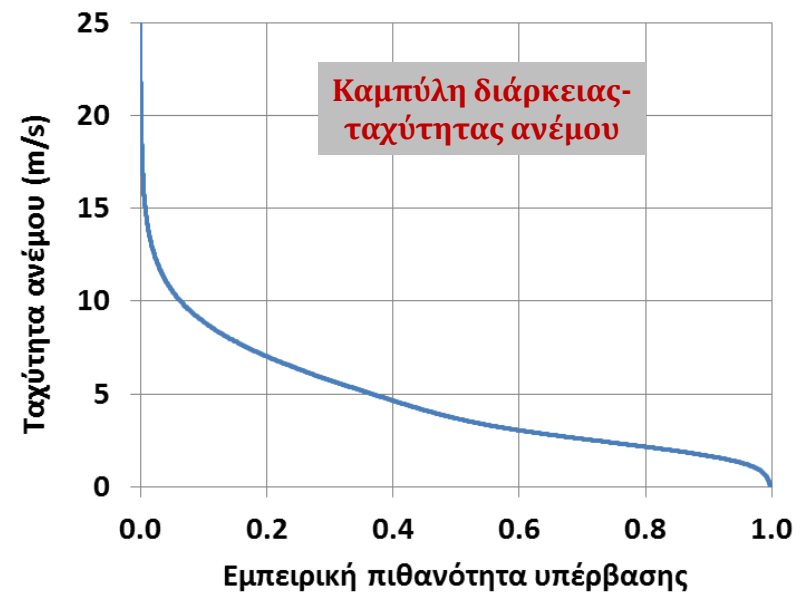
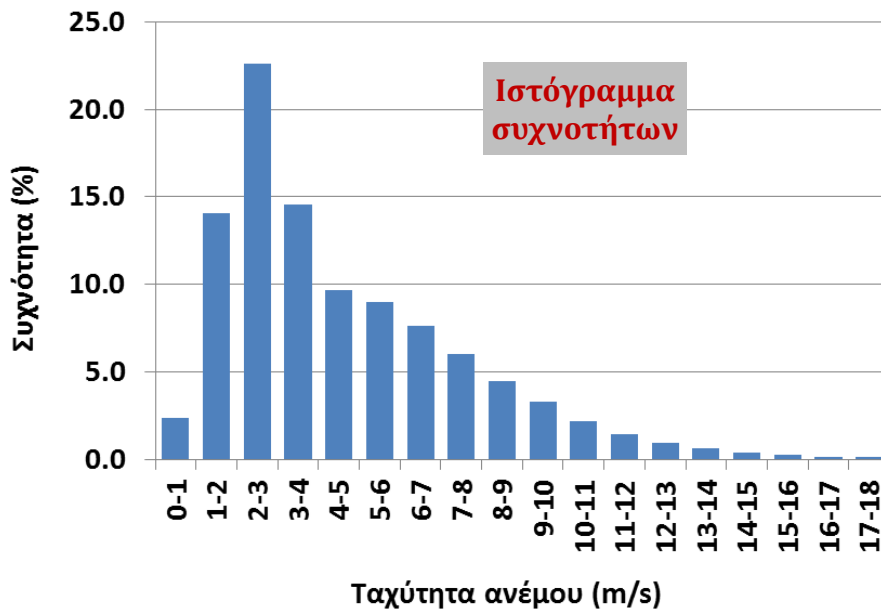
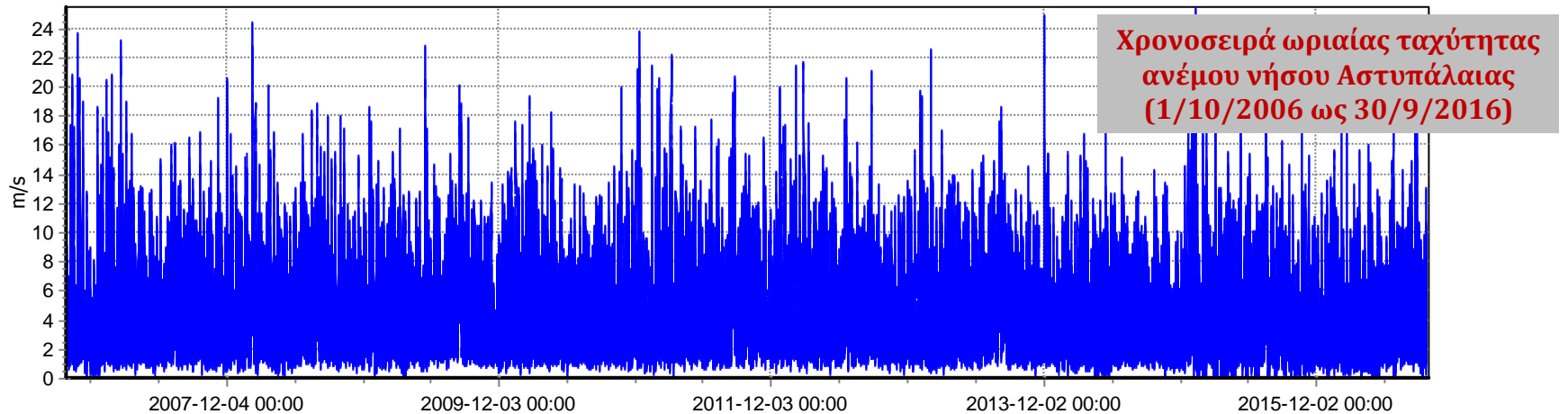
❑ **Χαρακτηριστικά φυσικών διεργασιών σχετικών με ΑΠΕ:**

- Έντονη μεταβλητότητα, σε όλες τις χρονικές κλίμακες
- Μη κανονικότητα, ιδιαίτερα στις χαμηλές κλίμακες
- Περιοδικότητες, στην εποχιακή (όλες οι διεργασίες) και την ενδοημερήσια κλίμακα (άνεμος, ηλιακή ακτινοβολία)
- Διαλείπουσα συμπεριφορά στις χαμηλές κλίμακες
- Μακροπρόθεσμη εμμονή (δυναμική Hurst-Kolmogorov), στην ετήσια και υπερετήσια κλίμακα
- Χωρικές και χρονικές συσχετίσεις, σε όλες τις χρονικές κλίμακες (συσχετίσεις με ζήτηση ενέργειας)

❑ **Ερωτήματα:**

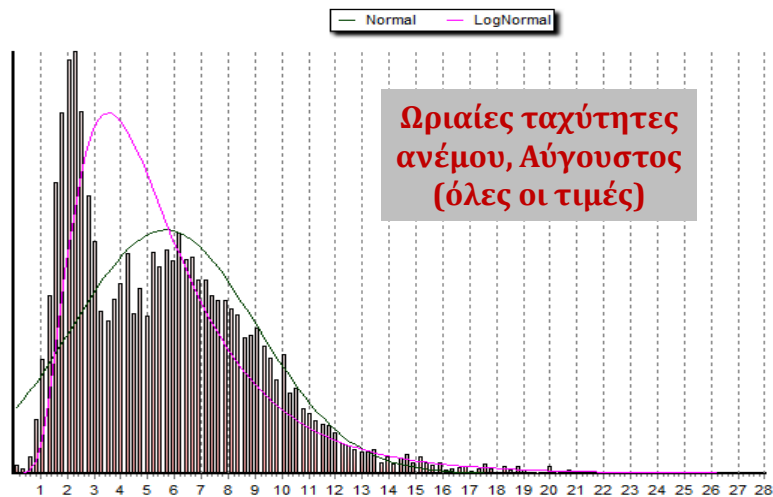
- Ποια είναι η πλέον πρόσφορη στατιστική περιγραφή της φόρτισης (π.χ. μέσες τιμές, ιστόγραμμα συχνοτήτων, καμπύλη διάρκειας, θεωρητική κατανομή);
- Υπό ποιες προϋποθέσεις αρκεί η **στατιστική περιγραφή**;
- Ποια είναι η απαιτούμενη **χρονική κλίμακα** και **μέγεθος του δείγματος**, ώστε οι εκτιμήσεις των παραγόμενων ενεργειακών μεγεθών να είναι ακριβείς;
- Πώς επηρεάζεται η **αβεβαιότητα των ενεργειακών μεγεθών** από την αβεβαιότητα των υδρομετεωρολογικών φορτίσεων;

Παράδειγμα 1: Στατιστική ανάλυση ωριαίων δεδομένων ταχύτητας ανέμου

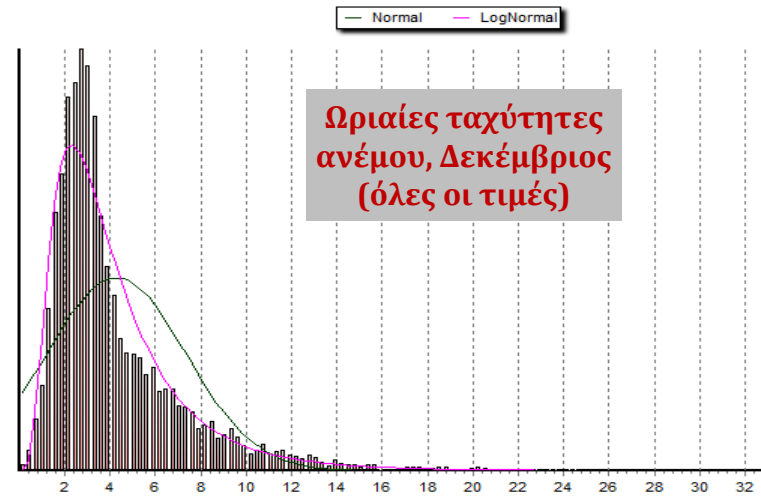


Ανάλυση ανά μήνα & ώρα

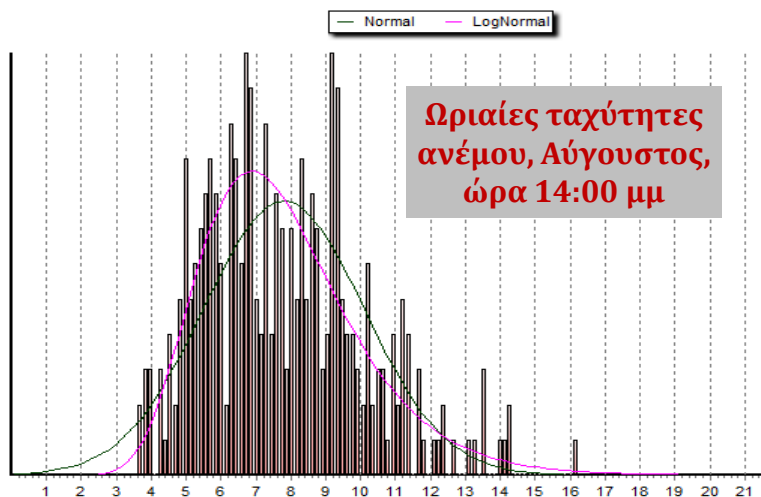
Probability Density Functions (PDF) - Histogram - Sample consisting from values of the month: Αύγουστος



Probability Density Functions (PDF) - Histogram - Sample consisting from values of the month: Δεκέμβριος



Probability Density Functions (PDF) - Histogram



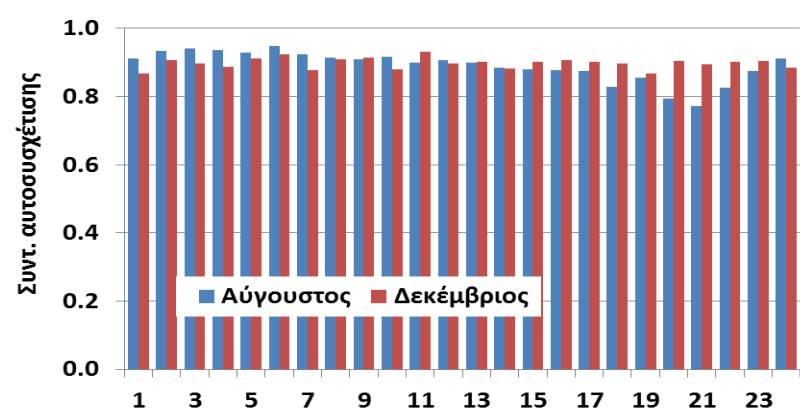
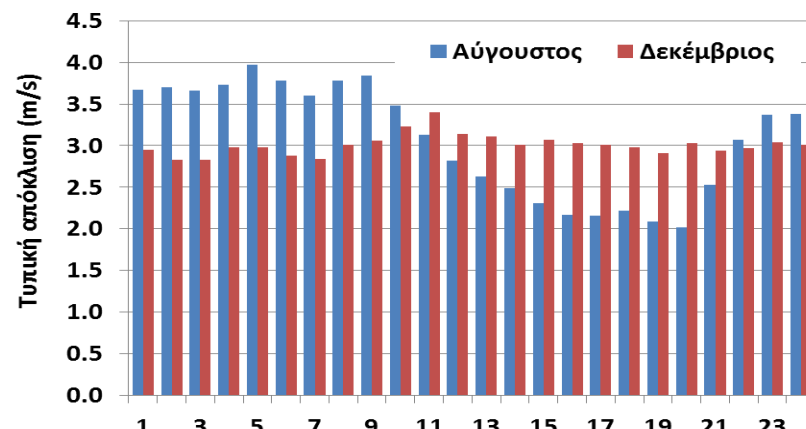
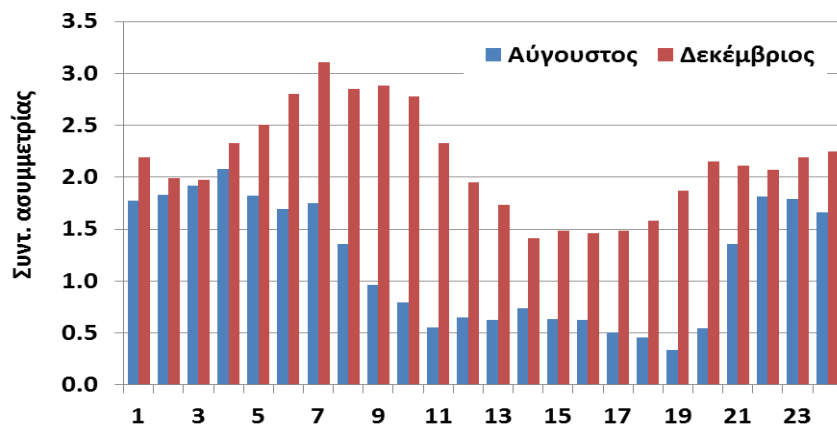
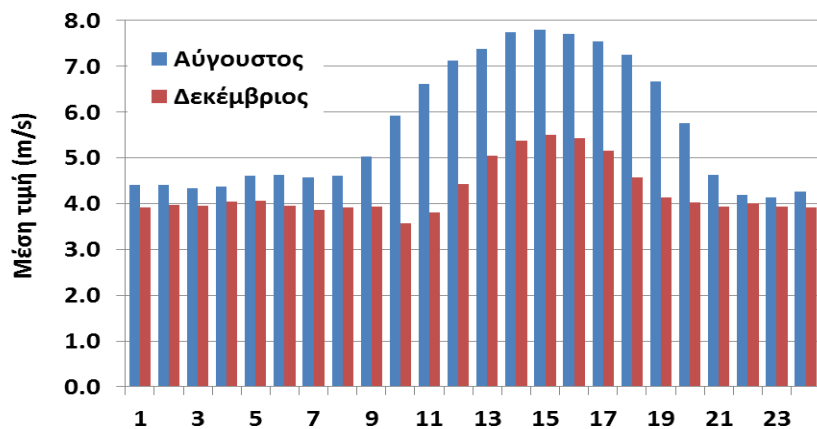
Probability Density Functions (PDF) - Histogram



Επεξεργασίες και στατιστικές αναλύσεις υδρομετεωρολογικών δεδομένων με το λογισμικό Υδρογνώμων:

- Kozanis, S., A. Christofides, N. Mamassis, **A. Efstratiadis**, & D. Koutsoyiannis, Hydrognomon – open source software for the analysis of hydrological data, *EGU General Assembly 2010, Geophysical Research Abstracts, Vol. 12*, Vienna, 2010.

Στατιστικά χαρακτηριστικά ανά μήνα & ώρα



Υδρομετεωρολογικές διεργασίες που σχετίζονται με την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας:

- Mamassis, N., **A. Efstratiadis**, & E. Apostolidou, Topography-adjusted solar radiation indices and their importance in hydrology, *Hydrological Sciences Journal*, 57(4), 756-775, 2012.
- Ιωάννου, X., Γ. Τσεκούρας, **A. Ευστρατιάδης**, & Δ. Κουτσογιάννης, Στοχαστική ανάλυση και προσομοίωση υδρομετεωρολογικών διεργασιών για τη βελτιστοποίηση ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας, *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Φραγμάτων και Ταμιευτήρων*, Αθήνα, 2013.
- Klousakou, E., M. Chalakatevaki, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, R. Ioannidis, G. Karakatsanis, **A. Efstratiadis**, N. Mamassis, R. Tomani, E. Chardavellas, & D. Koutsoyiannis, A preliminary stochastic analysis of the uncertainty of natural processes related to renewable energy resources, *Advances in Geosciences*, 45, 193-199, 2018.

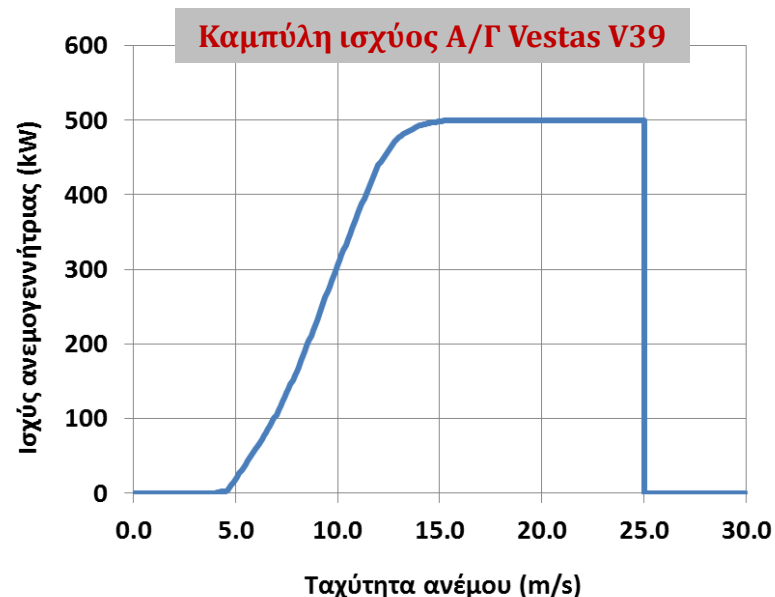
Παράδειγμα 2: Προσομοίωση ανεμογεννήτριας

- ❑ A/Γ Vestas V39, ονομαστικής ισχύος 500 kW
- ❑ Χρονοσειρές ωριαίας ταχύτητας ανέμου και ωριαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας μήκους 10 ετών (2006-2016)
- ❑ Συντελεστής αναγωγής ταχύτητας ανέμου: 1.57 (ύψος πτερωτής 53 m)
- ❑ Τοποθέτηση 6 A/Γ (συνολική ισχύς 3.0 MW), προκειμένου να καλύπτεται (θεωρητικά) η μέγιστη ωριαία ζήτηση (2.72 MWh)
- ❑ Ανάλυση με βάση το ιστόγραμμα συχνοτήτων της ωριαίας ταχύτητας ανέμου
- ❑ Προσομοίωση σε τρεις χρονικές κλίμακες (μηνιαία, ημερήσια, ωριαία), για την εκτίμηση των ελλειμμάτων και πλεονασμάτων ενέργειας

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από ομαδική εργασία προπτυχιακών και μεταπτυχιακών φοιτητών, που παρουσιάστηκε σε διεθνές συνέδριο:

- Daniil, V., G. Pouliasis, E. Zacharopoulou, E. Demetriou, G. Manou, M. Chalakatevaki, I. Parara, C. Georganta, P. Stamou, S. Karali, E. Hadjimitsis, G. Koudouris, E. Moschos, D. Roussis, K. Papoulakos, A. Koskinas, G. Pollakis, N. Gournari, K. Sakellari, Y. Moustakis, N. Mamassis, **A. Efstratiadis**, H. Tyralis, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, G. Karakatsanis, K. Tzouka, I. Deligiannis, V. Tsoukala, P. Papanicolaou, & D. Koutsoyiannis, The uncertainty of atmospheric processes in planning a hybrid renewable energy system for a non-connected island, *European Geosciences Union General Assembly 2017, Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, Vienna, 2017,*

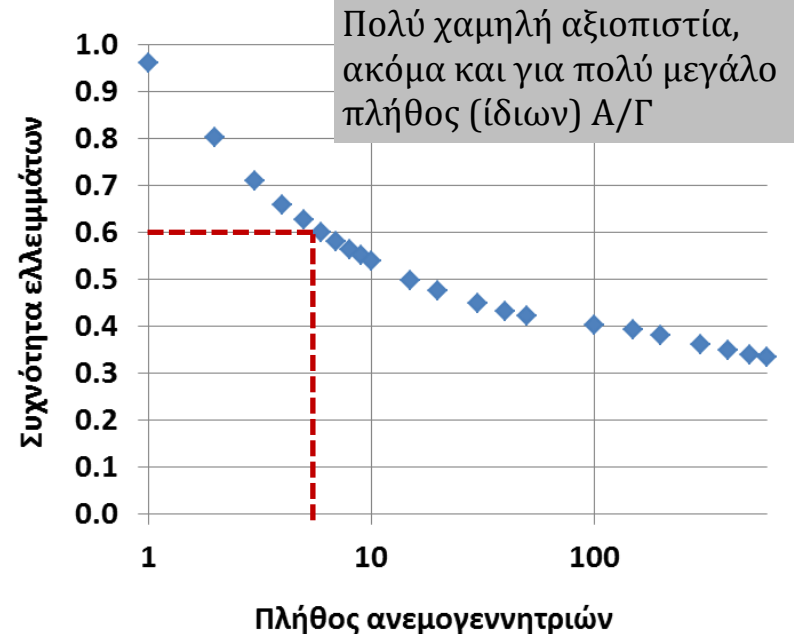
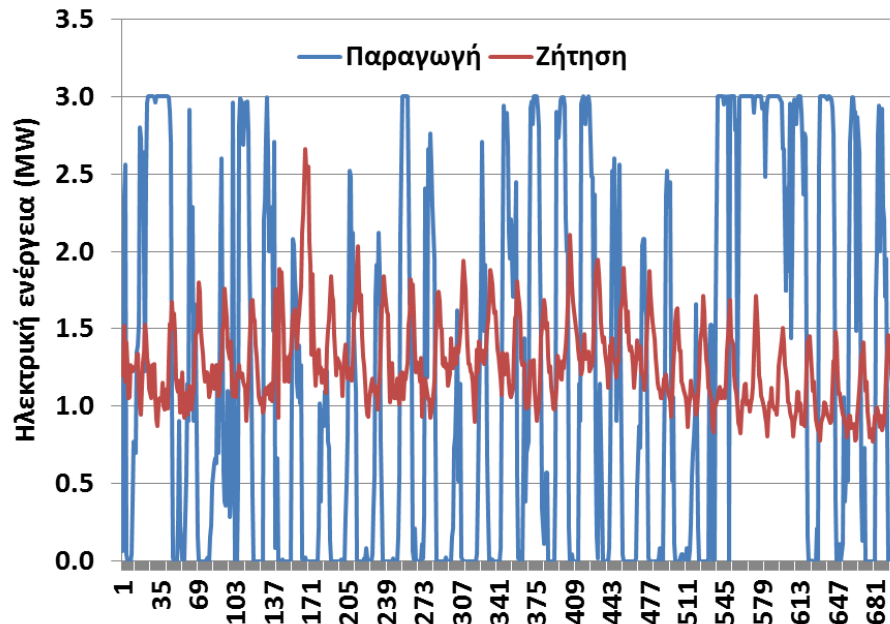
Τα υπόψη δεδομένα δίνονται και ως άσκηση κατάρτισης ενεργειακού μίγματος, στο μάθημα *Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα*.



Ενεργειακά μεγέθη σε τρεις χρονικές κλίμακες

| | Πλήρη δεδομένα (10 έτη) | | | Δεδομένα τριών ετών | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------|---------|---------------------|----------|---------|
| | Ωοιαία | Ημερήσια | Μηνιαία | Ωοιαία | Ημερήσια | Μηνιαία |
| Μέση παραγωγή ενέργειας (MWh) | 7873 | 7141 | 6591 | 8367 | 7908 | 7601 |
| Μέση ζήτηση (MWh) | 6306 | 6306 | 6312 | 6305 | 6306 | 6311 |
| Μέσο έλλειμμα (MWh) | 3282 | 2705 | 900 | 3168 | 2419 | 402 |
| Μέσο πλεόνασμα (MWh) | 4849 | 3540 | 1180 | 5230 | 4021 | 1691 |
| Συχνότητα ελλειμμάτων | 0.600 | 0.627 | 0.500 | 0.581 | 0.586 | 0.389 |
| Συχνότητα πλεονασμάτων | 0.400 | 0.373 | 0.500 | 0.419 | 0.414 | 0.611 |
| Συχνότητα λειτουργίας Α/Γ | 0.687 | 0.931 | 1.000 | 0.704 | 0.946 | 1.000 |

Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας, με βάση το διάγραμμα συχνοτήτων: **7932 MWh**

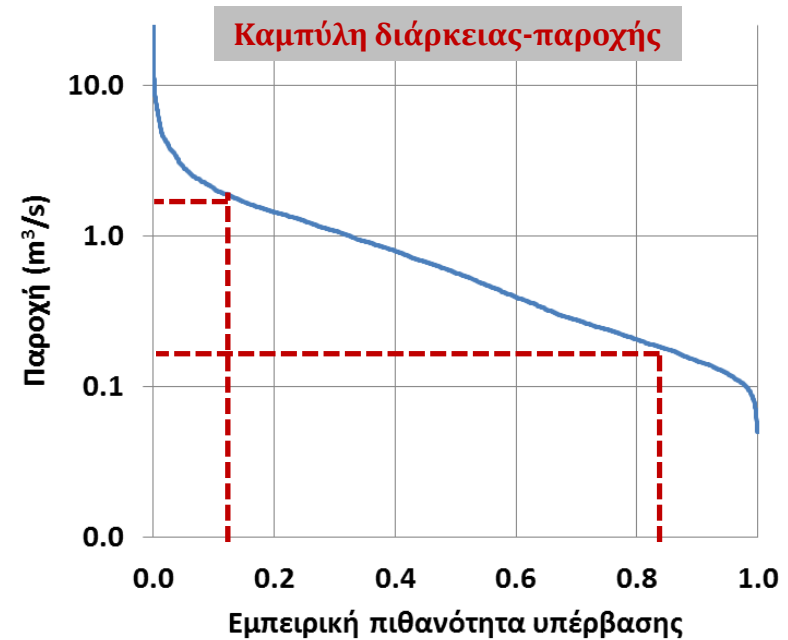


Παράδειγμα 3: (Στοχαστική) προσομοίωση ΜΥΗΕ

- ❑ Μικρό Υ/Η έργο, με βαθμό απόδοσης 90% (κατά προσέγγιση σταθερό)
- ❑ Ύψος πτώσης 150 m
- ❑ Εύρος λειτουργίας στροβίλου 0.2-2.0 m³/s
- ❑ Χρονοσειρά ημερήσιων παροχών, μήκους 10 ετών (μέση ετήσια απορροή 30 hm³)
- ❑ Χρονοσειρά ζήτησης παραδείγματος 2
- ❑ Προσομοίωση με:
 - ❑ Ιστορικά δεδομένα
 - ❑ Συνθετικά δεδομένα από πρωτότυπα στοχαστικά μοντέλα (2000 έτη)

| Χρονοσειρά παροχών | Ιστορική | Στοχαστική |
|---------------------------------|----------|------------|
| Μέση ετήσια παραγωγή (MWh) | 7213 | 6327 |
| Μέση ετήσια ζήτηση (MWh) | 6307 | 6306 |
| Μέσο ετήσιο έλλειμμα (MWh) | 3220 | 3085 |
| Μέσο ετήσιο πλεόνασμα (MWh) | 4127 | 3106 |
| Συχνότητα ελλειμμάτων | 0.544 | 0.631 |
| Συχνότητα πλεονασμάτων | 0.456 | 0.369 |
| Συχνότητα λειτουργίας στροβίλων | 0.807 | 0.757 |

Θεωρητικό υδροδυναμικό: **11 055 MWh** (30 hm³, 150 m, $\eta = 0.90$)



Καμπύλες διάρκειας-παροχής σε υδατορεύματα διαλείπουσας ροής:

- Rianna, M., A. Efstratiadis, F. Russo, F. Napolitano, & D. Koutsoyiannis, A stochastic index method for calculating annual flow duration curves in intermittent rivers, *Irrigation and Drainage*, 62(S2), 41-49, 2013.

Πρόγνωση χαμηλών ροών ξηρής περιόδου:

- Risva, K., D. Nikolopoulos, A. Efstratiadis, & I. Nalbantis, A framework for dry period low flow forecasting in Mediterranean streams, *Water Resources Management*, 2018.

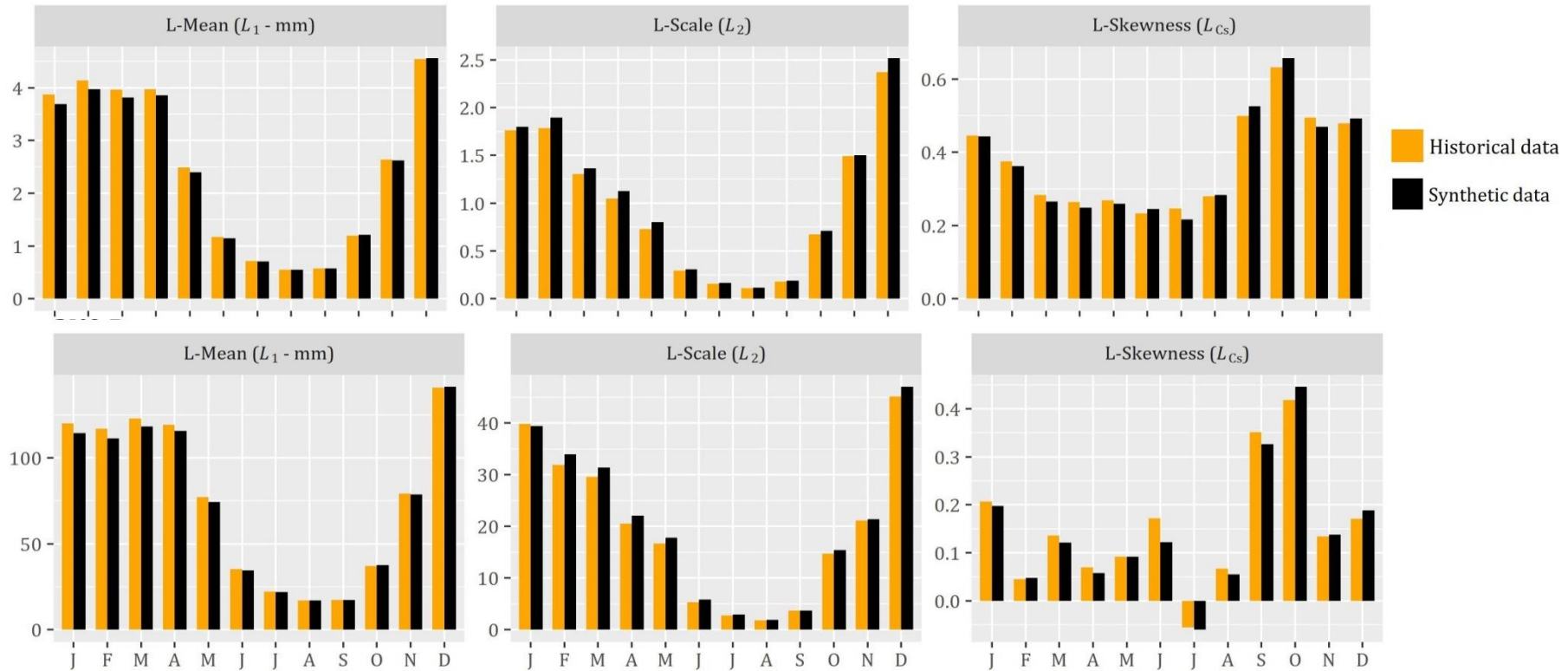
Προσομοίωση ΑΠΕ με στοχαστικές φορτίσεις

- Η υδρομετεωρολογική αβεβαιότητα (είσοδος) μεταφέρεται ως **αβεβαιότητα στην παραγόμενη ενέργεια** (έξοδος).
- Αναγκαία η **στατιστική-πιθανοτική αξιολόγηση** της επίδοσης των ΑΠΕ ως προς:
 - τη μέση παραγόμενη ενέργεια και τη μεταβλητότητά της
 - τα ελλείμματα/πλεονάσματα και τη συχνότητά τους (μέτρο **αξιοπιστίας**)
- Η προσομοίωση με χρήση συνθετικών φορτίσεων μεγάλου μήκους, οι οποίες παράγονται από **στοχαστικά μοντέλα** επιτρέπει:
 - την εκτίμηση των ζητούμενων πιθανοτικών μεγεθών με επαρκή ακρίβεια
 - τη διερεύνηση μακροχρόνιων υδροκλιματικών αλλαγών, που αποτελούν εγγενές χαρακτηριστικών των υδρομετεωρολογικών διεργασιών

Συμβολή στην ανάπτυξη στοχαστικών μοντέλων γέννησης συνθετικών χρονοσειρών (λογισμικά Κασταλία & Υετός):

- Koutsoyiannis, D., & **A. Efstratiadis**, A stochastic hydrology framework for the management of multiple reservoir systems, *26th General Assembly of the European Geophysical Society, Geophysical Research Abstracts, Vol. 3, Nice, 2001.*
- **Ευστρατιάδης, Α.**, Δ. Κουτσογιάννης, & Σ. Κοζάνης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών «Κασταλία», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Τεύχος 3, 61 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών & Θαλάσσιων Έργων ΕΜΠ, Αθήνα, 2005.
- Kossieris, P., D. Koutsoyiannis, C. Onof, H. Tyrallis, & **A. Efstratiadis**, HyetosR: An R package for temporal stochastic simulation of rainfall at fine time scales, *EGU General Assembly 2012, Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, Vienna, 2012.*
- **Efstratiadis, A.**, Y. Dialynas, S. Kozanis, & D. Koutsoyiannis, A multivariate stochastic model for the generation of synthetic time series at multiple time scales reproducing long-term persistence, *Environmental Modelling & Software*, 62, 139-152, 2014.
- Tsoukalas, I., P. Kossieris, **A. Efstratiadis**, C. Makropoulos, & D. Koutsoyiannis, CastaliaR: An R package for multivariate stochastic simulation at multiple temporal scales, *EGU General Assembly 2018, Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, Vienna, 2018.*

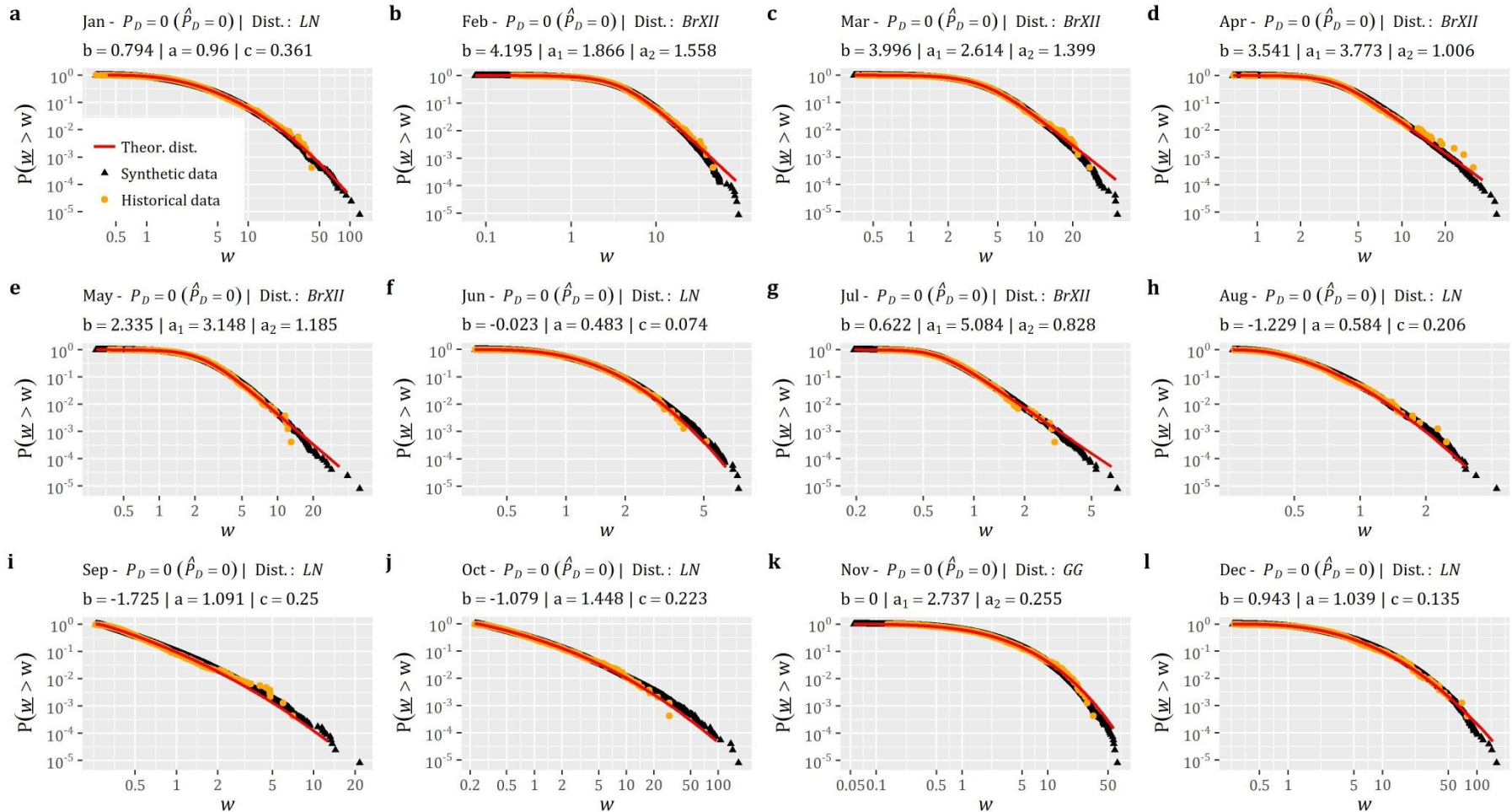
Στατιστική συνέπεια συνθετικών δεδομένων: Αναπαγωγή στατιστικών χαρακτηριστικών (L-ροπές) στην ημερήσια και μηνιαία κλίμακα



Πρόσφατη έρευνα σε θέματα στοχαστικής προσομοίωσης (μοντέλο SPARTA):

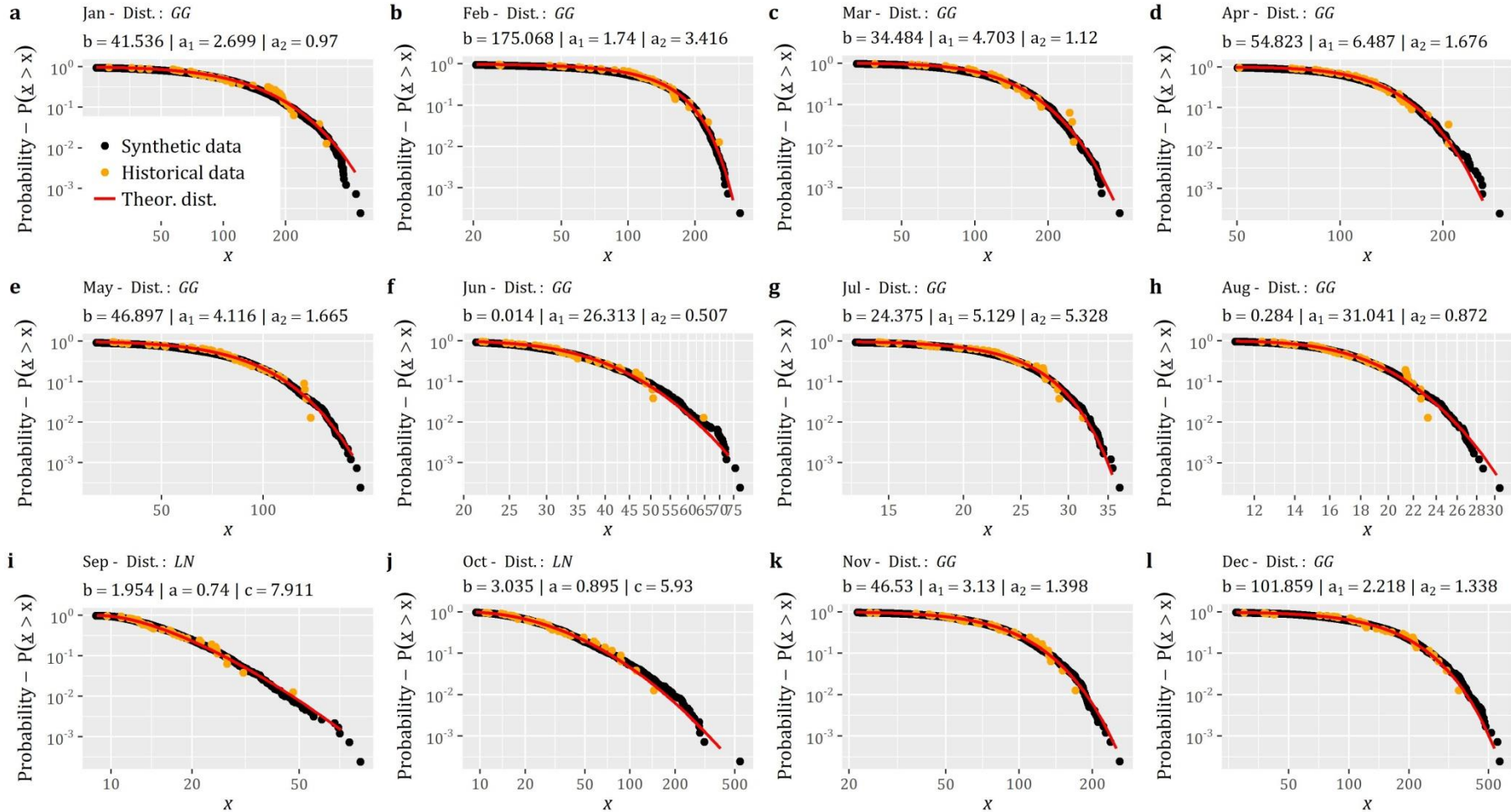
- Tsoukalas, I., C. Makropoulos, & A. Efstratiadis, Stochastic simulation of periodic processes with arbitrary marginal distributions, *15th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2017)*, Global Network on Environmental Science and Technology, Rhodes, 2017.
- Tsoukalas, I., A. Efstratiadis, & C. Makropoulos, Stochastic periodic autoregressive to anything (SPARTA): Modelling and simulation of cyclostationary processes with arbitrary marginal distributions, *Water Resources Research*, 54(1), 161-185, 2018.

Στατιστική συνέπεια συνθετικών δεδομένων: Κατανομές ημερήσιων απορροών



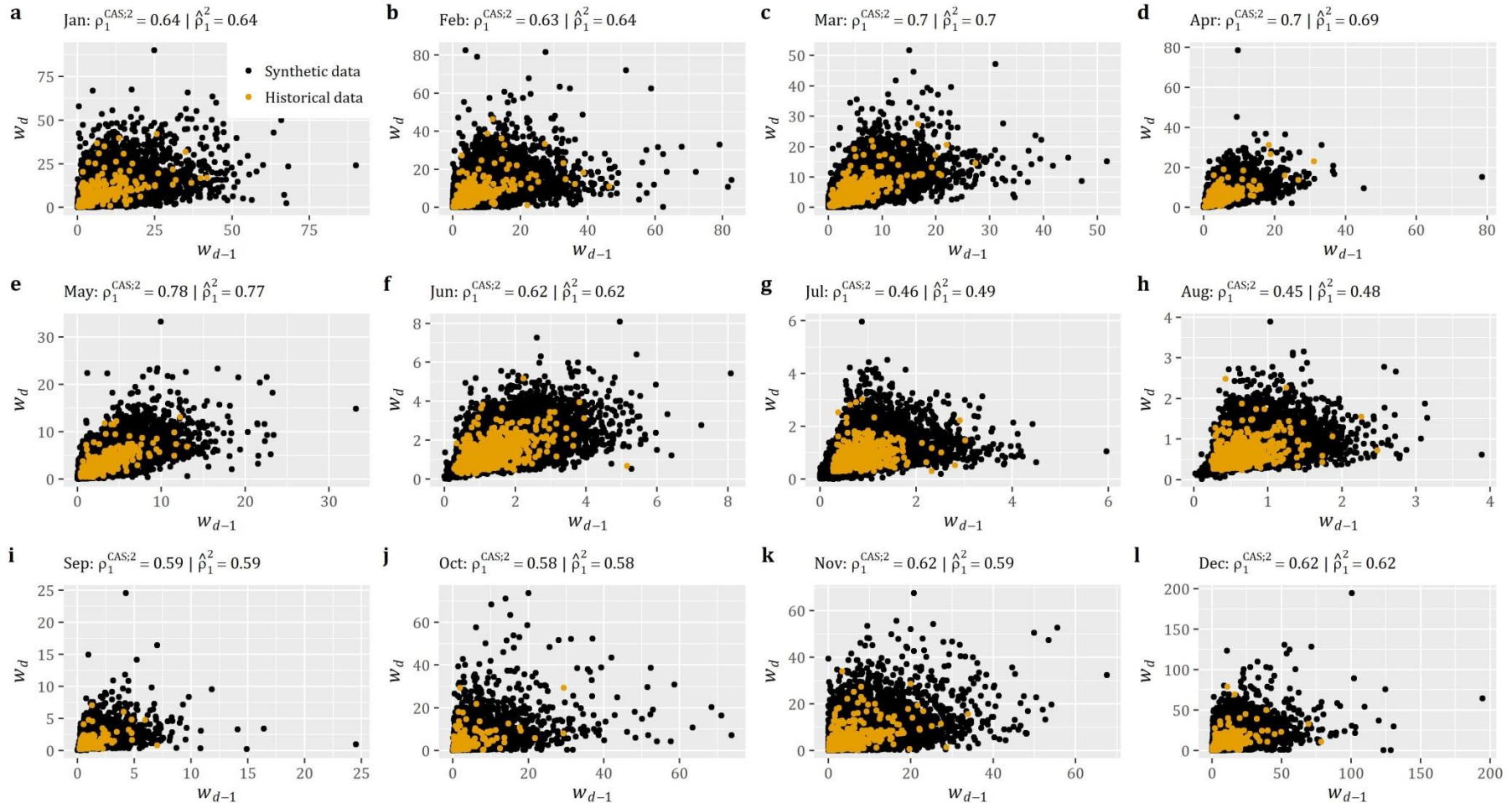
Έμφαση στην αναπαραγωγή των κατανομών των διεργασιών, σε πολλαπλές χρονικές κλίμακες – όχι αποκλειστικά των δειγματικών στατιστικών χαρακτηριστικών, τα οποία διέπονται από υψηλή αβεβαιότητα

Στατιστική συνέπεια συνθετικών δεδομένων: Κατανομές μηνιαίων απορροών



Ζητούμενο είναι η επιλογή της καταλληλότερης κατανομής, ανά χρονική κλίμακα και εποχή, καθώς και η επιλογή της καταλληλότερης εκτιμήτριας των παραμέτρων κάθε κατανομής (έρευνα σε εξέλιξη).

Στατιστική συνέπεια συνθετικών δεδομένων: Αναπαραγωγή αυτοσυσχετίσεων 1^{ης} τάξης



Αδυναμίες γραμμικών στοχαστικών μοντέλων στην αναπαραγωγή των παρατηρημένων συσχετίσεων:

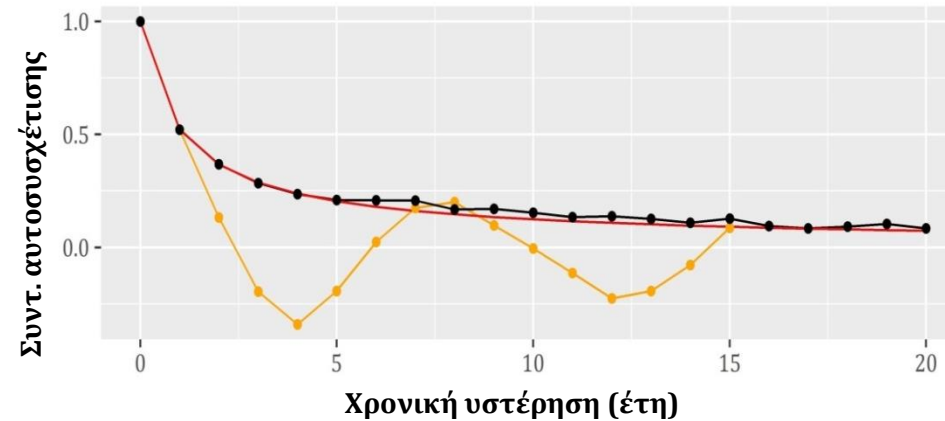
- Tsoukalas, I., S.M. Papalexiou, A. Efstratiadis, & C. Makropoulos, A cautionary note on the reproduction of dependencies through linear stochastic models with non-Gaussian white noise, *Water*, 10(6), 771, 2018.

Στατιστική συνέπεια συνθετικών δεδομένων: Αναπαγωγή κλιματικής μεταβλητότητας (long-term persistence, δυναμική Hurst-Kolmogorov)

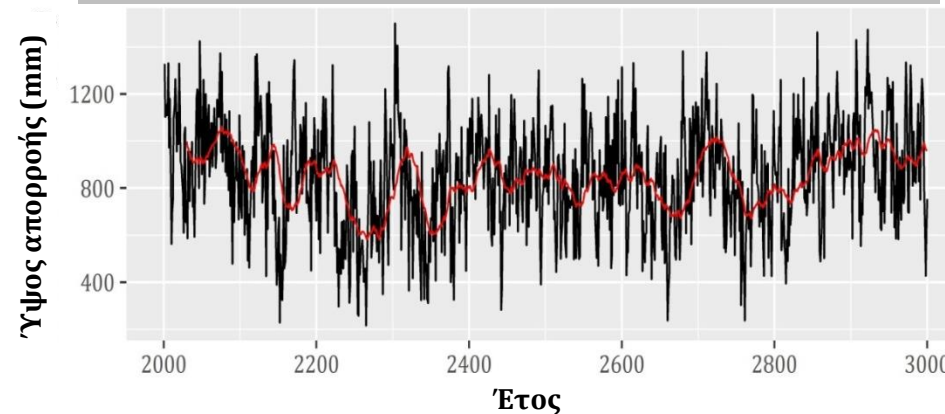
Στοχαστικές έναντι ντετερμινιστικών προσεγγίσεων (π.χ. «προγνώσεις» κλιματικών μοντέλων) για την περιγραφή κλιματικών και περιβαλλοντικών αλλαγών:

- Koutsoyiannis, D., **A. Efstratiadis**, & K. Georgakakos, Uncertainty assessment of future hydroclimatic predictions: A comparison of probabilistic and scenario-based approaches, *Journal of Hydrometeorology*, 8(3), 261-281, 2007.
- Koutsoyiannis, D., **A. Efstratiadis**, N. Mamassis, & A. Christofides, On the credibility of climate predictions, *Hydrological Sciences Journal*, 53(4), 671-684, 2008.
- Anagnostopoulos, G. G., D. Koutsoyiannis, A. Christofides, **A. Efstratiadis**, & N. Mamassis, A comparison of local and aggregated climate model outputs with observed data, *Hydrological Sciences Journal*, 55(7), 1094-1110, 2010.
- Koutsoyiannis, D., A. Christofides, **A. Efstratiadis**, G. G. Anagnostopoulos, & N. Mamassis, Scientific dialogue on climate: is it giving black eyes or opening closed eyes? Reply to “A black eye for the Hydrological Sciences Journal” by D. Huard, *Hydrological Sciences Journal*, 56(7), 1334-1339, 2011.
- **Efstratiadis, A.**, I. Nalbantis, & D. Koutsoyiannis, Hydrological modelling of temporally-varying catchments: Facets of change and the value of information, *Hydrological Sciences Journal*, 60(7-8), 1438-1461, 2015.

Εμπειρικό & θεωρητικό αυτοσυσχετόγραμμα



Συνθετική χρονοσειρά & κινούμενοι μέσοι όροι 30 ετών



Παράδειγμα 4: Μίξη ΑΠΕ (χωρίς αποθήκευση)

❑ **Μεθοδολογία:**

- Μίξη διαφορετικών ΑΠΕ ή έργων με διαφορετικά χαρακτηριστικά (π.χ. Α/Γ διαφορετικής ισχύος, στρόβιλοι που λειτουργούν σε διαφορετικό εύρος ροών)
- Αφού δεν υπάρχει αποθήκευση, απλά αθροίζονται οι τιμές της ενέργειας που παράγεται από τα επιμέρους έργα (δεν υπάρχει διαχειριστικό πρόβλημα)

❑ **Εφαρμογή: συνδυασμός Α/Γ και ΜΥΗΕ παραδειγμάτων 2 & 3**

- Θεωρούνται τα ίδια έργα, με το ήμισυ της ισχύος τους (τρεις Α/Γ Vestas V39, συνολικής ισχύος 1.5 MW, εύρος λειτουργίας ΜΥΗΕ από 0.1 έως 1.0 m³/s)
- Μείωση παραγόμενης ενέργειας, μείωση ελλειμμάτων και πλεονασμάτων
- Βελτιώνεται η αξιοπιστία του συστήματος, αλλά όχι σημαντικά

| | 6 Α/Γ 3.0 MW | ΜΥΗΕ 0.2-2.0 m ³ /s | 3 Α/Γ 3.0 MW + ΜΥΗΕ 0.1-1.0 m ³ /s |
|-----------------------------|--------------|--------------------------------|---|
| Μέση ετήσια παραγωγή (MWh) | 7141 | 7213 | 6616 |
| Μέση ετήσια ζήτηση (MWh) | 6306 | 6306 | 6306 |
| Μέσο ετήσιο έλλειμμα (MWh) | 2705 | 3220 | 1860 |
| Μέσο ετήσιο πλεόνασμα (MWh) | 3540 | 4127 | 2169 |
| Συχνότητα ελλειμμάτων | 0.627 | 0.544 | 0.471 |
| Συχνότητα πλεονασμάτων | 0.373 | 0.456 | 0.529 |
| Συχνότητα λειτουργίας έργων | 0.931 | 0.807 | 0.999 |

Ζητούμενο είναι η επιλογή του πλέον πρόσφορου συνδυασμού έργων ΑΠΕ (**ενεργειακό μίγμα**), με το οποίο μεγιστοποιείται η επίδοση του συστήματος → **πρόβλημα στοχαστικής προσομοίωσης-βελτιστοποίησης**

Στοχαστική προσομοίωση – βελτιστοποίηση

Ανάπτυξη πρωτότυπων τεχνικών μη γραμμικής (ολικής) και πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης σύνθετων συστημάτων:

- **Ευστρατιάδης, Α.**, Διερεύνηση μεθόδων αναζήτησης ολικού βελτίστου σε προβλήματα υδατικών πόρων, Μεταπτυχιακή εργασία, 139 σ., ΤΥΠΥΘΕ, ΕΜΠ, 2001.
- **Efstratiadis, A.**, & D. Koutsoyiannis, An evolutionary annealing-simplex algorithm for global optimisation of water resource systems, *Proceedings of the Fifth International Conference on Hydroinformatics*, Cardiff, UK, 1423-1428, IWA, 2002.
- **Efstratiadis, A.**, & D. Koutsoyiannis, Fitting hydrological models on multiple responses using the multiobjective evolutionary annealing simplex approach, *Practical hydroinformatics: Computational intelligence and technological developments in water applications*, R.J. Abraham, L.M. See, & D.P. Solomatine, 259-273, Springer, 2008.
- **Ευστρατιάδης, Α.**, Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων, Διδακτορική διατριβή, 391 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος ΕΜΠ, 2008.
- **Efstratiadis, A.**, & D. Koutsoyiannis, One decade of multiobjective calibration approaches in hydrological modelling: a review, *Hydrological Sciences Journal*, 55(1), 58-78, 2010.
- Kossieris, P., **A. Efstratiadis**, & D. Koutsoyiannis, The use of stochastic objective functions in water resource optimization problems, *Facets of Uncertainty: 5th EGU Leonardo Conference – Hydrofractals 2013 – STAHY 2013*, Kos Island, 2013.
- Pollacco, J. A. P., B. P. Mohanty, and **A. Efstratiadis**, Weighted objective function selector algorithm for parameter estimation of SVAT models with remote sensing data, *Water Resources Research*, 49(10), 6959-6978, 2013.

Γενική δομή προβλήματος:

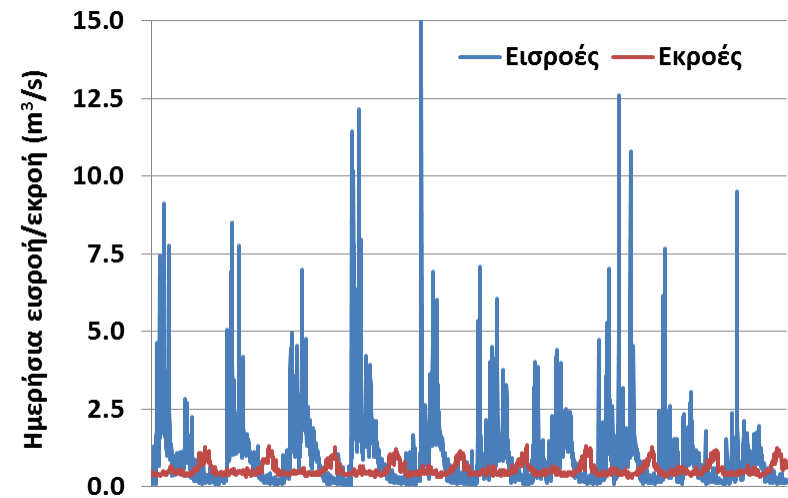
- Μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας ενός συστήματος, με συνθετικές εισόδους
- Μεταβλητές ελέγχου: **μεγέθη σχεδιασμού** ή παράμετροι που σχετίζονται με τη λειτουργία και διαχείριση του συστήματος (**μεταβλητές απόφασης**).
- Βελτιστοποίηση ως προς ένα **βαθμωτό μέτρο επίδοσης** ή ως προς **πολλαπλά κριτήρια**.

Χαρακτηριστικά προβλήματος:

- Μη κυρτή επιφάνεια απόκρισης, με πολλαπλά ακρότατα και γεωμετρικές ιδιαιτερότητες
- Υψηλός υπολογιστικός φόρτος προσομοίωσης
- Ζητούμενο ο **συμβιβασμός ταχύτητας και ακρίβειας**

Παράδειγμα 5: Προσομοίωση Υ/Η ταμιευτήρα

- ❑ Όπως το πρόβλημα 3, με την υπόθεση **μικρού ταμιευτήρα** εποχιακής ρύθμισης (ωφέλιμη χωρητικότητα 6.0 hm^3 , ίση με το $1/5$ της μέσης ετήσιας απορροής).
- ❑ Η παραγωγή ενέργειας δεν εξαρτάται από την τρέχουσα εισροή αλλά την **αλληλουχία των παρελθόντων εισροών και εκροών**.
- ❑ Συμπεράσματα:
 - ❑ 100% εκμετάλλευση υδροδυναμικού
 - ❑ Μηδενική συχνότητα ελλειμμάτων
 - ❑ Προκύπτει δυνατότητα κάλυψης πρόσθετων χρήσεων νερού και **περιβαλλοντικών περιορισμών**



Μη ελεγχόμενες εισροές vs. εκροές

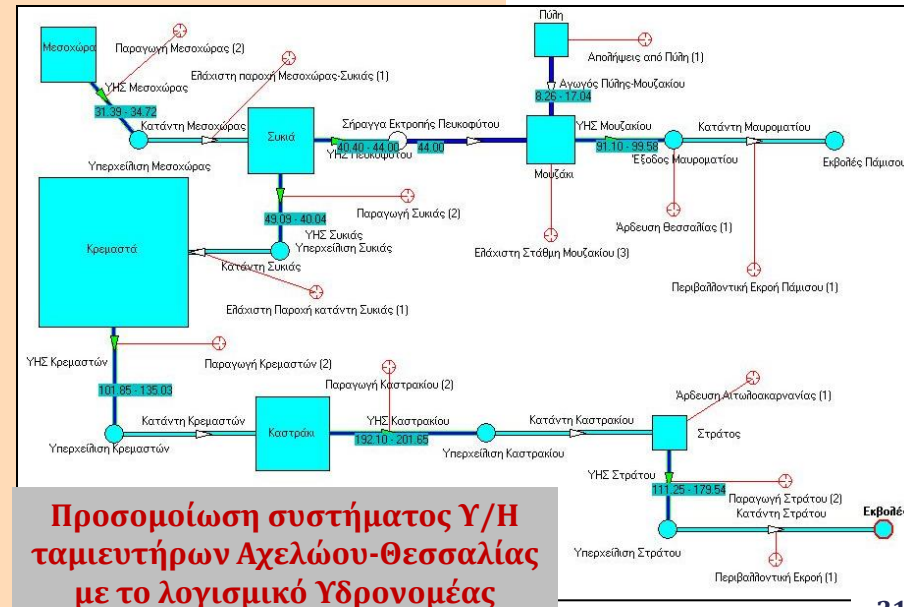
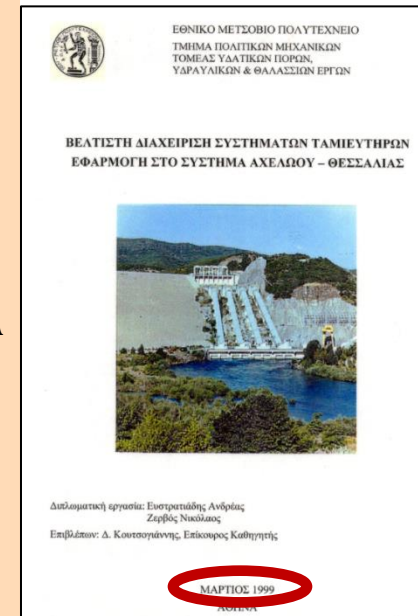
Αντικρουόμενα κριτήρια και περιβαλλοντικοί περιορισμοί στη διαχείριση Υ/Η ταμιευτήρων πολλαπλού σκοπού:

- Christofides, A., **A. Efstratiadis**, D. Koutsoyiannis, G.-F. Sargentis, & K. Hadjibiros, Resolving conflicting objectives in the management of the Plastiras Lake: can we quantify beauty?, *Hydrology & Earth System Sciences*, 9(5), 507-515, 2005.
- Hadjibiros, K., A. Katsiri, A. Andreadakis, D. Koutsoyiannis, A. Stamou, A. Christofides, **A. Efstratiadis**, & G.-F. Sargentis, Multi-criteria reservoir water management, *Global Network for Environmental Science & Technology*, 7(3), 386-394, 2005.
- **Efstratiadis, A.**, & K. Hadjibiros, Can an environment-friendly management policy improve the overall performance of an artificial lake? Analysis of a multipurpose dam in Greece, *Environmental Science & Policy*, 14(8), 1151-1162, 2011.
- **Efstratiadis, A.**, A. Tegos, A. Varveris, & D. Koutsoyiannis, Assessment of environmental flows under limited data availability – Case study of the Acheloos River, Greece, *Hydrological Sciences Journal*, 59(3-4), 731-750, 2014.
- Tegos, A., W. Schlüter, N. Gibbons, Y. Katselis, & **A. Efstratiadis**, Assessment of environmental flows from complexity to parsimony - Lessons from Lesotho, *Water*, 10(10), 1293, 2018.

Μοντελοποίηση συστημάτων Υ/Η ταμιευτήρων

Προσομοίωση & βελτιστοποίηση συστημάτων ταμιευτήρων - Λογισμικό Υδρονομέας:

- **Ευστρατιάδης, Α.,** Ν. Ζερβός, Γ. Καραβοκυρός, & Δ. Κουτσογιάννης, Το υπολογιστικό σύστημα Υδρονομέας και η εφαρμογή του στην προσομοίωση συστημάτων ταμιευτήρων, *Διαχείριση υδατικών πόρων σε ευαίσθητες περιοχές του Ελλαδικού χώρου – Πρακτικά 4ου Εθνικού Συνεδρίου*, Ελληνική Επιτροπή για τη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Βόλος, 1999.
- Koutsoyiannis, D., **A. Efstratiadis**, & G. Karavokiros, A decision support tool for the management of multi-reservoir systems, *Journal of American Water Resources Association*, 38(4), 945-958, 2002.
- Koutsoyiannis, D., G. Karavokiros, **A. Efstratiadis**, N. Mamassis, A. Koukouvinos, & A. Christofides, A decision support system for the management of the water resource system of Athens, *Physics & Chemistry of the Earth*, 28(14-15), 599-609, 2003.
- Κουτσογιάννης, Δ., & **Α. Ευστρατιάδης**, Εμπειρία από την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση μεγάλης κλίμακας υδροσυστημάτων της Ελλάδας, *Μελέτες και Έρευνες Υδατικών Πόρων στον Κυπριακό Χώρο*, 159-180, ΤΑΥ-ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2003.
- **Efstratiadis, A.**, D. Koutsoyiannis, & D. Xenos, Minimizing water cost in the water resource management of Athens, *Urban Water Journal*, 1(1), 3-15, 2004.
- **Efstratiadis, A.**, D. Bouziotas, & D. Koutsoyiannis, The parameterization-simulation-optimization framework for the management of hydroelectric reservoir systems, *Hydrology & Society, EGU Leonardo Topical Conference Series on the Hydrological Cycle 2012*, Torino, 2012.
- **Ευστρατιάδης, Α.,** Δ. Μπουζιώτας, & Δ. Κουτσογιάννης, Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων – Εφαρμογή στο υδροσύστημα Αχελώου-Θεσσαλίας, *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Φραγμάτων και Ταμιευτήρων*, Αθήνα, 2013.
- Nikolopoulos, D., **A. Efstratiadis**, G. Karavokiros, N. Mamassis, & C. Makropoulos, Stochastic simulation-optimization framework for energy cost assessment across the water supply system of Athens, *European Geosciences Union General Assembly 2018, Geophysical Research Abstracts*, Vol. 20, 2018.



Προσομοίωση συστήματος Υ/Η ταμιευτήρων Αχελώου-Θεσσαλίας με το λογισμικό Υδρονομέας

Νερό & ανανεώσιμη ενέργεια: μια αδήριτη σχέση

Ο κομβικός ρόλος της υδροηλεκτρικής ενέργειας και της αντλησιοταμίευσης στο σύγχρονο ενεργειακό τοπίο:

- Koutsoyiannis, D., C. Makropoulos, A. Langousis, S. Baki, A. Efstratiadis, A. Christofides, G. Karavokiros, & N. Mamassis, Climate, hydrology, energy, water: recognizing uncertainty and seeking sustainability, *Hydrology & Earth System Sciences*, 13, 247-257, 2009.
- Koutsoyiannis, D., & A. Efstratiadis, The necessity for large-scale hybrid renewable energy systems, *Hydrology and Society, EGU Leonardo Topical Conference Series on the Hydrological Cycle 2012*, Torino, 2012.
- Karakatsanis, G., N. Mamassis, D. Koutsoyiannis, & A. Efstratiadis, Entropy, pricing and macroeconomics of pumped-storage systems, *European Geosciences Union General Assembly 2014, Geophysical Research Abstracts, Vol. 16*, 2014.

Το νερό ως παραγωγός ενέργειας:

- Άμεσος παραγωγός: υδροηλεκτρική ενέργεια (μικρά & μεγάλα ΥΗΕ)
- Έμμεσος παραγωγός: βιοκαύσιμα (άρδευση), θερμικοί σταθμοί (ψύξη)

Το νερό ως καταναλωτής ενέργειας:

- Άντληση υπόγειου νερού
- Μεταφορά νερού μέσω καταθλιπτικών αγωγών
- Επεξεργασία νερού (αφαλάτωση)

Το νερό ως ρυθμιστής ενέργειας:

- Αποθήκευση υδροδυναμικής ενέργειας σε ταμιευτήρες
- Κάλυψη ενεργειακών αιχμών μέσω μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων
- Αντλησιοταμίευση, σε συνδυασμό με άλλες ΑΠΕ (υβριδικά συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας)

Research Project CRESSENDO

Home Project Publications Map

CRESSENDO

Combined REnewable Systems for Sustainable ENergy DEvelopment

Abstract

The project's objective is to develop a hybrid renewable energy systems, in which the uncertainty of energy units and their spatial extent, uncertainty decreases. Outcomes of the research include a coherent stochastic-entropic theory for uncertainty assessment of the processes that are related to energy production (wind velocity, solar radiation, streamflow), and a parameterization-simulation-optimization scheme inspired from established system-based approaches for supporting optimal decision-making in complex water management problems. The whole framework is integrated within a decision support system (DSS), in which several software tools are integrated. The methodology and the DSS are tested at a large region that covers 12% of Greece, characterized by substantial hydropower potential. The study area is viewed as a closed and energy-autonomous system, in order to investigate the perspectives of sustainable development at a regional scale, using exclusively renewable energy sources. Following the principle of openness, we provide free accessibility to data, methods and tools, through a broad range of dissemination activities.

**Πρόγραμμα ΑΡΙΣΤΕΙΑ, με
αντικείμενο τα υβριδικά
συστήματα ΑΠΕ (2014-2016)**

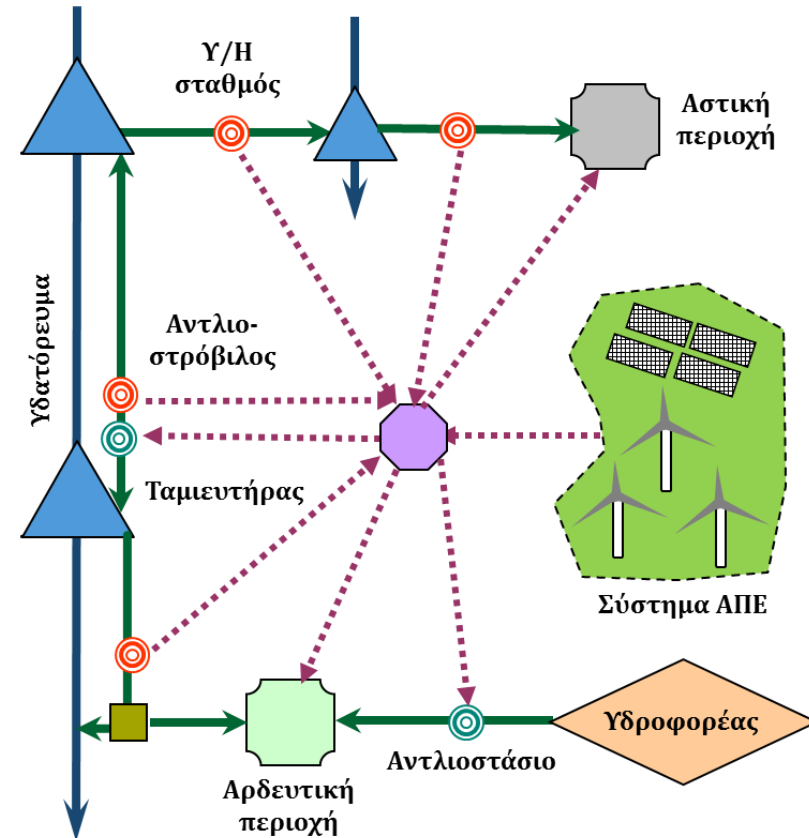
Από τη διαχείριση του νερού στη διαχείριση υβριδικών συστημάτων νερού-ενέργειας

«Συμβατική» διαχείριση υδατικών πόρων:

- Κατανομή αποθεμάτων και εκροών
- Βελτιστοποίηση οφέλους/κόστους
- Συμβιβασμός πολλαπλών και αντικρουόμενων χρήσεων νερού και διαχειριστικών περιορισμών

Συνδυασμένη διαχείριση νερού-ενέργειας:

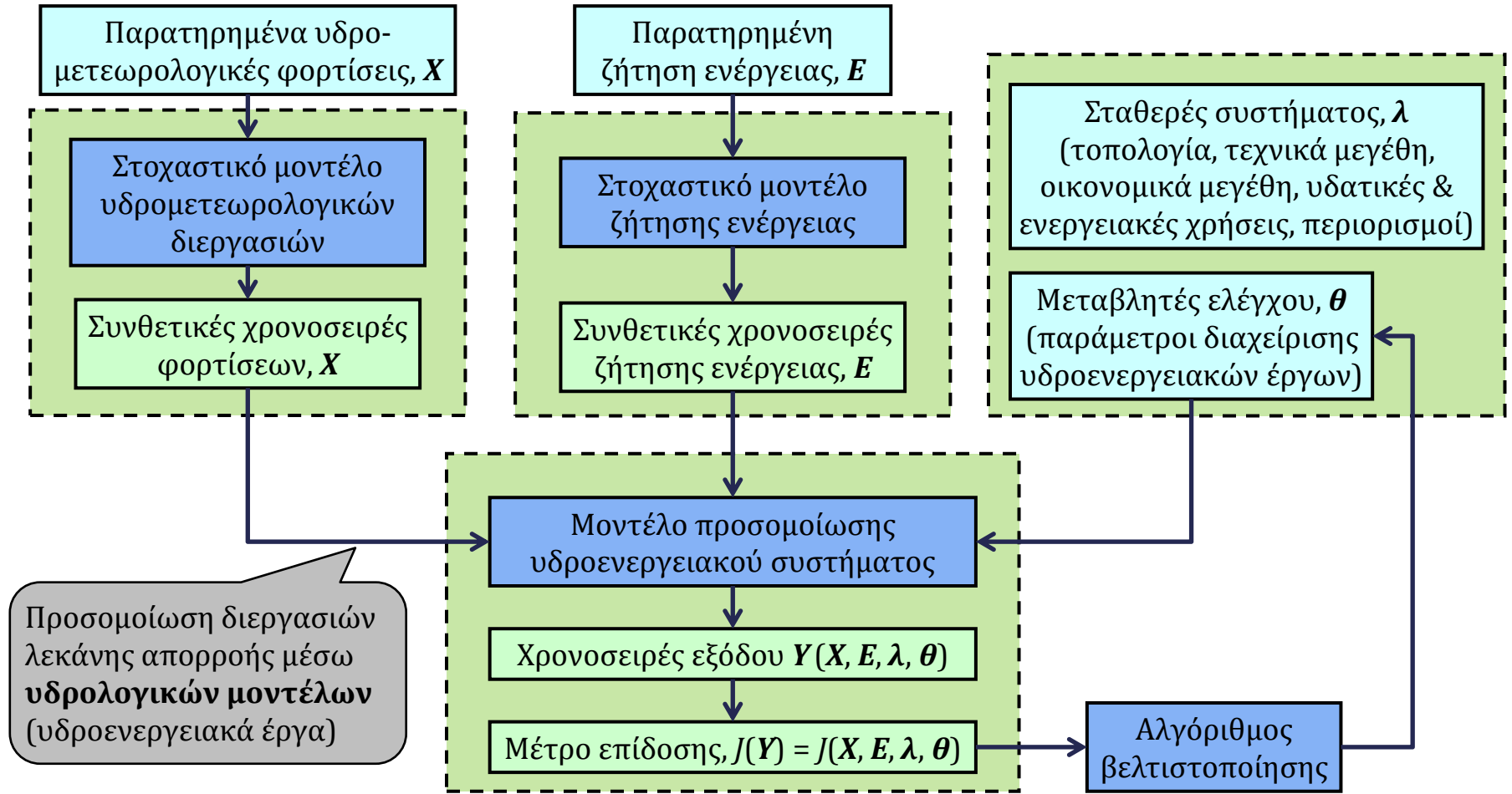
- Βέλτιστη κατανομή υδατικών και ενεργειακών πόρων, για την ταυτόχρονη ικανοποίηση των υδατικών & ενεργειακών αναγκών και περιβαλλοντικών περιορισμών
- Πρόσθετη πολυπλοκότητα λόγω της αποθήκευσης των πλεονασμάτων ενέργειας (αντλησιοταμίευση)
- Αύξηση πλήθους μεταβλητών ελέγχου, περιορισμών και κριτηρίων
- Αναγκαία η εφαρμογή λεπτής χρονικής διακριτότητας (ωριαία)



Υπολογιστικές προκλήσεις συστημάτων νερού-ενέργειας:

- **Efstratiadis, A.,** I. Tsoukalas, P. Kossieris, G. Karavokiros, A. Christofides, A. Siskos, N. Mamassis, & D. Koutsoyiannis, Computational issues in complex water-energy optimization problems: Time scales, parameterizations, objectives and algorithms, *European Geosciences Union General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, Vienna, 2015.*

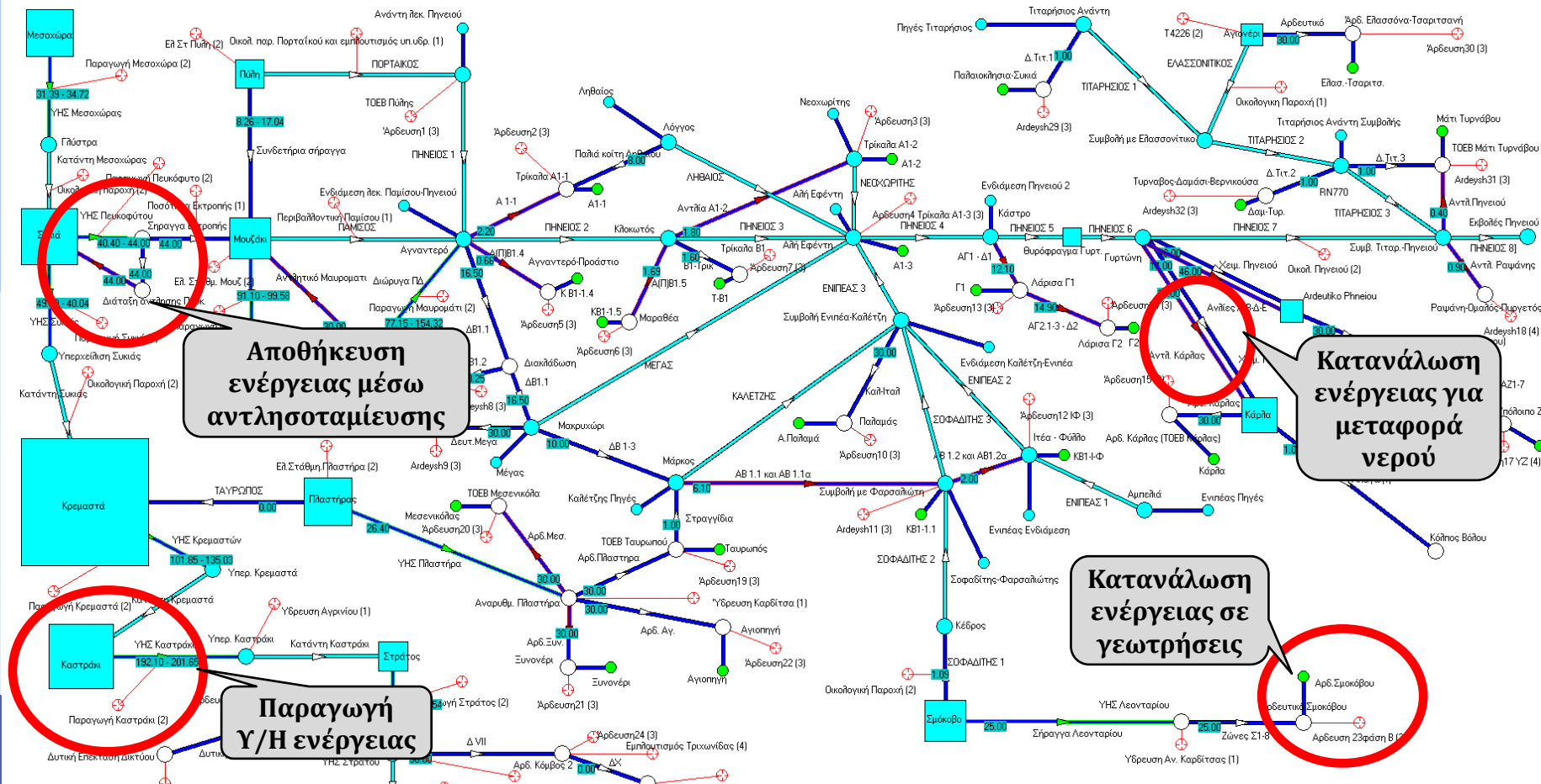
Γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο



Γενίκευση πλαισίου παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση για υβριδικά συστήματα νερού-ενέργειας:

- **Ευστρατιάδης, Α.**, Ν. Μαμάσης, Ι. Μαρκόνης, Π. Κοσιέρης, & Χ. Τύραλης, Μεθοδολογικό πλαίσιο βέλτιστου σχεδιασμού και συνδυασμένης διαχείρισης υδατικών και ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων, *Συνδυασμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών για αειφορική ενεργειακή ανάπτυξη (CRESSENDO)*, 154 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος ΕΜΠ, 2015.
- Σίσκος, Α., Γ. Καραβοκυρός, Α. Χριστοφίδης, & **Α. Ευστρατιάδης**, Ανάπτυξη συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, *Συνδυασμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών για αειφορική ενεργειακή ανάπτυξη (CRESSENDO)*, 103 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος ΕΜΠ, 2015.

Υβριδικά συστήματα μεγάλης κλίμακας



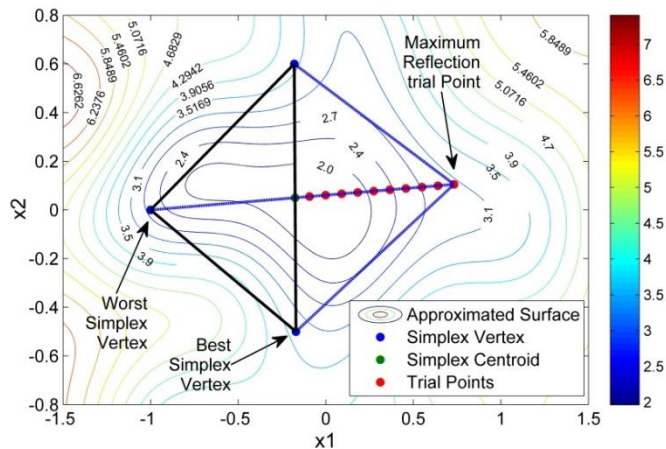
Προσομοίωση νερού-ενέργειας στο υποθετικά αυτόνομο σύστημα των διασυνδεδεμένων λεκανών Αχελώου & Πηνειού:

- Μαμάσης, Ν., Α. Ευστρατιάδης, & Δ. Κουτσογιάννης**, Προοπτικές συνδυασμένης διαχείρισης νερού και ενέργειας στην περιοχή της Θεσσαλίας, *Φορέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων: Μια απαραίτητη εκσυγχρονιστική πρωτοβουλία αλλά και αναγκαία προϋπόθεση για την διαφύλαξη της οικολογικής ισορροπίας*, Λάρισα, ΤΕΕ Κ/Δ Θεσσαλίας, 2014.
- Koukouvinos, A., D. Nikolopoulos, A. Efstratiadis, A. Tegos, E. Rozos, S.M. Papalexioy, P. Dimitriadis, Y. Markonis, P. Kossieris, H. Tyralis, G. Karakatsanis, K. Tzouka, A. Christofides, G. Karavokiros, A. Siskos, N. Mamassis, & D. Koutsoyiannis**, Integrated water and renewable energy management: the Acheloos-Peneios region case study, *European Geosciences Union General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17*, 2015.

Ο υπολογιστικός εφιάλτης

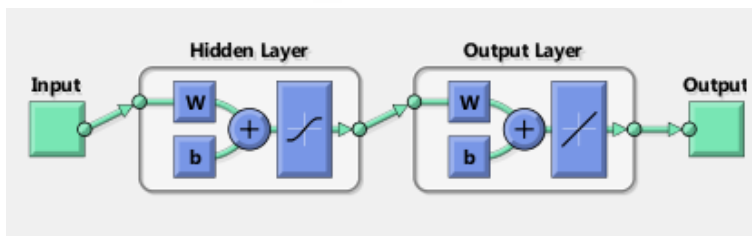
- ❑ Πολυπλοκότητα μοντέλου προσομοίωσης (πληθώρα οντοτήτων, διασυνδέσεων, μεταβλητών & περιορισμών)
- ❑ Απαίτηση λεπτής χρονικής διακριτότητας (π.χ. ωριαίας)
- ❑ Απαίτηση στοχαστικής προσομοίωσης, με χρήση συνθετικών υδρομετεωρολογικών φορτίσεων και υδατικών-ενεργειακών αναγκών (χρονοσειρές πολύ μεγάλου μήκους)
- ❑ Απαίτηση ταυτόχρονης βελτιστοποίησης μεγάλου αριθμού μεταβλητών ελέγχου και πολλαπλών κριτηρίων

Προσομοίωση & βελτιστοποίηση με τη χρήση υποκατάστατων (surrogate) προσεγγίσεων



Ανάπτυξη εργαλείων (υδρο)πληροφορικής για τον χειρισμό προβλημάτων εξαιρετικού υπολογιστικού φόρτου:

- Tsoukalas, I., P. Kossieris, **A. Efstratiadis**, & C. Makropoulos, Handling time-expensive global optimization problems through the surrogate-enhanced evolutionary annealing-simplex algorithm, *European Geosciences Union General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17*, 2015.
- Tsoukalas, I., P. Kossieris, **A. Efstratiadis**, & C. Makropoulos, Surrogate-enhanced evolutionary annealing simplex algorithm for effective and efficient optimization of water resources problems on a budget, *Environmental Modelling & Software*, 77, 122-142, 2016.
- Anyfanti, I., P. Dimitriadis, D. Koutsoyiannis, N. Mamassis, & **A. Efstratiadis**, Handling the computation effort of time-demanding water-energy simulation models through surrogate approaches, *European Geosciences Union General Assembly 2018, Geophysical Research Abstracts, Vol. 20*, 2018.

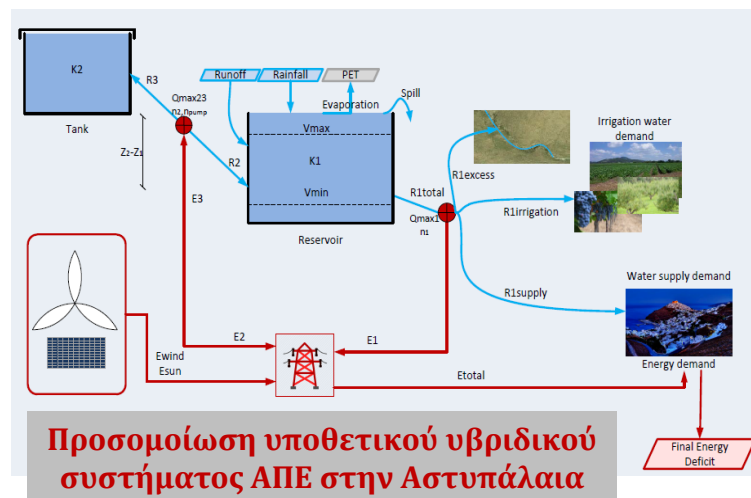


Ενεργειακή αυτονομία με ΑΠΕ: εφικτή ή ουτοπική;

Εφαρμογές μοντελοποίησης υβριδικών συστημάτων νερού & ΑΠΕ:

- Dimas, P., D. Bouziotas, **A. Efstratiadis**, & D. Koutsoyiannis, A stochastic simulation framework for planning and management of combined hydropower and wind energy systems, *Facets of Uncertainty: 5th EGU Leonardo Conference – Hydrofractals 2013 – STAHY 2013*, Kos, 2013.
- Dimas, P., D. Bouziotas, **A. Efstratiadis**, and D. Koutsoyiannis, A holistic approach towards optimal planning of hybrid renewable energy systems: Combining hydroelectric and wind energy, *European Geosciences Union General Assembly 2014, Geophysical Research Abstracts, Vol. 16*, 2014.
- Rozos, E., D. Nikolopoulos, **A. Efstratiadis**, A. Koukouvinos, & C. Makropoulos, Flow based vs. demand based energy-water modelling, *European Geosciences Union General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17*, 2015.
- Daskalou, O., M. Karanastasi, Y. Markonis, P. Dimitriadis, A. Koukouvinos, **A. Efstratiadis**, & D. Koutsoyiannis, GIS-based approach for optimal siting and sizing of renewables considering techno-environmental constraints and the stochastic nature of meteorological inputs, *European Geosciences Union General Assembly 2016, Geophysical Research Abstracts, Vol. 18*, 2016.
- Δήμας, Π., Δ. Μπουζιώτας, Δ. Νικολόπουλος, **Α. Ευστρατιάδης**, & Δ. Κουτσογιάννης, Πλαίσιο βέλτιστης διαχείρισης υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων μέσω άντλησης-ταμίευσης: Διερεύνηση στην περίπτωση των υδροσυστημάτων Αχελώου-Θεσσαλίας και Αλιάκμονα, *Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Φραγμάτων & Ταμιευτήρων*, Αθήνα, 2017.
- Papoulakos, K., G. Pollakis, Y. Moustakis, A. Markopoulos, T. Iliopoulou, P. Dimitriadis, D. Koutsoyiannis, & **A. Efstratiadis**, Simulation of water-energy fluxes through small-scale reservoir systems under limited data availability, *Energy Procedia*, 125, 405-414, 2017.

- Σαφής βελτίωση ενεργειακής επίδοσης με τη χρήση έργων αντλησιοταμίευσης.
- Η αποθήκευση ενέργειας δημιουργεί πρόσθετες συγκρούσεις όταν υπάρχουν ανταγωνιστικές χρήσεις νερού.
- Φαίνεται ότι ο στόχος της 100% ενεργειακής αυτονομίας μέσω ΑΠΕ είτε είναι μη εφικτός ή απαιτεί υπερβολικά δαπανηρές επενδύσεις σε νέες υποδομές.



Αντί επιλόγου



Επίσκεψη στις πηγές Κρύας της Λειβαδιάς, μαζί με τους φοιτητές Μ. Χαλακατεβάκη και Ε. Χαρδαβέλλα, μία εβδομάδα μετά την προκήρυξη της θέσης. Το υδροενεργειακό έργο στο φόντο προέκυψε εκ παραδρομής - η επίσκεψη έγινε με αφορμή την πραγματοποίηση υδρομετρήσεων στον ποταμό Έρκυνα.

Συνοπτικό προφίλ υποψηφίου

Σπουδές:

- Δίπλωμα Πολιτικού Μηχανικού ΕΜΠ (1999)
- ΜΔΕ Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων ΕΜΠ (2001)
- Διδακτορικό Δίπλωμα Πολιτικού Μηχανικού ΕΜΠ (2008)

Βιβλιομετρικά στοιχεία:

- 592 ετεροαναφορές στο Scopus (h-index: 13)
- 1547 αναφορές στο Google Scholar (h-index: 19)
- 270 εργασίες κάθε είδους

Ερευνητική & τεχνολογική εμπειρία:

- 16 ερευνητικά έργα (3 διεθνή), δύο ως κύριος ερευνητής
- Σύμβουλος σε 26 τεχνολογικές μελέτες
- Ανάπτυξη 12 εφαρμογών λογισμικού

Δημοσιεύσεις:

- 37 άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά
- 3 κεφάλαια βιβλίων
- 16 άρθρα σε πρακτικά συνεδρίων
- 75 εργασίες σε συνέδρια (κυρίως διεθνή)
- 26 εργασίες σε ημερίδες & συναντήσεις
- 26 τεύχη εκπαιδευτικών σημειώσεων
- 55 εκθέσεις ερευνητικών έργων

Εκπαιδευτική εμπειρία:

- 8 προπτυχιακά & μεταπτυχιακά μαθήματα Σχολής Πολ. Μηχ. ΕΜΠ (αυτοδύναμο & επικουρικό έργο)
- 3 μεταπτυχιακά μαθήματα ΑΣΠΑΙΤΕ
- Προσκεκλημένες διαλέξεις σε δύο ξένα πανεπιστήμια (Τόκιο, Μόσχα)
- Επίβλεψη περίπου 50 ακαδημαϊκών εργασιών (3 στη Σχολή Τοπ. Μηχ. ΕΜΠ)
- Επίβλεψη 3 διδακτορικών διατριβών εξωτερικού (Ιταλία, Κύπρος)

Συμμετοχική εμπειρία:

- Associate Editor *Hydrological Sciences Journal*
- Αξιολογητής άρθρων 15 διεθνών περιοδικών
- Μέλος της European Geosciences Union
- Co-converner συνεδρίων στις επιστημονικές περιοχές *Hydrological Sciences* και *Energy Resources & the Environment*