



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

Εναλλακτικά σενάρια ανάπτυξης του μείγματος ΑΠΕ

Αξιολόγηση λειτουργίας και εσόδων αγοράς
σταθμών ΑΠΕ για 80% διείσδυση



ΕΛΕΤΑΕΝ
Εθνική Επιτροπή Ενέργειας και Περιβάλλοντος

Το παρόν αποτελεί την τελική Σύνοψη της μελέτης με τίτλο «Εναλλακτικά σενάρια ανάπτυξης του μείγματος ΑΠΕ – Αξιολόγηση λειτουργίας και εσόδων αγοράς σταθμών ΑΠΕ για 80% διείσδυση» που εκπόνησε για λογαριασμό της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας ΕΛΕΤΑΕΝ, η ερευνητική ομάδα του Καθ. Σ. Παπαθανασίου, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Σχολή ΗΜ&ΜΥ, ΕΜΠ.

Η Ομάδα έργου που εργάστηκε για τη μελέτη είναι:

Σταύρος Παπαθανασίου, καθ. ΕΜΠ

Γιώργος Ψαρρός, Δρ. ΕΜΠ

Παντελής Δράτσας, ΥΔ ΕΜΠ

Οκτώβριος 2022

Η φωτογραφία του εξωφύλλου είναι του Θανάση Τζέλλον, από το αιολικό πάρκο Παναχαϊκού και συμμετείχε στο φωτογραφικό διαγωνισμό 2022 της ΕΛΕΤΑΕΝ

Σύνοψη Μελέτης

Σκοπός της μελέτης

Στόχος της μελέτης είναι η συγκριτική αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων ανάπτυξης του μείγματος ηλεκτροπαραγωγής ΑΠΕ στο ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα (ΕΔΣ), που οδηγούν σε παραπλήσια αποτελέσματα συνολικής διείσδυσης, της τάξης του 80% της ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Βασικά σημεία που αξιολογούνται ανά σενάριο είναι το επίπεδο περικοπών της διαθέσιμης παραγωγής ΑΠΕ και η προκύπτουσα ετήσια διείσδυση, καθώς και η μεταβολή στις τιμές αποζημίωσης των κύριων τεχνολογιών ΑΠΕ από την ημερήσια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μελέτη βασίζεται σε προσομοίωση της λειτουργίας του ΕΔΣ και των αγορών του για εναλλακτικά σενάρια ανάπτυξης του μείγματος ΑΠΕ, τα οποία χαρακτηρίζονται από το ίδιο επίπεδο ετησίως διαθέσιμης ενέργειας. Η ανάλυση δεν λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς που μπορεί να υφίστανται σε τοπικό επίπεδο λόγω κορεσμού των δικτύων στο εσωτερικό του ΕΔΣ. Για την προσομοίωση των αγορών του ΕΔΣ υιοθετείται cost-optimal μοντέλο ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού, με ενσωμάτωση των τεχνικών περιορισμών της αγοράς εξισορρόπησης.

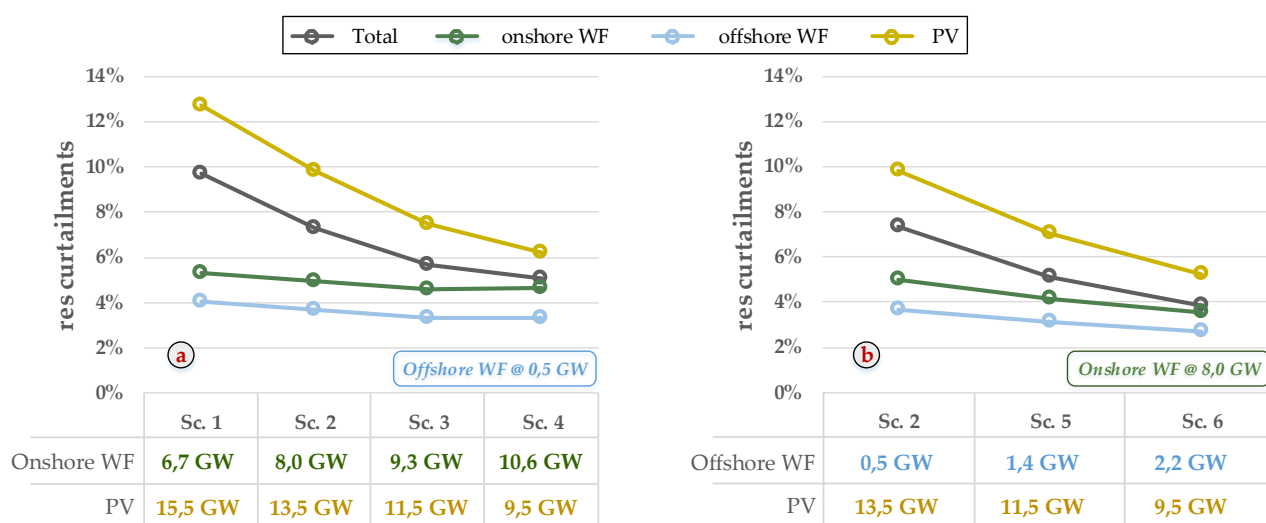
Συνολικά εξετάζονται 6 εναλλακτικά σενάρια ανάπτυξης του μείγματος ΑΠΕ:

Πίνακας 1: Σενάρια ανάπτυξης μείγματος ΑΠΕ.

Τεχνολογία ΑΠΕ	Sc. 1	Sc. 2	Sc. 3	Sc. 4	Sc. 5	Sc. 6
Χερσαία Α/Π [GW]	6,7	8,0	9,3	10,6	8,0	8,0
Υπεράκτια Α/Π [GW]	0,5	0,5	0,5	0,5	1,4	2,2
ΦΒ σταθμοί [GW]	15,5	13,5	11,5	9,5	11,5	9,5
Λοιπές ΑΠΕ [GW]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Σύνολο [GW]	23,7	23,0	22,3	21,6	21,9	20,7

Σύνοψη αποτελεσμάτων

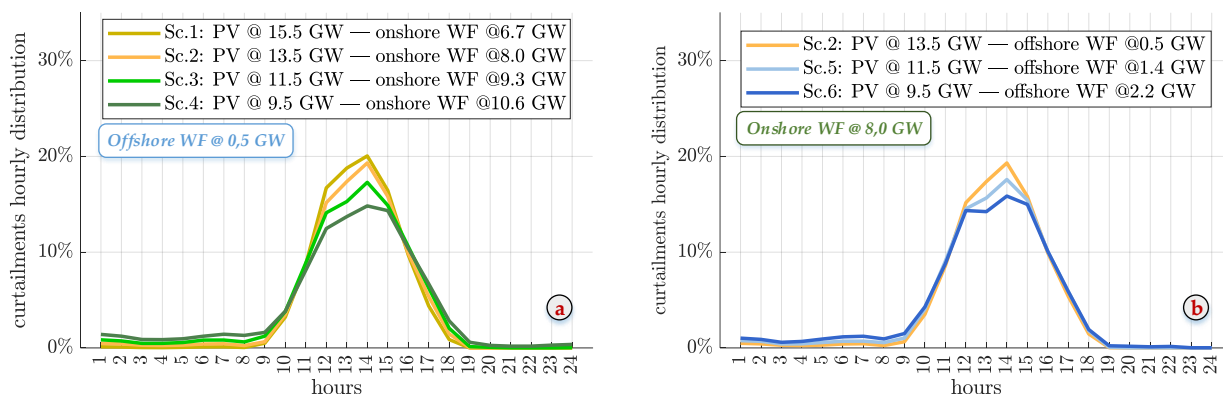
Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι ετήσιες περικοπές, ανά τεχνολογία και συνολικά για τις ΑΠΕ του συστήματος, εκφρασμένες % της διαθέσιμης παραγωγής των σταθμών ΑΠΕ που υπόκεινται σε περικοπές. Οι περικοπές συνιστούν απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ λόγω αδυναμίας τήρησης του ισοζυγίου σε επίπεδο συστήματος παραγωγής. Προκύπτουν σε καταστάσεις όπου οι εξωτερικές διασυνδέσεις και οι δυνατότητες αποθήκευσης του ΕΔΣ δεν επαρκούν για την απορρόφηση του συνόλου της διαθέσιμης παραγωγής. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο κορεσμός επιτείνεται λόγω των απαιτήσεων επικουρικών υπηρεσιών του συστήματος και των τεχνικών περιορισμών λειτουργίας των μονάδων. Οι υπολογισμοί έχουν γίνει για δεδομένη σύνθεση του λοιπού μείγματος παραγωγής και αποθήκευσης του ΕΔΣ.



Σχήμα 1: Ετήσιες περικοπές παραγωγής ΑΠΕ (% της διαθέσιμης ενέργειας σταθμών που υπόκεινται σε περικοπές) για εναλλακτικά σενάρια εγκατεστημένης ισχύος: (α) ΦΒ και χερσαίων Α/Π και (β) ΦΒ και υπεράκτιων Α/Π.

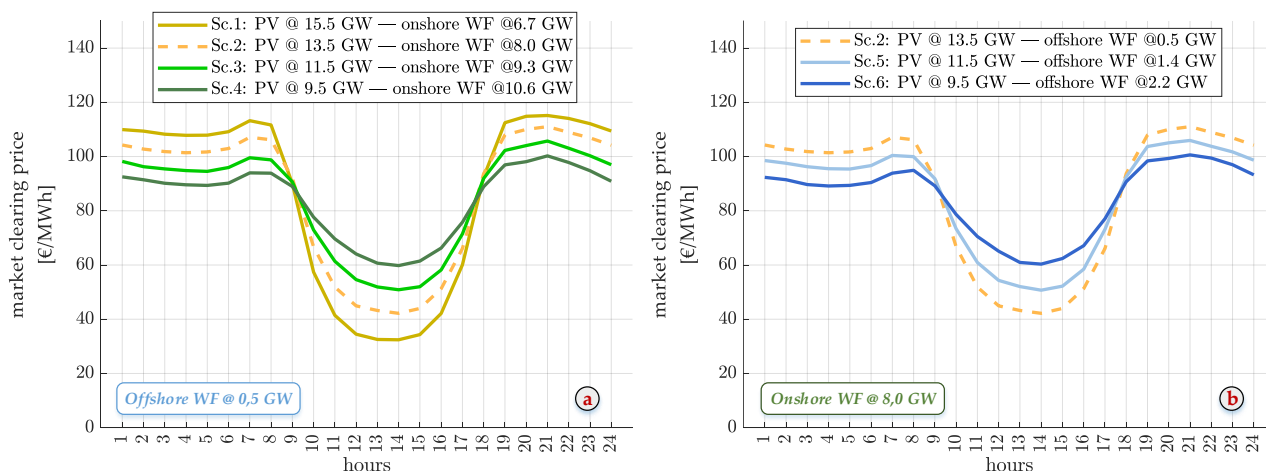
Από το Σχήμα 1 γίνεται φανερό ότι η ισορροπημένη ανάπτυξη φωτοβολταϊκών και Α/Π μειώνει σημαντικά τις περικοπές της διαθέσιμης ενέργειας ΑΠΕ, κυρίως των ΦΒ σταθμών και δευτερευόντως των αιολικών. Το όφελος για την ετήσια διείσδυση ΑΠΕ είναι σημαντικό, ήτοι περίπου 1.5-2 TWh περισσότερη καθαρή ενέργεια μεταξύ των σεναρίων χαμηλών περικοπών και των σεναρίων με τις πλέον αυξημένες περικοπές. Το συνολικό επίπεδο περικοπών μπορεί να μειωθεί με την υπόθεση υψηλότερης συνολικής εγκατεστημένης ισχύος αποθήκευσης (στη μελέτη έχει ληφθεί ίση με 3.2 GW) ή και αυξημένης ικανότητας εξωτερικών διασυνδέσεων, ωστόσο η τάση μείωσης των απορρίψεων με την ισορροπημένη σύνθεση του μείγματος διατηρείται σε κάθε περίπτωση.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η μέση κατανομή της ενέργειας των περικοπών ΑΠΕ εντός του 24ώρου. Για όλες τις τεχνολογίες ΑΠΕ, οι περικοπές οφείλονται σχεδόν αποκλειστικά στη μεσημβρινή συμφόρηση που προκαλεί ο ταυτοχρονισμός της ΦΒ παραγωγής. Μείωση της ισχύος ΦΒ σε συνδυασμό με αύξηση της ισχύος Α/Π οδηγεί σε αισθητή μείωση των μεσημβρινών περικοπών, με πολύ μικρή αύξηση των απορρίψεων κατά τις νυχτερινές ώρες χαμηλής ζήτησης και υψηλής αιολικής παραγωγής.



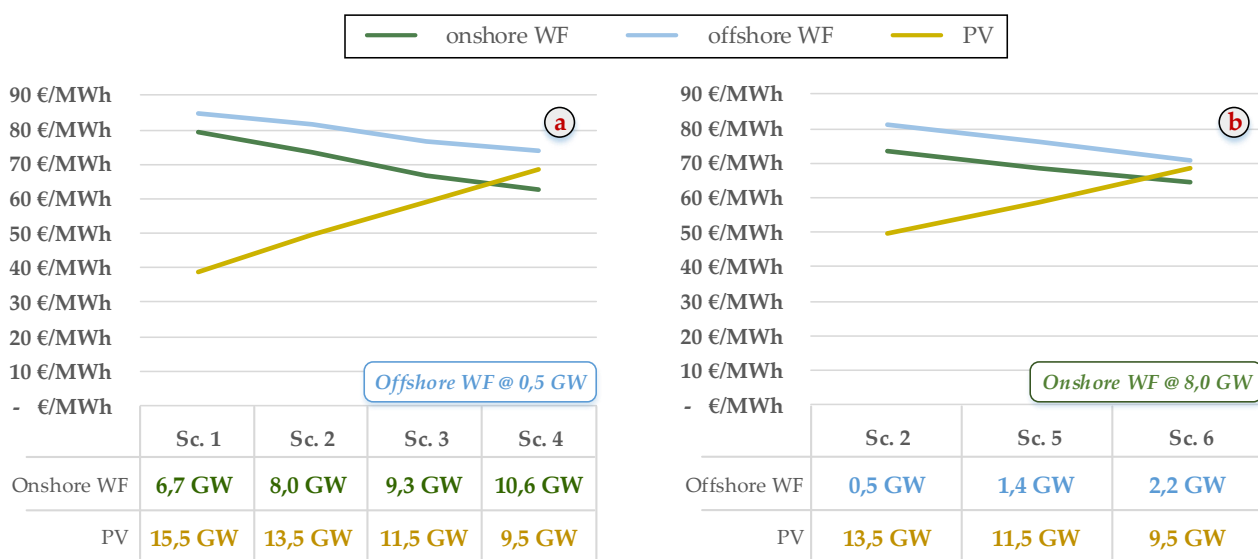
Σχήμα 2: Ωριαία κατανομή ενέργειας περικοπών ΑΠΕ (% συνόλου περικοπών) για εναλλακτικά σενάρια εγκατεστημένης ισχύος: (α) ΦΒ και χερσαίων Α/Π και (β) ΦΒ και υπεράκτιων Α/Π.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το μέσο ωριαίο προφίλ της τιμής εκκαθάρισης της ημερήσιας αγοράς για εναλλακτικά σενάρια μείγματος ΑΠΕ. Η μείωση της ισχύος των ΦΒ με παράλληλη αύξηση των Α/Π (onshore ή offshore) στηρίζει τις τιμές κατά τις μεσημβρινές ώρες, μειώνει το πλήθος των διαστημάτων με μηδενικές τιμές αγοράς και συγκρατεί την αύξηση των τιμών στις ώρες υψηλής υπολειπόμενης ζήτησης.



Σχήμα 3: Μέσο ωριαίο προφίλ τιμών εκκαθάρισης ημερήσιας αγοράς για εναλλακτικά σενάρια εγκατεστημένης ισχύος: (α) ΦΒ και χερσαίων Α/Π και (β) ΦΒ και υπεράκτιων Α/Π.

Η διαμόρφωση του προφίλ των τιμών της αγοράς έχει άμεση επίπτωση στη μεσοσταθμική τιμή αποζημίωσης¹ των τεχνολογιών ΑΠΕ, η οποία φαίνεται στο Σχήμα 4. Τα σενάρια μειωμένης εγκατεστημένης ισχύος ΦΒ χαρακτηρίζονται από αύξηση των μεσοσταθμικών τιμών αποζημίωσης της ΦΒ παραγωγής, λόγω μείωσης της συμφόρησης κατά τις μεσημβρινές ώρες και της συνεπακόλουθης συμπίεσης των τιμών αγοράς. Ταυτόχρονα, η αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος συνεπάγεται μείωση στις τιμές αγοράς στις οποίες διατίθεται η παραγωγή τους, αν και λιγότερο έντονη σε σχέση με τα ΦΒ, λόγω αύξησης της συμφόρησης στις λοιπές ώρες του 24ώρου.



Σχήμα 4: Μεταβολή μεσοσταθμικού εσόδου από την ημερήσια αγορά για εναλλακτικά σενάρια εγκατεστημένης ισχύος: (α) ΦΒ και χερσαίων Α/Π και (β) ΦΒ και υπεράκτιων Α/Π.

¹ Υπολογίζεται ως ο λόγος των ετήσιων εσόδων αγοράς προς την παραγόμενη ενέργεια της κάθε τεχνολογίας.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της μελέτης αναδεικνύουν τα πλεονεκτήματα που επιτυγχάνει η ισορροπημένη ανάπτυξη του μείγματος αιολικών και ΦΒ. Αυτά συνοπτικά είναι:

- Μεγαλύτερη παραγωγή καθαρής ενέργειας με καλύτερη αξιοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας ΑΠΕ, χάρη στη σημαντική μείωση των απορρίψεων λόγω συμφόρησης του συστήματος κατά τις μεσημβρινές ώρες. Τα σενάρια μονόπλευρης ανάπτυξης ΦΒ χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα απορρίψεων, πρωταρχικά των ίδιων των ΦΒ, τα οποία πρέπει να αντισταθμιστούν με την ανάπτυξη αυξημένης αποθηκευτικής ικανότητας σε επίπεδο συστήματος ή στο εσωτερικό των σταθμών.

- Πιο ομαλή κατανομή των τιμών στην αγορά κατά τη διάρκεια του 24ώρου, ήτοι μεγαλύτερη μείωση των τιμών κατά τις ώρες εκτός της μεσημβρίας και μείωση των μηδενικών τιμών κατά τις μεσημβρινές ώρες.

- Πιο αποτελεσματική αποζημίωση των παραγωγών ΑΠΕ από την αγορά, ειδικά των ΦΒ. Στα σενάρια μείγματος ΑΠΕ με αυξημένη συμμετοχή αιολικών διαπιστώνονται σημαντικά υψηλότερες απολαβές των ΦΒ από την ημερήσια αγορά, ως αποτέλεσμα του χαμηλότερου κορεσμού κατά τις μεσημβρινές ώρες και άρα της αποφυγής υπερβολικής συμπίεσης των τιμών αγοράς κατά τις ώρες αυτές. Ταυτόχρονα, η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών συνεπάγεται τη μείωση των εσόδων αγοράς των Α/Π, αλλά σε βαθμό μικρότερο συγκριτικά με τη θεαματική μεταβολή των εσόδων των ΦΒ.

Πρόσθετο σημαντικό όφελος, το οποίο υφίσταται αλλά δεν ποσοτικοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, είναι η μείωση του τοπικού κορεσμού των ηλεκτρικών δικτύων λόγω του χαμηλότερου ταυτοχρονισμού της παραγωγής διαφορετικών τεχνολογιών ΑΠΕ, με συνακόλουθη αύξηση της δυνατότητας υποδοχής ισχύος ΑΠΕ και μείωση των πρόσθετων περικοπών που μπορεί να προκαλέσει ο κορεσμός των ηλεκτρικών δικτύων, επιπλέον αυτών που αποτιμώνται στην παρούσα μελέτη.

Αποποίηση ευθυνών: Η μελέτη συντάχθηκε με αποκλειστικό σκοπό αυτόν που περιγράφεται στη παρούσα και υπό τις θεωρήσεις και περιορισμούς που αναλύονται σε αυτή. Κατά κανένα τρόπο δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι εκτιμά μονοσήμαντα την εξέλιξη των μεγεθών που παρουσιάζει, ιδίως των τιμών αγοράς ή των τιμών αποζημίωσης και των ποσοτήτων ενέργειας ΑΠΕ, αφού κάτι τέτοιο εξαρτάται από σειρά εξωγενών παραγόντων και θεωρήσεων και ξεφεύγει από το σκοπό της. Η μελέτη και τα συμπεράσματά της δεν αποτελούν σύσταση, ούτε μπορεί να αποτελέσουν βάση για τη λήψη οποιασδήποτε επιχειρηματικής ή επενδυτικής ή ανάλογης απόφασης. Οι συντάκτες της μελέτης και η ΕΛΕΤΑΕΝ δεν φέρουν καμία ευθύνη έναντι τρίτων που θα επιλέξουν να βασίσουν οποιαδήποτε απόφασή τους στο περιεχόμενό της.