



Διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και τιμές στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2021

Διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και τιμές στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2021

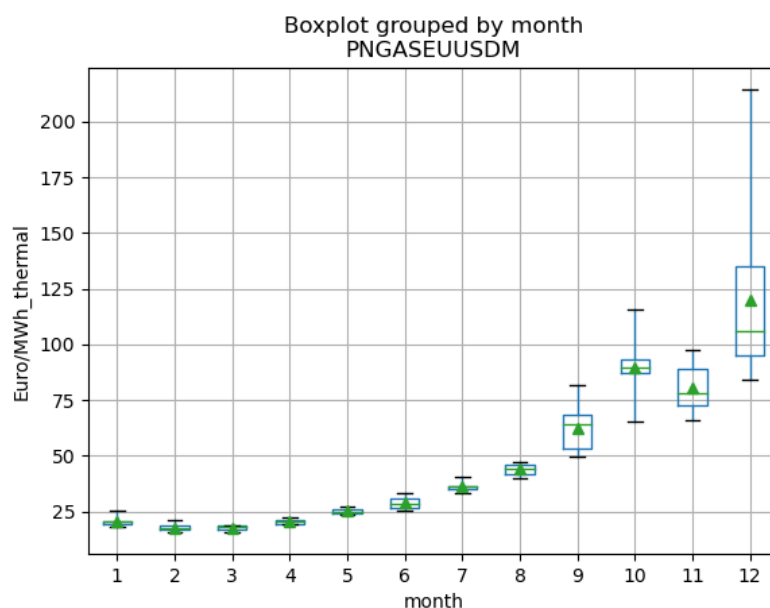
Περιεχόμενα

Εισαγωγή	3
Το ενεργειακό μείγμα το 2021	5
1 ^ο ερώτημα: Η επίδραση της διείσδυσης των ΑΠΕ στην ΤΕΑ	7
2 ^ο ερώτημα: Η διαμόρφωση της ΤΕΑ χωρίς ΑΠΕ το 2021	9
Παράρτημα Α: Μηνιαίες συσχετίσεις ΑΠΕ – ΕΤΑ	13
Παράρτημα Β: Γραφήματα συσχετίσεων ΑΠΕ – ΤΕΑ κάθε μήνα του 2021	14

Εισαγωγή

Οι τιμές της χονδρεμπορικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, αλλά και στην Ευρώπη γενικότερα, εκτοξεύθηκαν σε πρωτόγνωρα επίπεδα στο τέλος του 2021, ακολουθώντας την σταδιακή κλιμάκωση των τιμών του φυσικού αερίου.

Η Εικόνα 1 παρουσιάζει την εξέλιξη των τιμών του φυσικού αερίου σε μηνιαία βάση σε μορφή Boxplot¹. Παρατηρείται μία σταδιακή κλιμάκωση της τιμής του από τον Απρίλιο του 2021 που καταλήγει στις εκρηκτικές τιμές του Δεκεμβρίου 2021.



Εικόνα 1 Εξέλιξη τιμών φυσικού αερίου σε μηνιαία βάση στην Ελλάδα το 2021² (ευρώ/MWh θερμική)

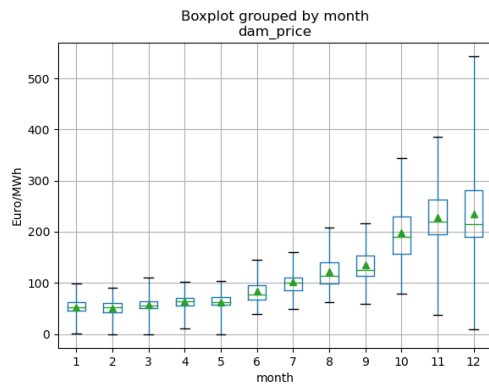
Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται οι Τιμές Εκκαθάρισης της Αγοράς³ (TEA, στα σχήματα αναφέρεται ως DAM ή MCP) σε μορφή Boxplot, σε μηνιαία και ωριαία⁴ (ενδοημερήσια) βάση. Από το μηνιαίο γράφημα αντιλαμβανόμαστε την ισχυρή συσχέτιση μεταξύ TEA και τιμής φυσικού αερίου όπως, άλλωστε, αναμένεται.

¹ Τα διαγράμματα Boxplot που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη παρουσιάζουν τη μέση τιμή της μηνιαίας ή ωριαίας κατανομής (πράσινο τρίγωνο), τις ποσοστώσεις της Q₂₅ και Q₇₅ (μπλε παραλληλόγραμμα), την διάμεση τιμή της ή Q₅₀ (πράσινη παύλα) και τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές της (μαύρες παύλες).

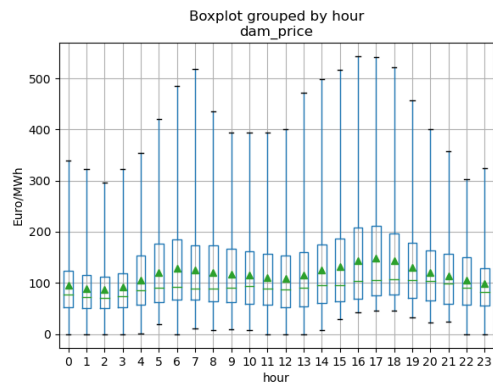
² <https://www.desfa.gr/regulated-services/balancing/daily-price>

³ Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη είναι ελεύθερα προσβάσιμα στο διαδίκτυο από τον ENTSO-E (TEA, ενεργειακό μείγμα), το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (Αγορά Επόμενης Ημέρας και Ενδοημερήσια Αγορά) και τον ΑΔΜΗΕ (Αγορά Εξισορρόπησης). Πλήρη στοιχεία και για τις τρεις αγορές υπάρχουν διαθέσιμα από το τέλος του 2020 και μετά.

⁴ Η χρησιμοποιούμενη ζώνη ώρας στη μελέτη είναι η UTC (Coordinated Universal Time)



(α)



(β)

Εικόνα 2 Τιμές Εκκαθάρισης της Αγοράς στην Ελλάδα το 2021. (α) μηνιαία βάση, (β) ωριαία βάση

Τα ερωτήματα που καλείται να απαντήσει η παρούσα μελέτη είναι:

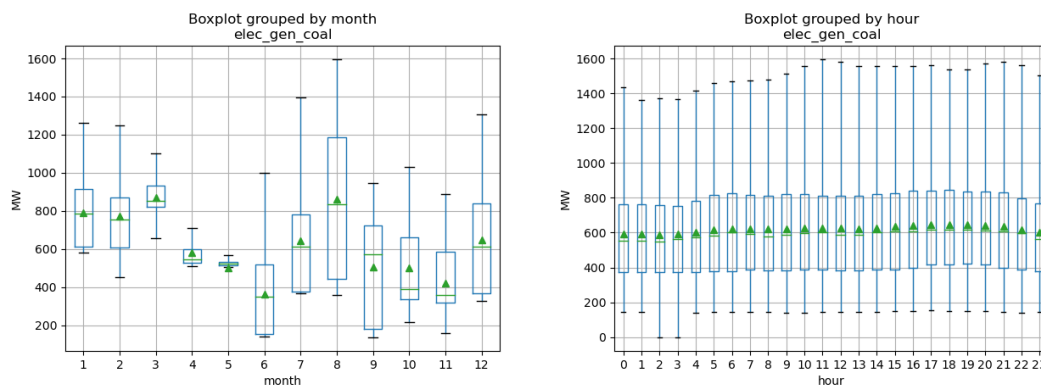
1. Ποια ήταν η επίδραση της διείσδυσης των μεταβλητών ΑΠΕ, αιολικών και φωτοβολταϊκών, στη διαμόρφωση της TEA;
2. Ποιες θα ήταν οι τιμές TEA αν δεν υπήρχαν οι μεταβλητές αυτές ΑΠΕ στο ενεργειακό μας μείγμα;

Το ενεργειακό μείγμα το 2021

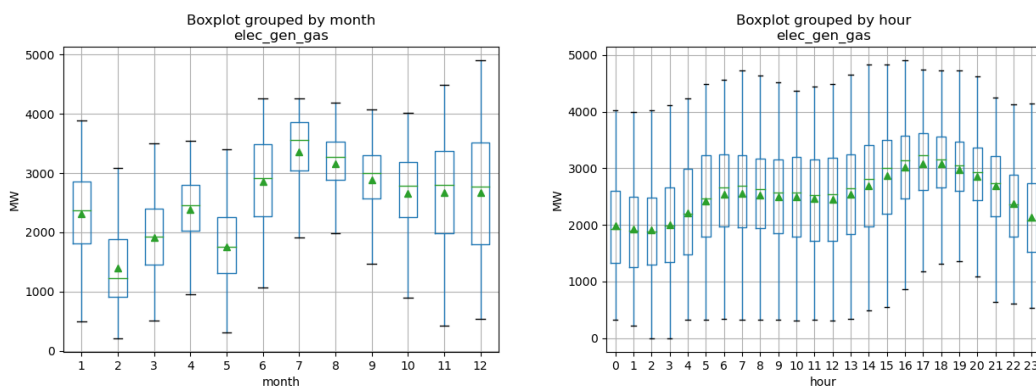
Πριν απαντήσουμε στα ερωτήματα αυτά ας δούμε τη συμμετοχή των βασικών μορφών ενέργειας στο μείγμα του 2021.

Η Εικόνα 3 παρουσιάζει σχετικά Boxplot διαγράμματα για τον λιγνίτη, το φυσικό αέριο, τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά.

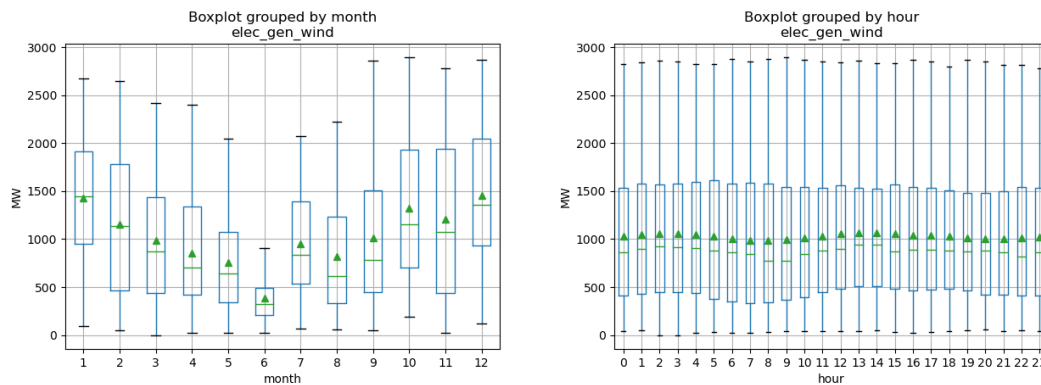
(α) Λιγνίτης



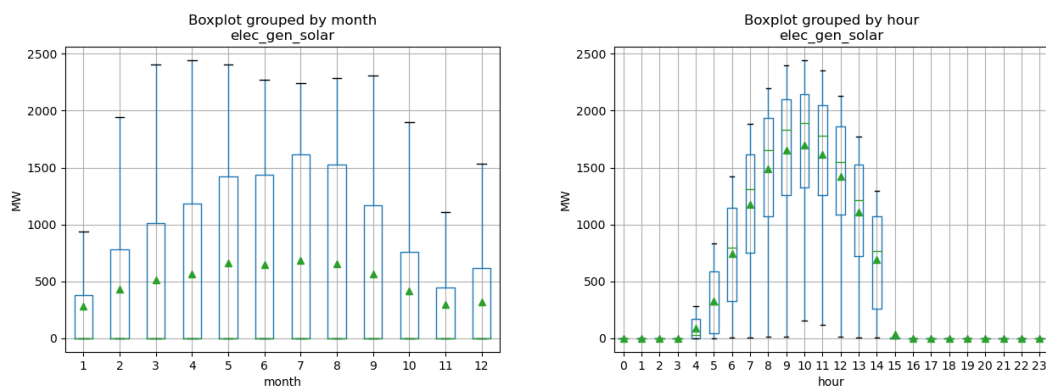
(β) Φυσικό Αέριο



(γ) Αιολικά



(δ) Φωτοβολταικά



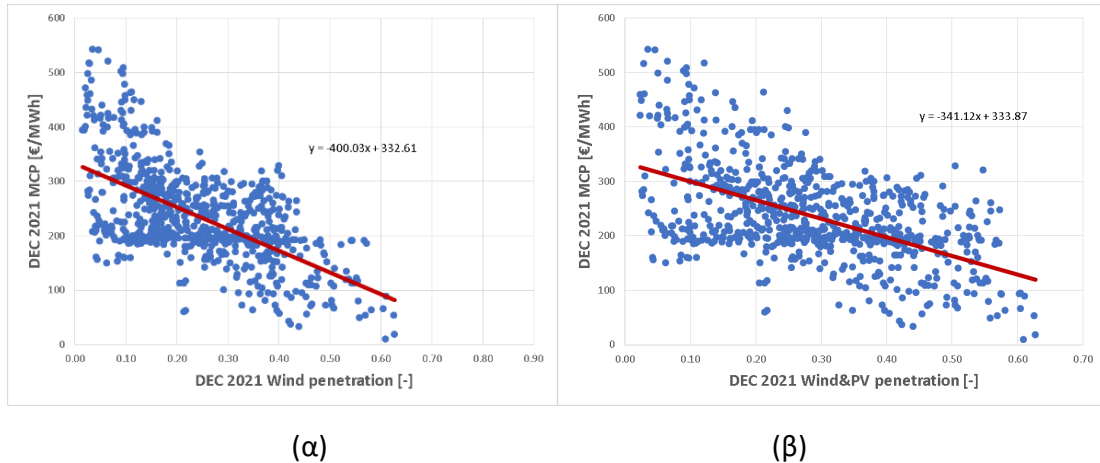
Εικόνα 3 Συμμετοχή των βασικών μορφών ενέργειας στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής του 2021. (α) Λιγνίτης, (β) Φυσικό Αέριο, (γ) Αιολικά και (δ) Φωτοβολταικά

Στα παραπάνω σχήματα παρατηρούμε:

- Τη σχετικά μικρή πλέον διείδυση του λιγνίτη στο ενεργειακό μείγμα και τη χαρακτηριστική αξιοποίησή του ως παραγωγή βάσης (βλ. ωριαίο γράφημα)
- Τη μεγάλη πλέον διείδυση του φυσικού αερίου και την ενδοημερήσια διακύμανσή της με τα δύο τοπικά μέγιστα, πρωινό και απογευματινό, καθώς και την ισχυρή ενδοημερήσια συσχέτιση της με την TEA (βλ. Εικόνα 2)
- Την υψηλή παραγωγή των αιολικών τους πρώτους και τελευταίους μήνες του έτους με την ενδοημερήσια παραγωγή να είναι κάθε ώρα σταθερά πάνω από 800 MW με πιθανότητα άνω του 50%
- Την υψηλότερη παραγωγή των φωτοβολταικών τους μεσαίους μήνες του έτους, συνεργαζόμενα με μεγάλη συμπληρωματικότητα με τα αιολικά, και την χαρακτηριστική ενδοημερήσια καμπύλη παραγωγής τους

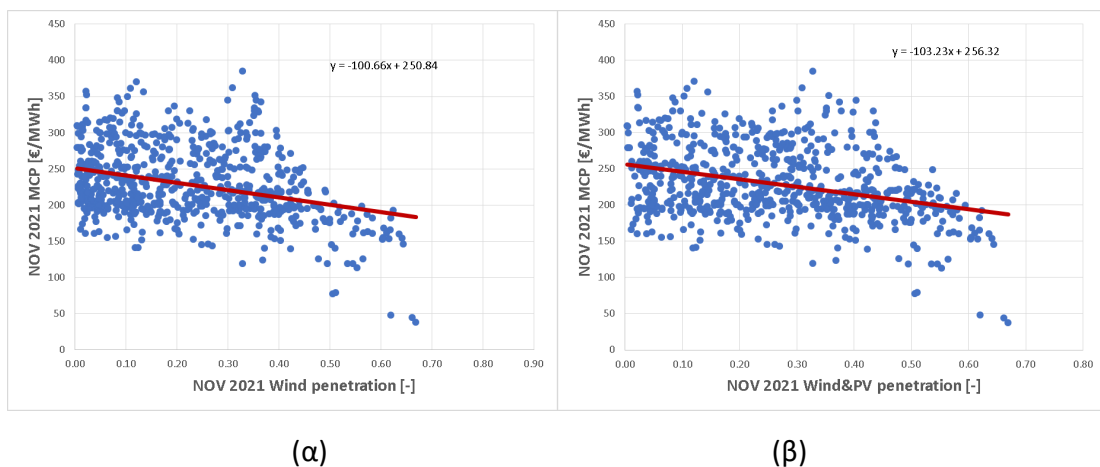
1^ο ερώτημα: Η επίδραση της διείσδυσης των ΑΠΕ στην ΤΕΑ

Απάντηση στο **πρώτο ερώτημα** για το πώς επέδρασε η διείσδυση των μεταβλητών ΑΠΕ στη διαμόρφωση της ΤΕΑ, ειδικά τον Δεκέμβριο του 2021 με τις υψηλότερες τιμές της, δίνεται στην Εικόνα 4. Η αριστερή εικόνα αναφέρεται στη διείσδυση των αιολικών μεμονωμένα, ενώ η δεξιά στην διείσδυση αιολικών και φωτοβολταϊκών ταυτόχρονα. Ως διείσδυση ορίζεται ο λόγος της παραγωγής της θεωρούμενης ενεργειακής πηγής προς το συνολικό φορτίο σε ωριαία βάση (κάθε μπλε κουκίδα των διαγραμμάτων αντιστοιχεί σε μία ωριαία τιμή).

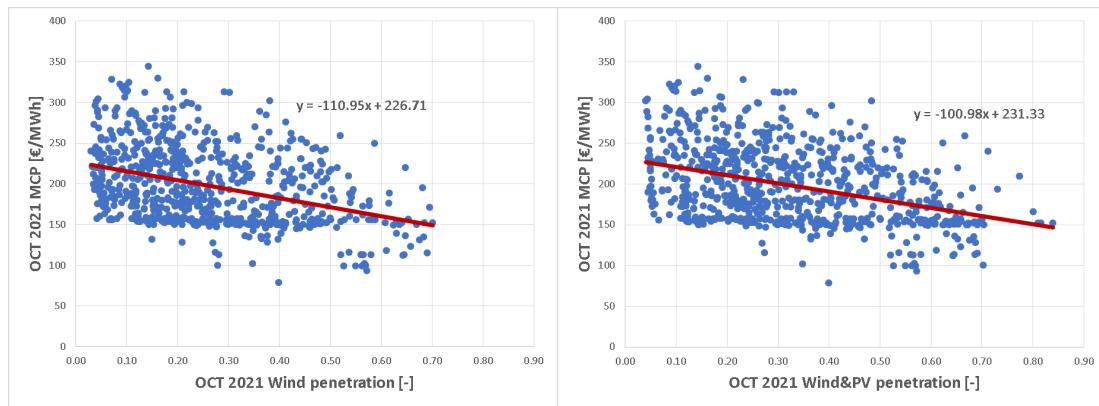


Εικόνα 4 Συσχέτιση ΤΕΑ και ωριαίας διείσδυσης (α) αιολικών και (β) αιολικών και φωτοβολταϊκών για τον Δεκέμβριο 2021

Η συσχέτιση ΤΕΑ-διείσδυσης είναι και στα δύο γραφήματα ισχυρά αρνητική. Όταν δηλαδή αυξάνει η διείσδυση μειώνεται η ΤΕΑ. Για τα αιολικά από μόνα τους η κλίση της ευθείας παλινδρόμησης (κόκκινη γραμμή στα σχήματα) είναι -400 €/MWh ανά μονάδα διείσδυσης. Δηλαδή, για κάθε αύξηση της ωριαίας διείσδυσης των αιολικών κατά ποσοστό 10% (0.1 στο διάγραμμα), η ΤΕΑ μειώνεται κατά μέσο όρο 40€/MWh. Η τιμή αυτή διαμορφώνεται στα 34 €/MWh όταν συνυπολογιστούν και τα φωτοβολταϊκά, για την συγκεκριμένη περίοδο που η παραγωγή τους είναι σχετικά μικρή.



Εικόνα 5 Συσχέτιση ΤΕΑ και ωριαίας διείσδυσης (α) φωτοβολταϊκών και (β) αιολικών και φωτοβολταϊκών για τον Νοέμβριο 2021



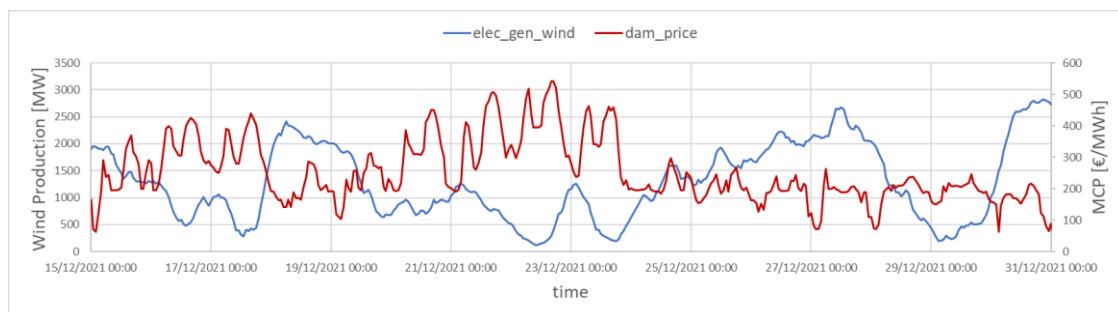
(α)

(β)

Εικόνα 6 Συσχέτιση TEA και ωριαίας διείσδυσης (α) φωτοβολταϊκών και (β) αιολικών και φωτοβολταϊκών για τον Οκτώβριο 2021

Ανάλογα διαγράμματα για τον Νοέμβριο και το Οκτώβριο 2021 δίνονται στην Εικόνα 5 και την Εικόνα 6. Η αρνητική κλίση της ευθείας παλινδρόμησης είναι (σε απόλυτη τιμή) μικρότερη στα διαγράμματα αυτά από την αντίστοιχη του Δεκεμβρίου, γεγονός που αποδίδεται στην χαμηλότερη μέση τιμή της TEA ή/και το μικρότερο εύρος διακύμανσής της.

Η αλληλεπίδραση της αιολικής παραγωγής με την TEA αποτυπώνεται καθαρά στην Εικόνα 7 για το δεύτερο του Δεκεμβρίου 2021 οπότε καταγράφηκαν οι υψηλότερες τιμές TEA του έτους. Η εικόνα αναδεικνύει την αυξητική τάση της TEA όταν μειώνεται η αιολική παραγωγή και το αντίθετο.



Εικόνα 7 Αλληλεπίδραση αιολικής παραγωγής με την TEA το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Δεκεμβρίου 2021

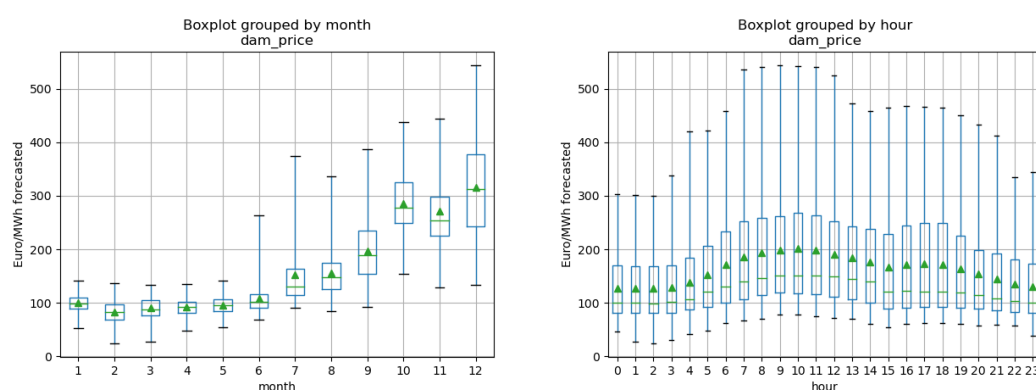
Συμπερασματικά, σε περιόδους υψηλής διείσδυσης των αιολικών και των φωτοβολταϊκών στο ηλεκτρικό σύστημα η TEA μειώνεται αισθητά καθώς οι ΑΠΕ υποκαθιστούν αντίστοιχες ποσότητες ακριβότερων ορυκτών καυσίμων. Εύλογα, η μείωση της TEA χάρη στις ΑΠΕ είναι μεγαλύτερη σε απόλυτες τιμές σε περιόδους που το αέριο είναι ακριβότερο.

2^ο ερώτημα: Η διαμόρφωση της TEA χωρίς ΑΠΕ το 2021

Για την απάντηση στο **δεύτερο ερώτημα**, ποιες δηλαδή θα ήταν οι τιμές TEA αν δεν υπήρχαν οι μεταβλητές αυτές ΑΠΕ στο ενεργειακό μας μείγμα, χρησιμοποιήσαμε ένα λογισμικό πρόγνωσης τιμών της ηλεκτρικής αγοράς το οποίο παρήγαγε η iWind Renewables για την ποσοτικοποίηση των εσόδων των μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (ανεξάρτητων ή σε συνδυασμό με ΑΠΕ) οι οποίες θα αντλούν τα έσοδα τους από τις ηλεκτρικές αγορές επόμενης ημέρας, ενδοημερήσιας και εξισορρόπησης. Το προγνωστικό εργαλείο εκτιμά τις μελλοντικές τιμές στις ηλεκτρικές αγορές που στη συνέχεια χρησιμοποιούνται σε μορφή ωριαίων χρονοσειρών προκειμένου να βελτιστοποιηθεί ο τρόπος της λειτουργίας της μονάδας αποθήκευσης με ζητούμενο τη μεγιστοποίηση των εσόδων της.

Το λογισμικό πρόγνωσης δεν βασίζεται σε ένα αναλυτικό μοντέλο αγοράς σαν αυτά που χρησιμοποιούν οι διαχειριστές των αγορών, αλλά χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα για να συσχετίσει τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας με τις βασικές παραμέτρους που τις διαμορφώνουν. Τέτοιες παράμετροι για την TEA είναι η τιμή του φυσικού αερίου, η τιμή του τόνου διοξειδίου άνθρακα, τα ποσοστά διείσδυσης των επιμέρους μορφών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα κ.α. Το μοντέλο χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου γνωστές ωριαίες χρονοσειρές παραμέτρων και ως δεδομένο εξόδου την αντίστοιχη χρονοσειρά TEA προκειμένου να εκπαιδεύσει το νευρωνικό του δίκτυο. Στη συνέχεια εφαρμόζει το εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο σε νέα δεδομένα εισόδου (διαφορετικές χρονοσειρές αερίου ή διαφορετικό μείγμα ηλεκτροπαραγωγής) προκειμένου να εκτιμήσει την TEA που τους αντιστοιχεί.

Η Εικόνα 8 παρουσιάζει Boxplots για τις Τιμές Εκκαθάρισης της Αγοράς στην Ελλάδα το 2021 αν δεν υπήρχαν τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά στο σύστημα. Οι τιμές εκτιμήθηκαν με το υπολογιστικό εργαλείο που περιγράψαμε παραπάνω, μηδενίζοντας τις ωριαίες χρονοσειρές παραγωγής των αιολικών και των φωτοβολταϊκών, μεταφέροντας την ενεργειακή τους συνεισφορά στο φυσικό αέριο.



Εικόνα 8 Τιμές Εκκαθάρισης της Αγοράς στην Ελλάδα το 2021 αν δεν υπήρχαν τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά. (α) μηνιαία βάση, (β) ωριαία βάση

Συγκρίνοντας την Εικόνα 8 με την Εικόνα 2, δηλαδή TEA χωρίς μεταβλητές ΑΠΕ και TEA με μεταβλητές ΑΠΕ, παρατηρούμε τις αυξημένες μέσες μηνιαίες και ωριαίες τιμές TEA που θα αντιμετωπίζαμε στο σενάριο μηδενικής αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής. Στο μηνιαίο γράφημα όλες οι μέσες τιμές είναι αυξημένες, και στις περιόδους που η τιμή του φυσικού αερίου ήταν σχετικά χαμηλή.

Στο ωριαίο διάγραμμα, πέρα της συνολικής αύξησης των μέσων τιμών, παρατηρούμε και την σχετική αύξηση των τιμών στην πρωινή-μεσημεριανή ζώνη κυρίως λόγω της έλλειψης των φωτοβολταϊκών.

Πίνακας 1 Μηνιαία στατιστικά της TEA για τις πραγματικές τιμές 2021 (with RES) έναντι του σεναρίου μηδενικής παραγωγής αιολικών και φωτοβολταϊκών (w/o RES)

MONTHLY BASIS MCP [€/MWh]					
Month	MEAN VALUES			MAX VALUES	
	with RES	w/o RES	Increase	with RES	w/o RES
JAN	53	101	91%	98	141
FEB	50	83	65%	91	136
MAR	58	91	59%	111	134
APR	64	92	44%	102	134
MAY	63	96	52%	104	141
JUN	84	108	29%	145	263
JUL	102	152	49%	160	374
AUG	122	156	28%	208	337
SEP	135	196	46%	217	387
OCT	199	286	44%	344	439
NOV	229	271	18%	385	444
DEC	235	316	34%	543	544

Πίνακας 2

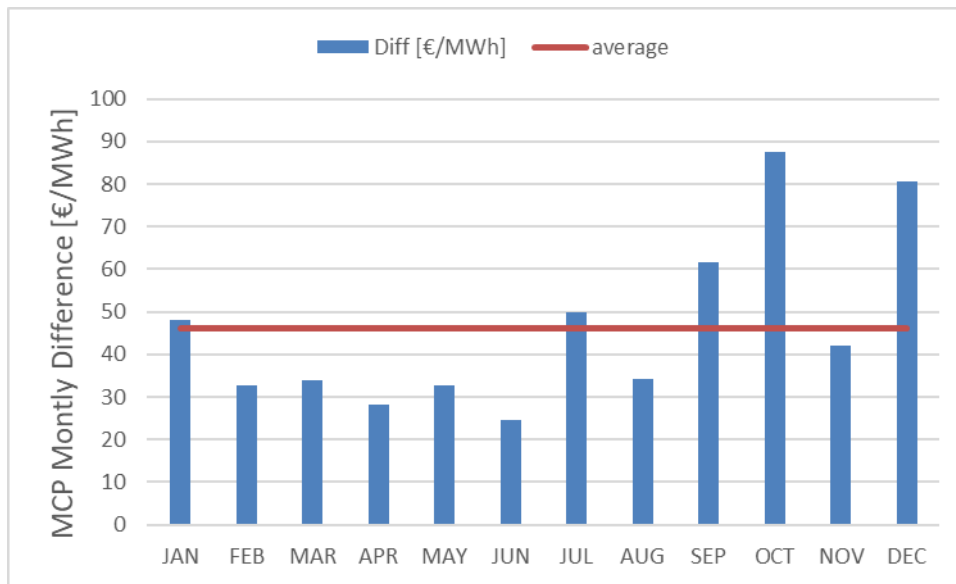
Ωριαία στατιστικά της TEA για τις πραγματικές τιμές 2021 (with RES) έναντι του σεναρίου μηδενικής παραγωγής αιολικών και φωτοβολταϊκών (w/o RES)

HOURLY BASIS MCP [€/MWh]					
Hour	MEAN VALUES			MAX VALUES	
	with RES	w/o RES	Increase	with RES	w/o RES
0	95	127	34%	340	303
1	88	127	43%	323	301
2	87	127	46%	297	301
3	92	129	41%	322	339
4	106	138	30%	353	420
5	121	153	27%	420	422
6	129	172	33%	486	458
7	126	186	48%	518	537
8	121	194	61%	436	540
9	117	199	70%	395	544
10	116	201	74%	395	542
11	111	198	78%	395	541
12	108	191	76%	401	524
13	116	184	59%	471	473
14	125	177	42%	498	458
15	133	167	26%	516	465
16	144	172	19%	543	469
17	149	174	17%	542	467
18	144	172	19%	521	465
19	130	164	26%	458	451
20	121	154	27%	401	434
21	113	144	27%	358	412
22	106	135	27%	302	335
23	99	130	31%	325	345

Ειδικά για τον Δεκέμβριο 2021 η μέση τιμή της TEA υπολογίζεται στις 316 €/MWh σε σχέση με την καταγεγραμμένη τιμή της των 235 €/MWh.

Ο κύκλος εργασιών της χονδρεμπορικής αγοράς για το 2021 (υπολογιζόμενος επί του αθροίσματος του φορτίου και των ηλεκτρικών απωλειών) ήταν 6.3 δισεκατομμύρια ευρώ. Αν έλειπαν τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά, η αντίστοιχη τιμή θα ήταν 8.8 δισεκατομμύρια ευρώ, αυξημένος δηλαδή κατά 40%. Αυτό σημαίνει ότι η μεσοσταθμική TEA για όλο το 2021 αν δεν υπήρχαν οι μεταβλητές ΑΠΕ θα ήταν αυξημένη κατά 46 €/MWh.

Η εκτιμωμένη μέση μηνιαία επιβάρυνση της TEA για το 2021 αν δεν υπήρχαν οι μεταβλητές ΑΠΕ παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.

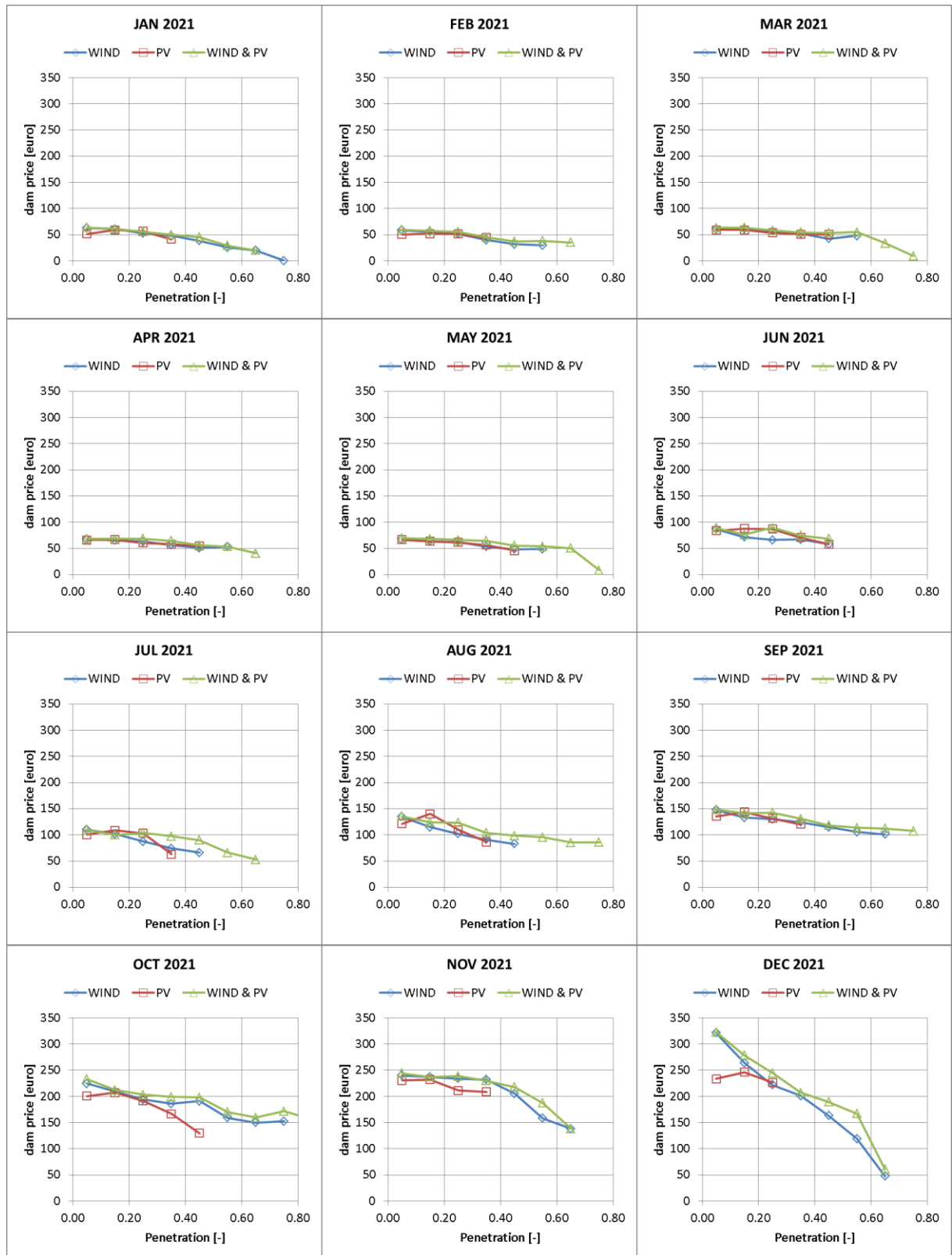


Εικόνα 9 Εκτιμωμένη μέση μηνιαία επιβάρυνση της TEA για το 2021 αν δεν υπήρχαν οι μεταβλητές ΑΠΕ

Τα αποτελέσματα του Δεκεμβρίου βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της ερευνητικής ομάδας του ΑΠΘ που πρόσφατα ανακοινώθηκαν από το ΥΠΕΝ. Επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα του προγνωστικού μοντέλου της iWind δεν είναι στο επίπεδο πιστότητας των σύγχρονων μοντέλων αγοράς, όπως αυτό του ΑΠΘ. Το προγνωστικό μας μοντέλο είναι όμως σε θέση να εκτιμήσει με ικανοποιητική πιστότητα τις μεταβολές των τιμών της αγοράς όταν αλλάζουν οι παράμετροι που τις διαμορφώνουν.

Το τελικό συμπέρασμα αναφορικά με τα δύο ερωτήματα που τέθηκαν είναι ότι αν η διείσδυση των αιολικών και των φωτοβολταϊκών δεν ήταν στο σημερινό επίπεδο τότε η ενεργειακή κρίση όπως αποτυπώθηκε μέσω των ιδιαίτερα αυξημένων τιμών προμήθειας του φυσικού αερίου θα έπληττε σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό την ελληνική χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με μέσες μηνιαίες τιμές που θα ξεπερνούσαν τα 310 €/MWh, ο δε κύκλος εργασιών της χονδρεμπορικής αγοράς για το 2021 θα ήταν επιβαρυνμένος κατά 2.5 δις ευρώ.

Παράρτημα Α

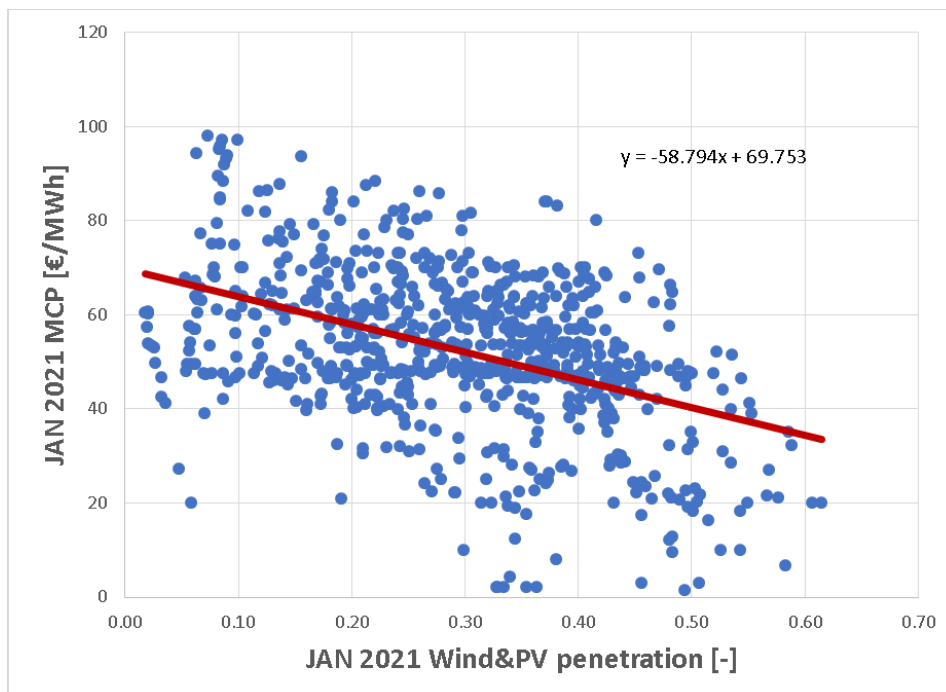
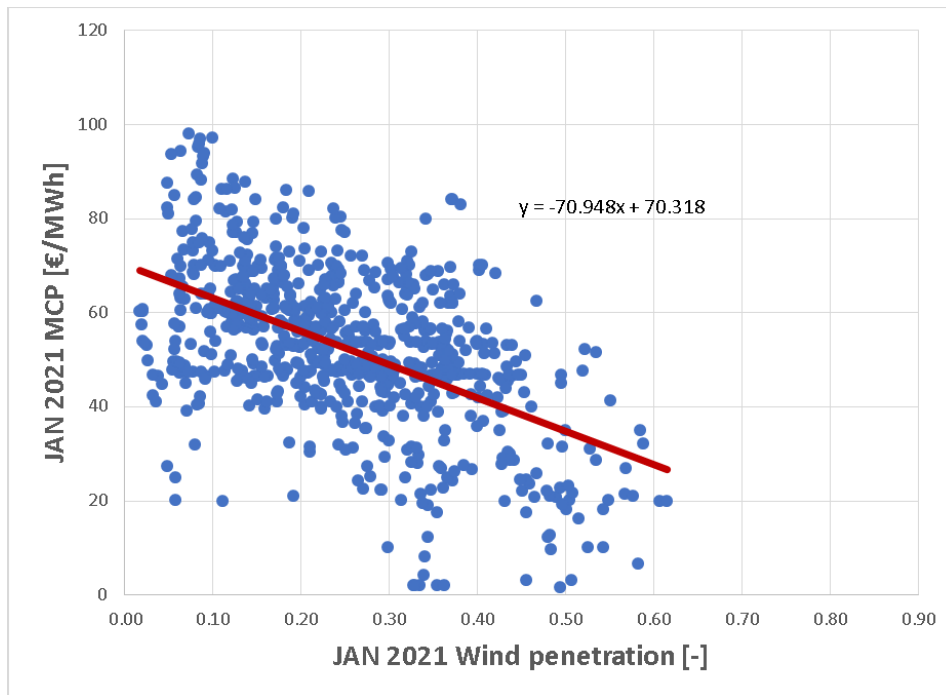


Μηνιαία συσχέτιση ETA με τις διεισδύσεις της αιολικής ενέργειας (μπλε σύμβολα), της φωτοβολταϊκής (κόκκινα σύμβολα) και του αθροίσματος αιολικής και φωτοβολταϊκής (πράσινα σύμβολα).

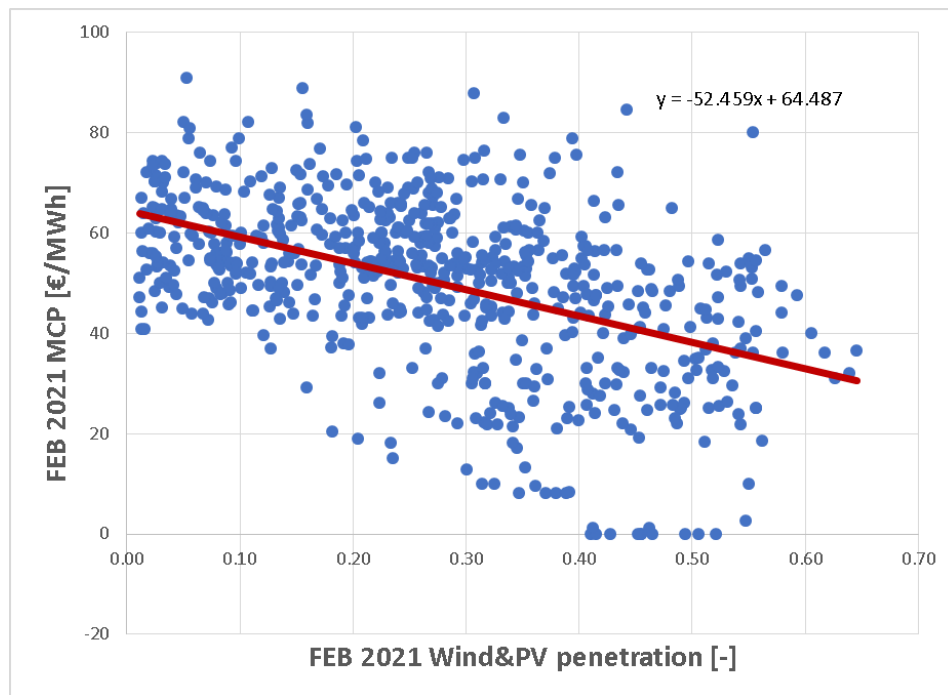
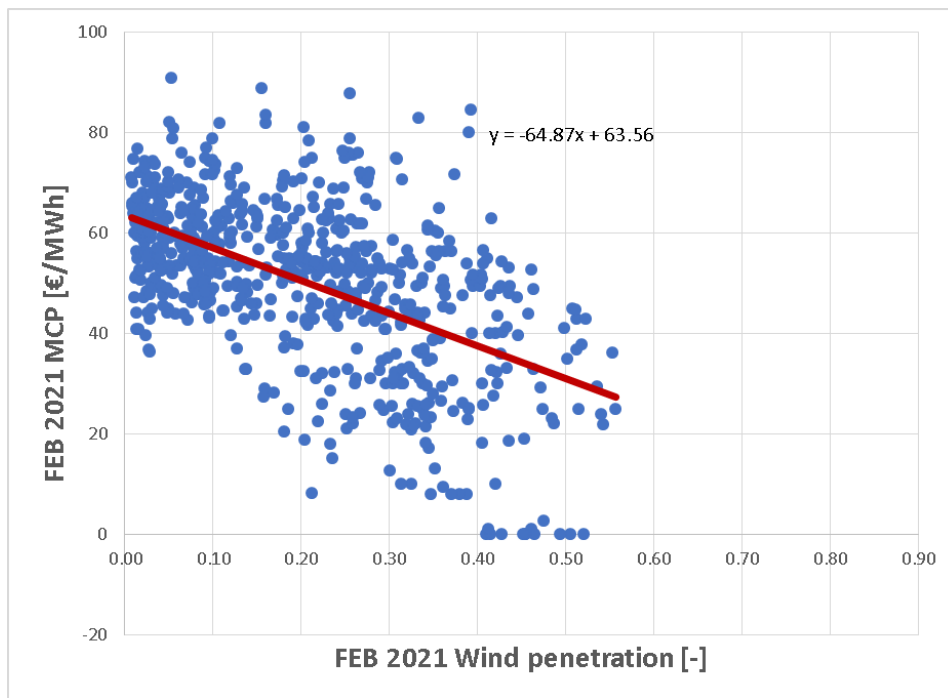
Παράρτημα Β:

Γραφήματα συσχετίσεων ΑΠΕ – ΤΕΑ κάθε μήνα του 2021

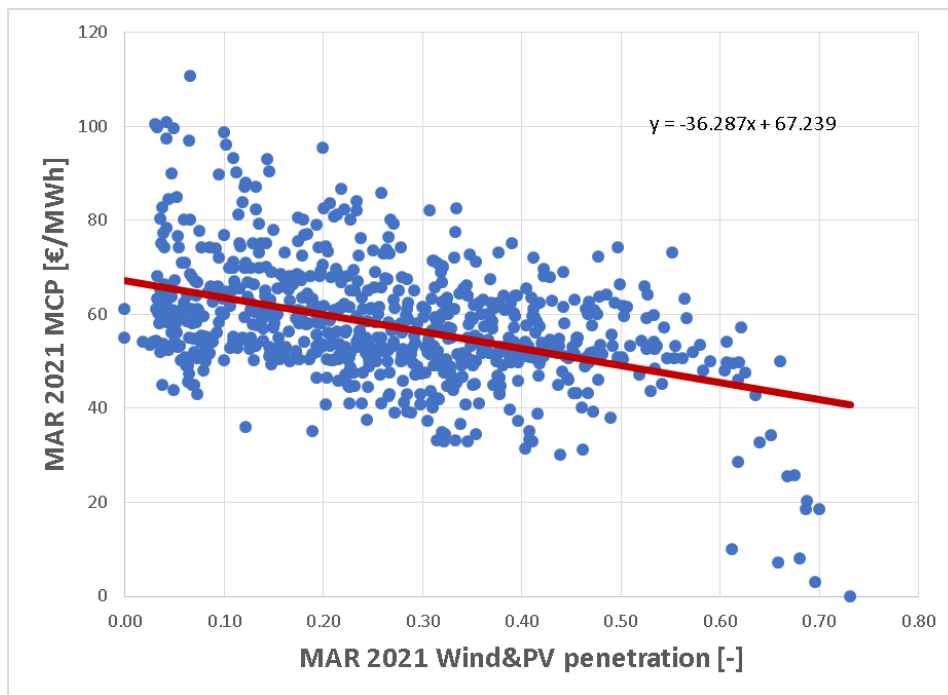
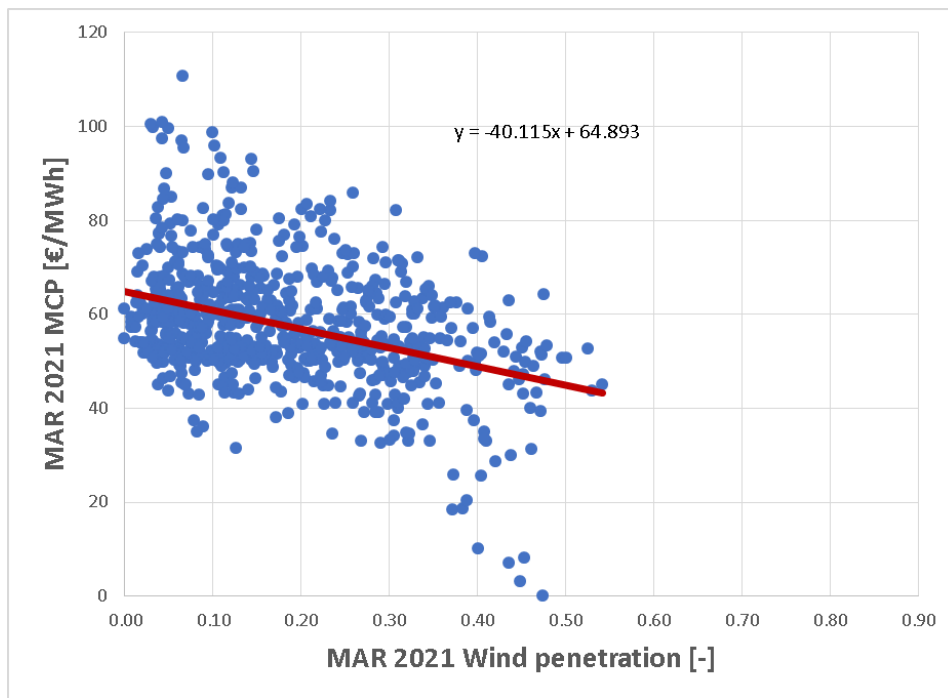
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ



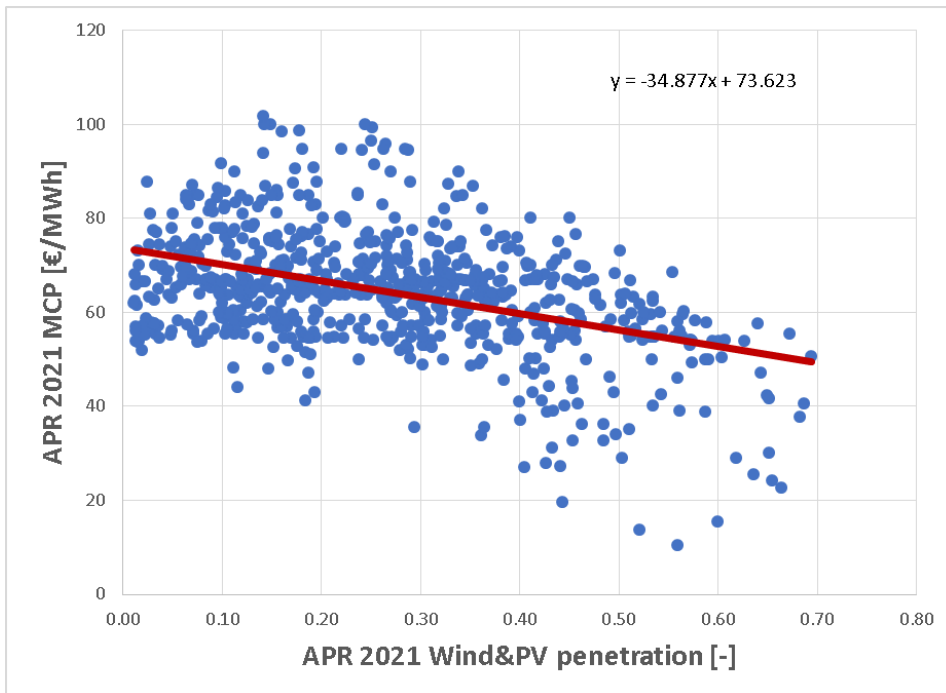
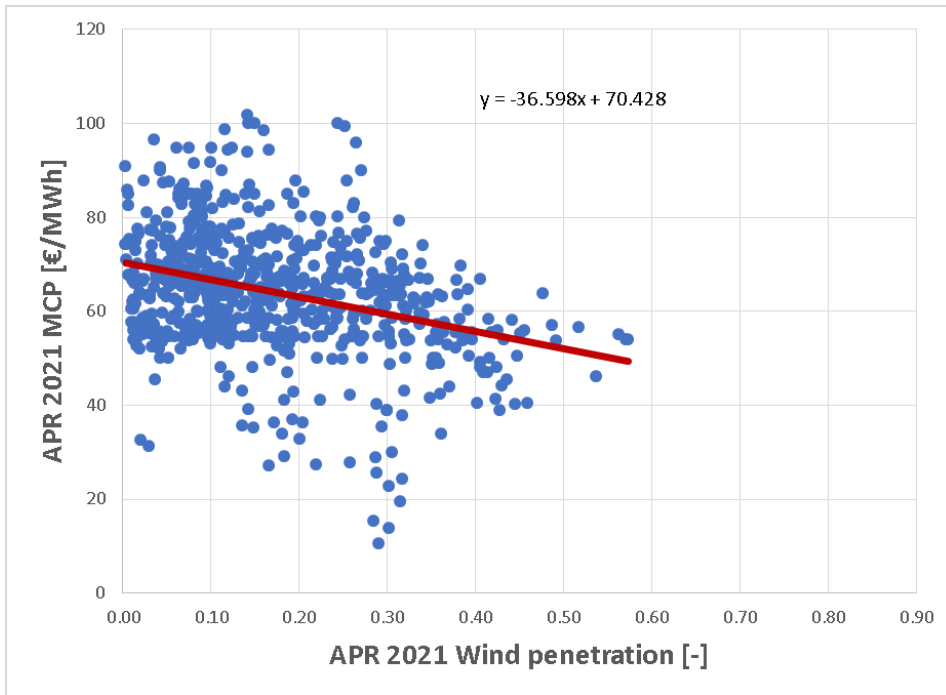
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ



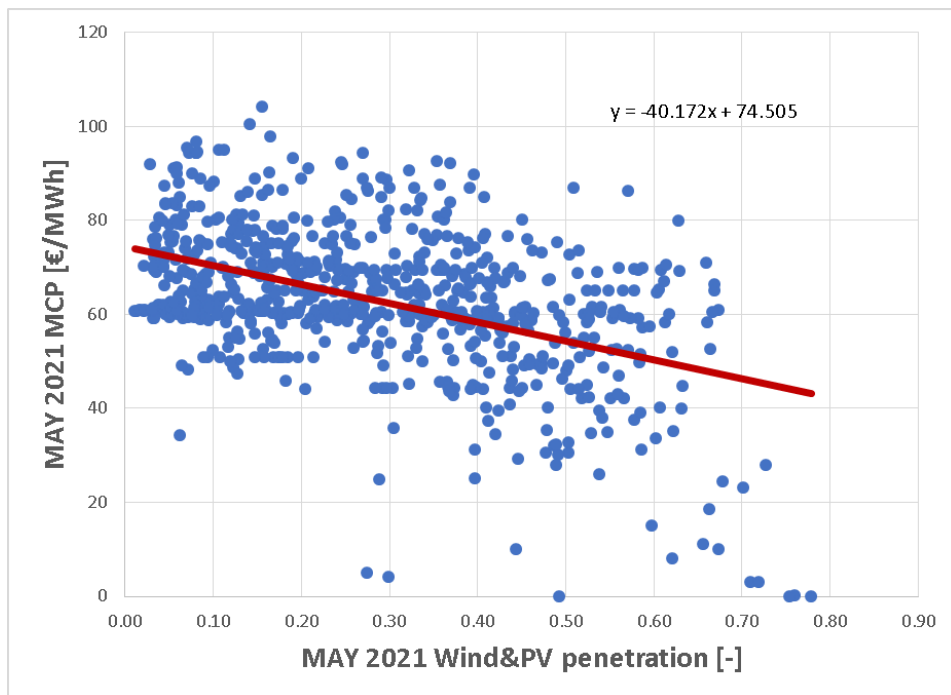
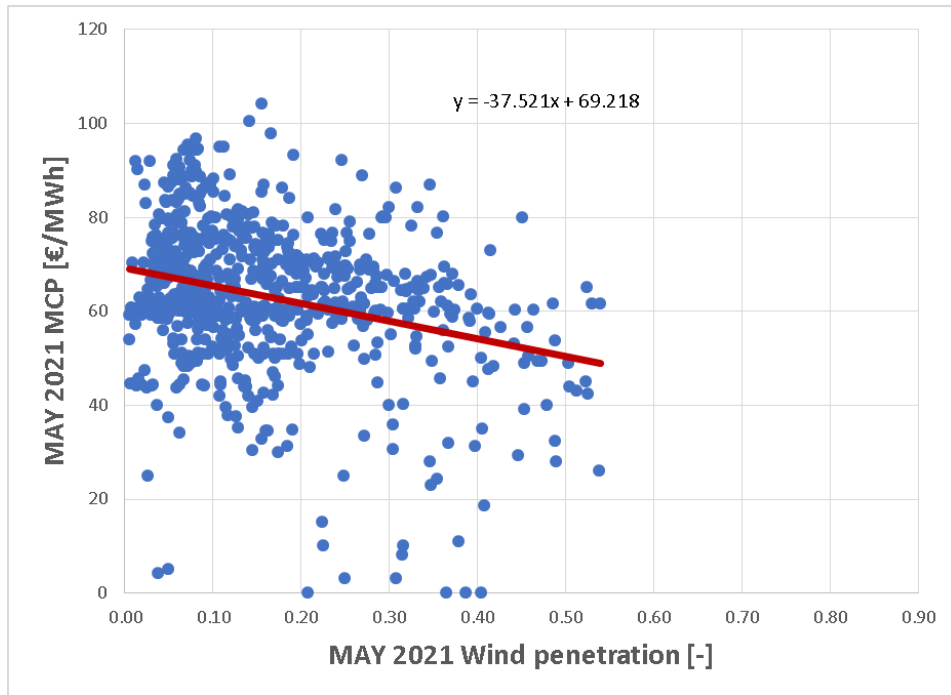
MAPTIOΣ



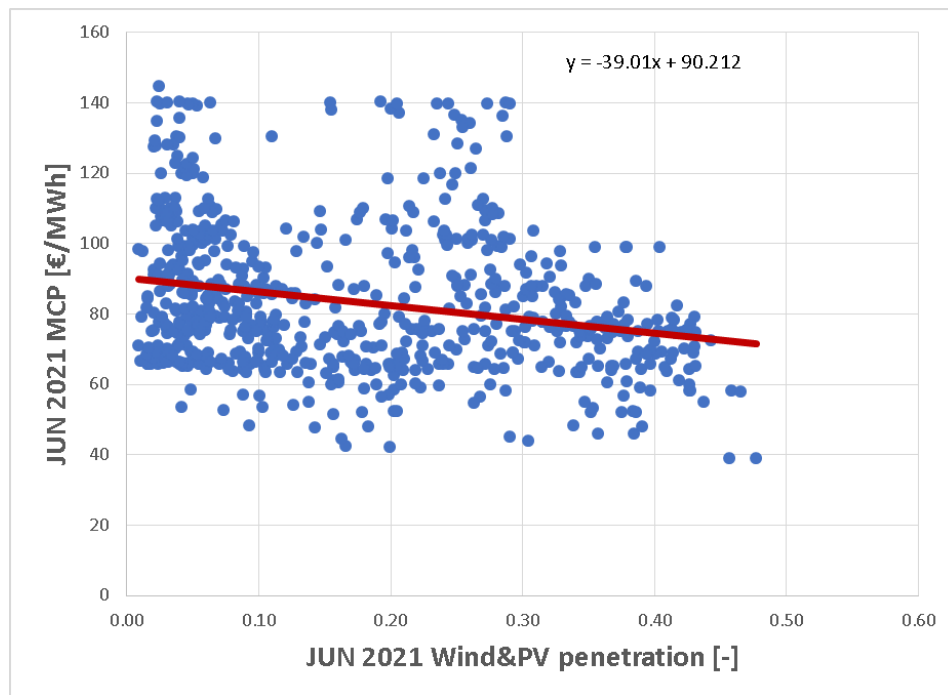
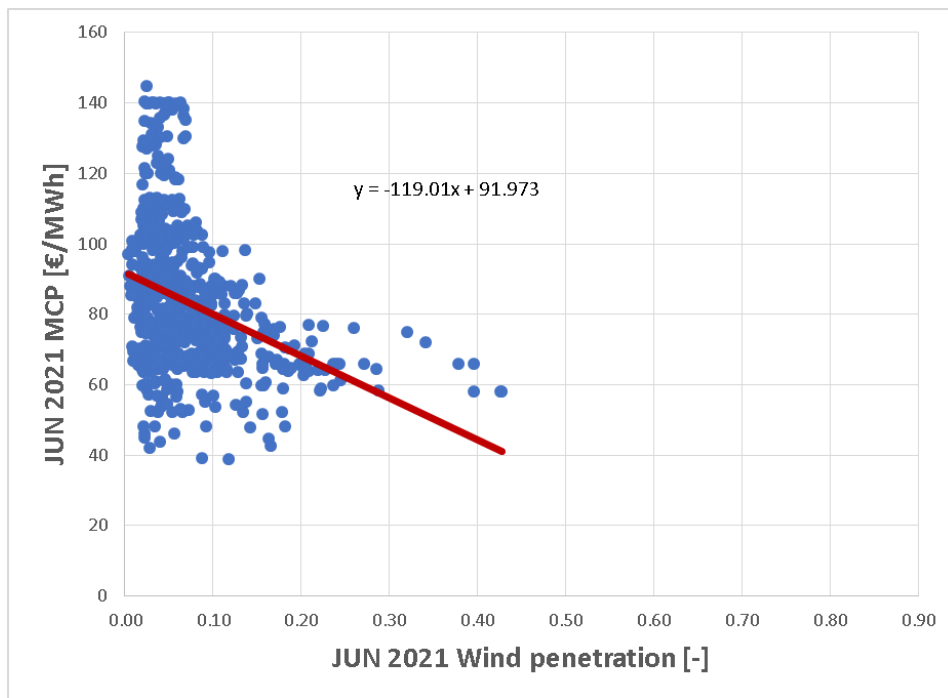
ΑΠΡΙΛΙΟΣ



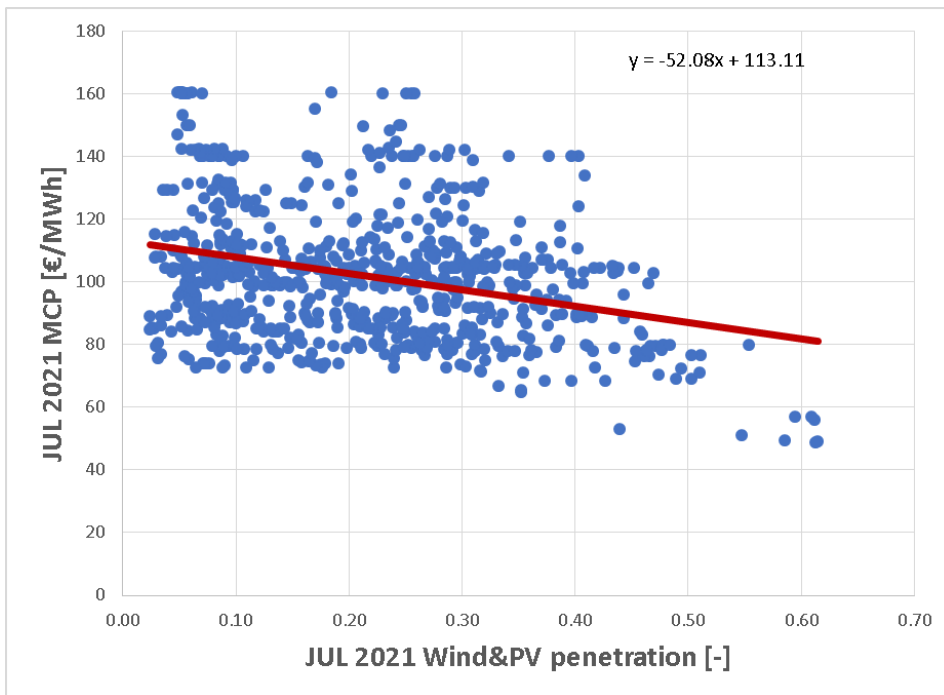
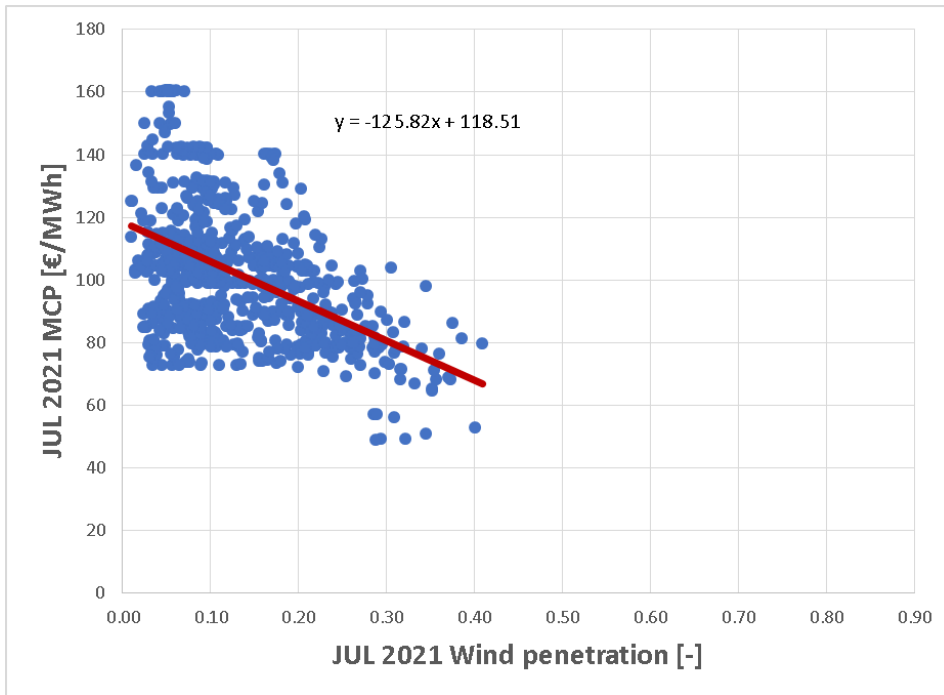
ΜΑΙΟΣ



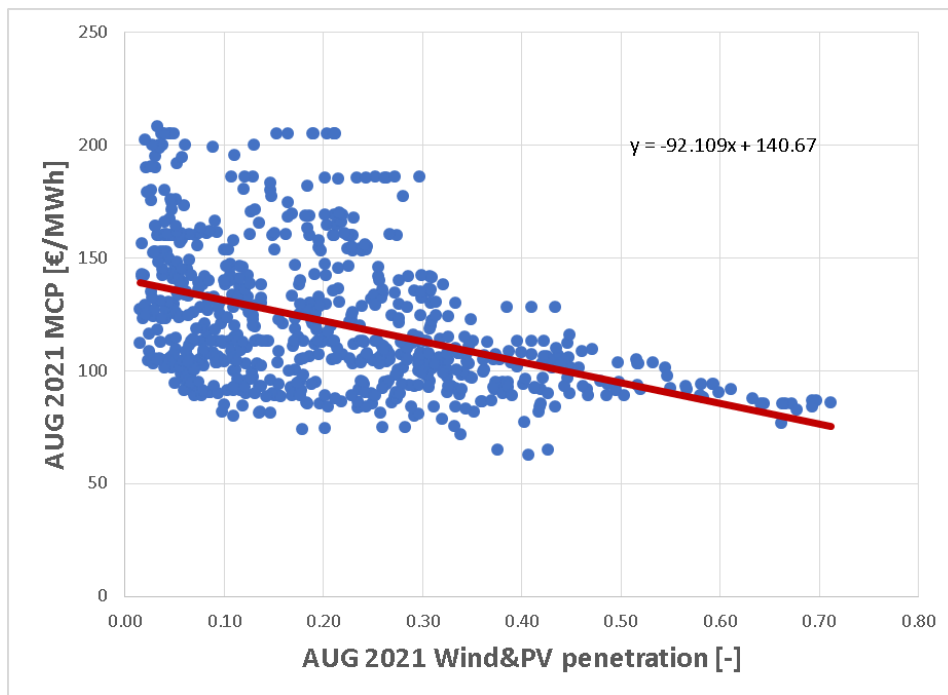
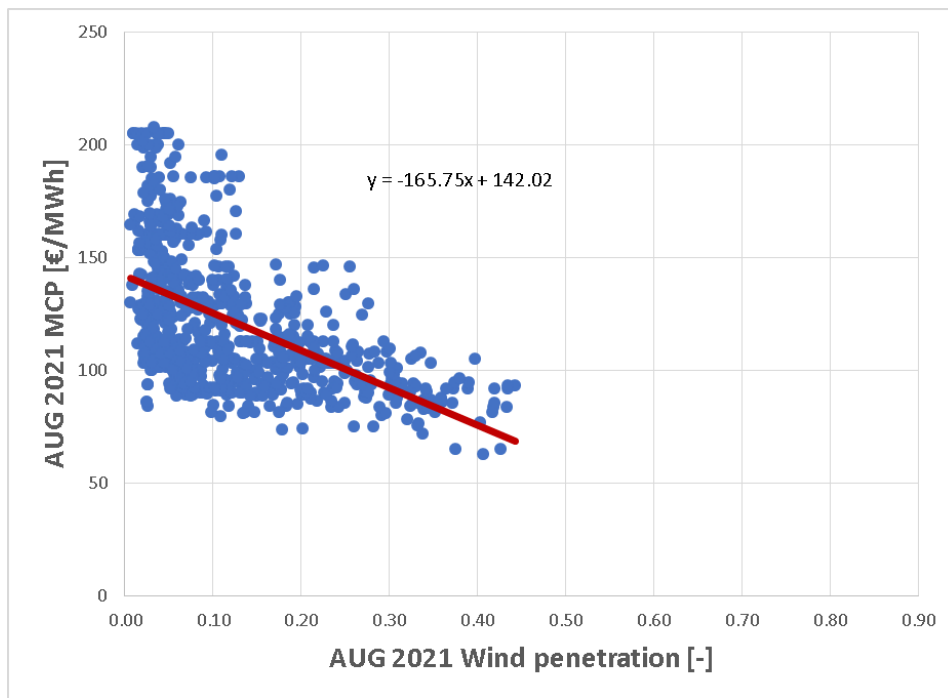
IOYNIOS



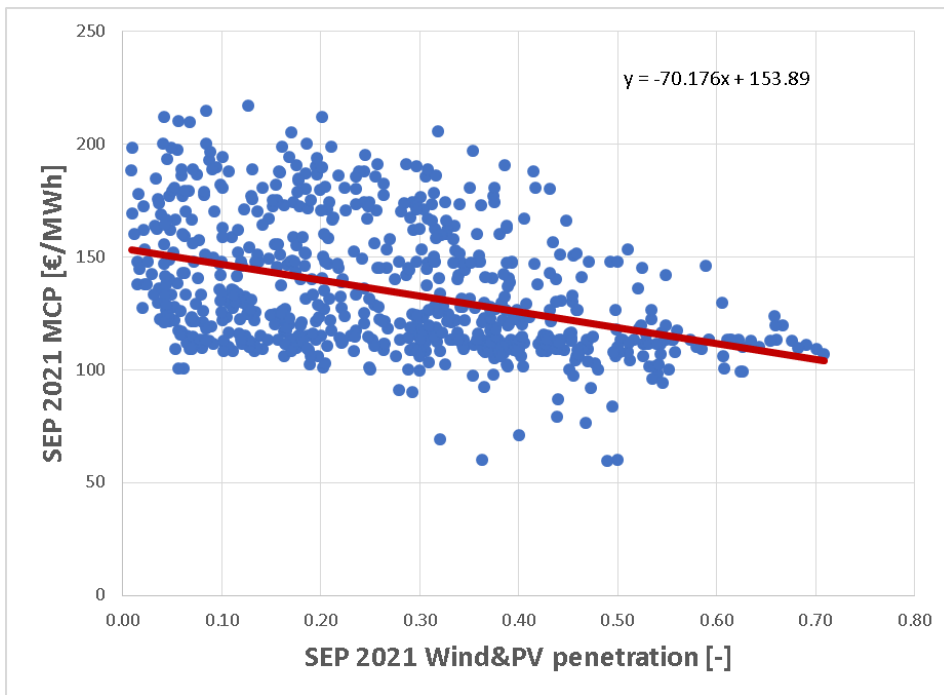
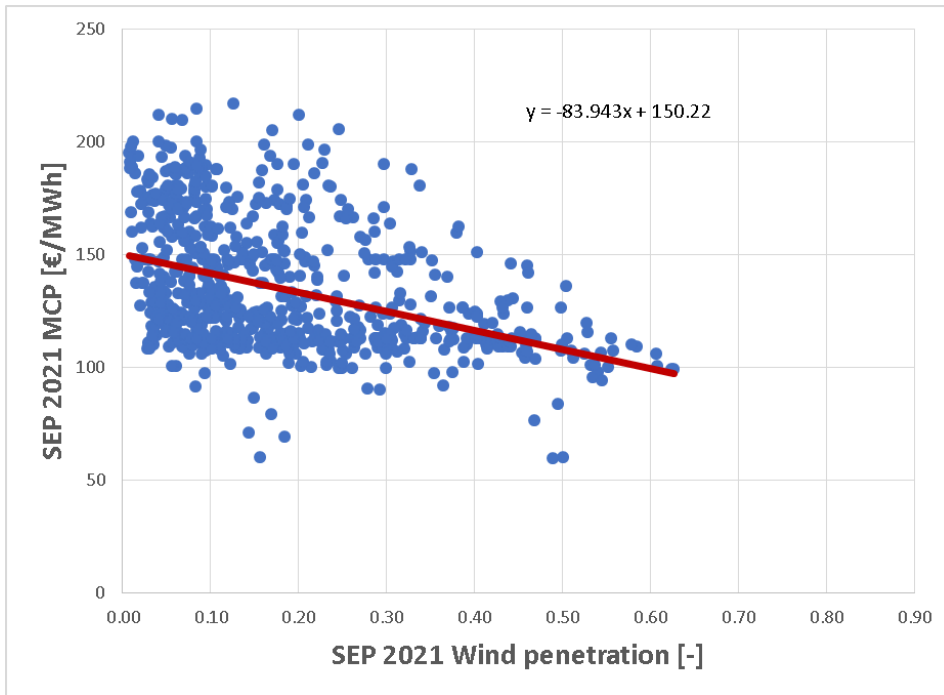
ΙΟΥΛΙΟΣ



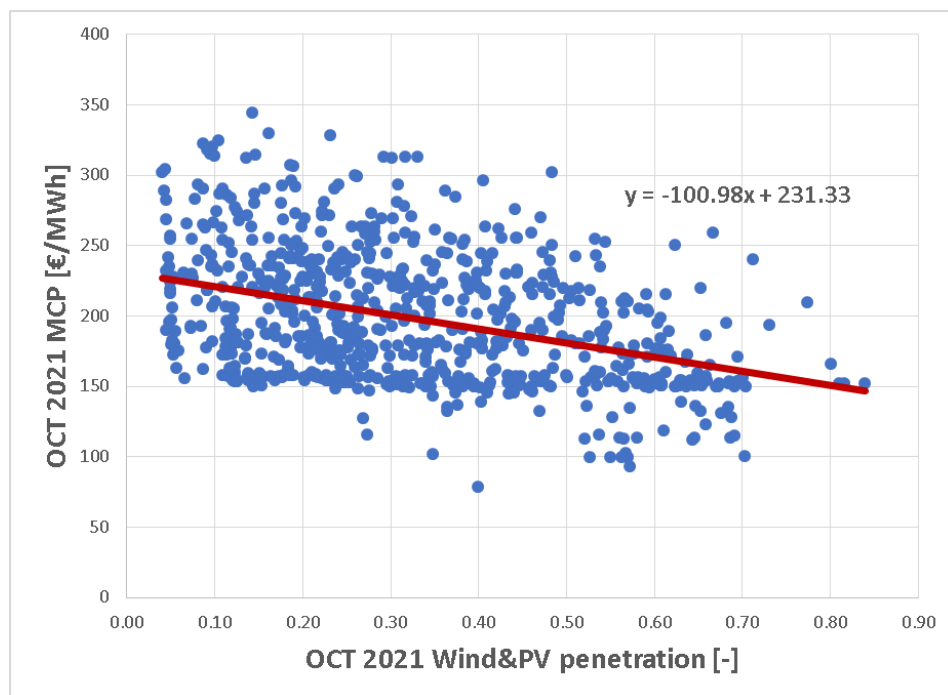
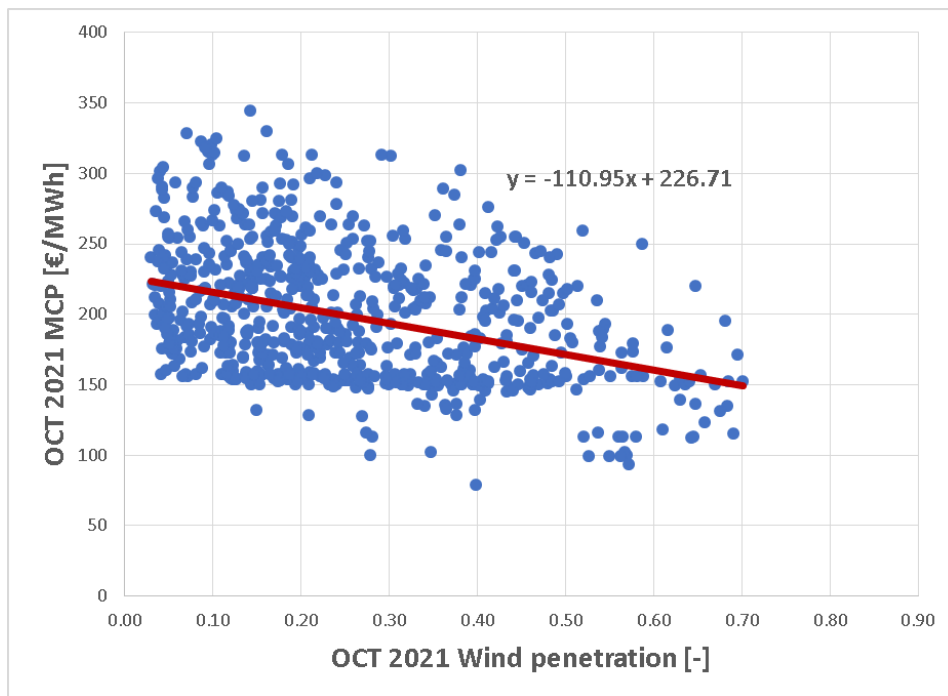
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ



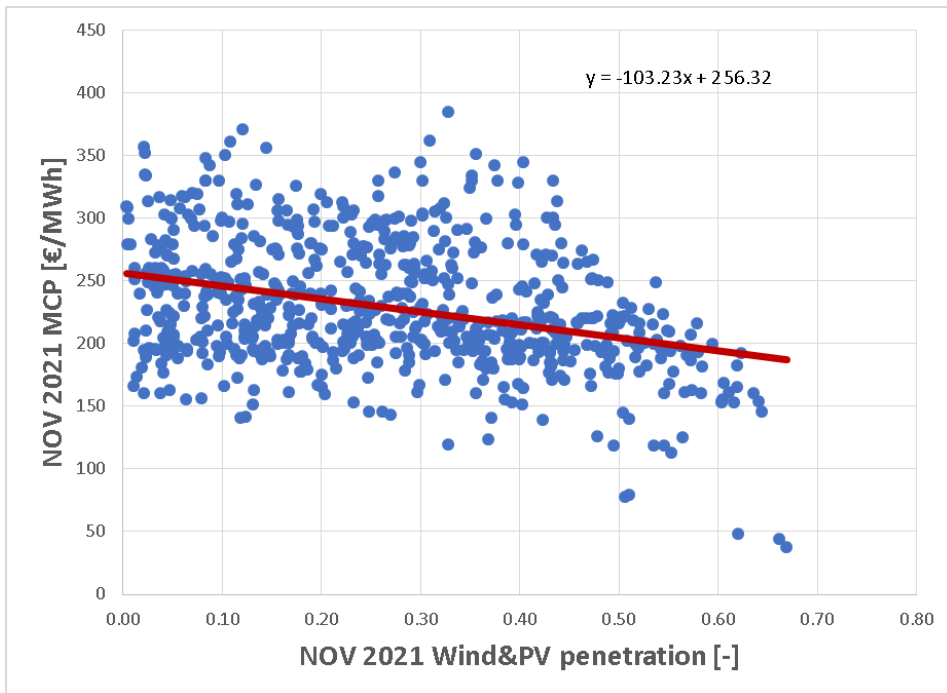
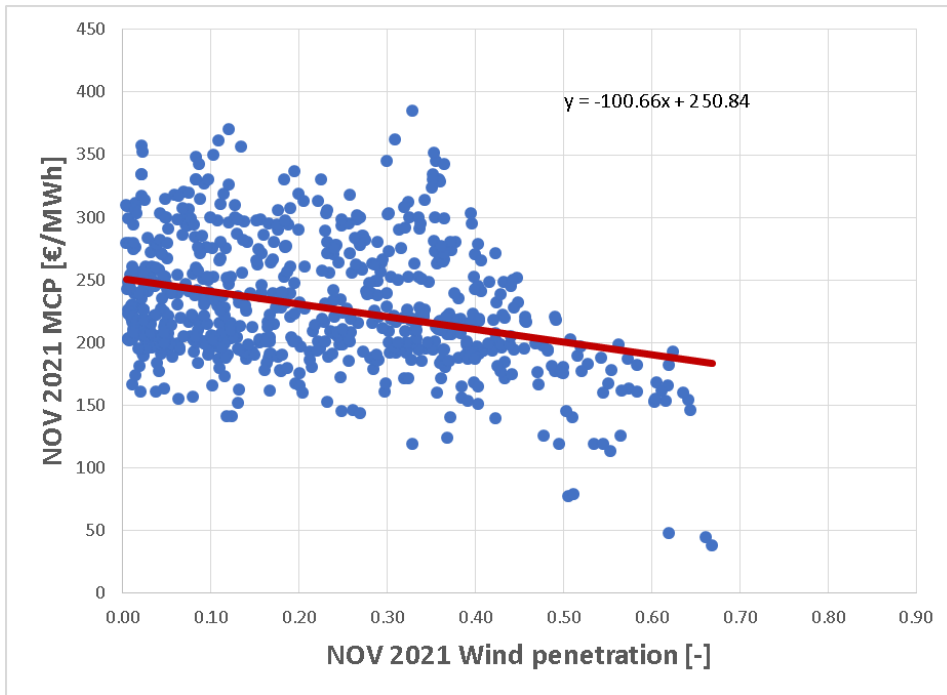
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ



ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



NOEMBPIOΣ



ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

