

**Επικαιροποίηση των περιθωρίων
διείσδυσης των τεχνολογιών ΑΠΕ
στα μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά
συστήματα**

**Συστήματα
Ρόδου και Καρπάθου-Κάσου**

Φορέας ανάθεσης

Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών, ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.

Ομάδα έργου

Καθ. Στ. Παπαθανασίου

Ε. Καραμάνου

Αθήνα, Απρίλιος 2021

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
2. ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΥΠΟΛΟΧΗΣ ΑΠΕ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ.....	7
2.1. Βασικές θεωρήσεις.....	7
2.2. Περιθώριο Φ/Β.....	8
2.3. Περιθώριο Α/Π.....	11
2.4. Περιθώρια διείσδυσης ΥΒΣ.....	15
2.5. Καμπύλη εγγυημένης απορρόφησης.....	19
3. ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΥΠΟΛΟΧΗΣ ΑΠΕ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΡΠΑΘΟΥ-ΚΑΣΟΥ.....	23
3.1. Βασικές θεωρήσεις.....	23
3.2. Περιθώριο Φ/Β.....	23
3.3. Περιθώριο Α/Π.....	26
3.4. Περιθώριο ΥΒΣ.....	29
3.5. Καμπύλη εγγυήσεων απορρόφησης.....	32
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	34
I.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ.....	34
I.1.1. Χαρακτηριστικά του Φορτίου.....	34
I.1.2. Χαρακτηριστικά των Συμβατικών Μονάδων	34
I.1.3. Χαρακτηριστικά Σταθμών ΑΠΕ.....	36
I.1.3.1. Αιολικά Πάρκα	36
I.1.3.2. Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί.....	36
I.1.3.3. Υβριδικοί σταθμοί αιολικών – μπαταριών (ΥΒΣ-ΑΜ)	37
I.1.3.4. Υβριδικοί σταθμοί φωτοβολταϊκών – μπαταριών (ΥΒΣ-ΦΜ)	38
I.1.3.5. Σταθμοί Βιομάζας-Βιοαερίου	39
I.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΡΠΑΘΟΥ -ΚΑΣΟΥ.....	40
I.2.1. Χαρακτηριστικά του Φορτίου.....	40
I.2.2. Χαρακτηριστικά των Συμβατικών Μονάδων	40
I.2.3. Χαρακτηριστικά Σταθμών ΑΠΕ.....	41
I.2.3.1. Αιολικά Πάρκα	41
I.2.3.2. Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί.....	41
I.2.3.3. Σταθμοί Βιομάζας-Βιοαερίου	42
I.2.3.4. Υβριδικοί σταθμοί αιολικών και φωτοβολταϊκών – μπαταριών (ΥΒΣ-ΑΦΜ).....	42
I.3. ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΔΙΕΙΔΥΣΗΣ & ΣΥΜΒΟΛΑΙΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ	43

ΑΝΑΦΟΡΕΣ	47
-----------------------	-----------

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δεδομένα που διαμορφώθηκαν στα ΜΔΝ κατά την τελευταία 5ετία επιβάλλουν την αναθεώρηση πολλών από τις υποθέσεις στις οποίες στηρίχθηκαν οι αρχικές μελέτες καθορισμού περιθωρίων υποδοχής ισχύος των διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ [1-4] και τα περιθώρια που εισήγαγε η απόφαση 616/2016 της ΡΑΕ. Συγκεκριμένα:

- Σε αντίθεση με τις ευμενείς θεωρήσεις των προηγούμενων μελετών, οι οποίες βασιζόταν σε ανάλογες προβλέψεις του Κώδικα ΜΔΝ, η ελάχιστη φόρτιση των υφιστάμενων θερμικών μονάδων διατηρείται σε επίπεδα υψηλότερα των τιμών αναφοράς του Κώδικα ΜΔΝ, ο δε προγραμματισμός ανάπτυξης των σταθμών παραγωγής των νησιών δεν περιλαμβάνει τις ευέλικτες μονάδες που σε ορισμένες περιπτώσεις είχαν θεωρηθεί.
- Η ρυθμιστική πραγματικότητα που έχει διαμορφωθεί δεν δικαιολογεί την υπόθεση μερικής ελαστικότητας στην τήρηση των ΣΑΩΛ των λειτουργούντων Α/Π, δεδομένου ότι δεν υλοποιήθηκε η αναμενόμενη σχετική νομοθετική ρύθμιση. Συνεπώς, η εφαρμογή του κριτηρίου μείωσης των ΣΑΩΛ¹, οφείλει κατ' αρχήν να αποσκοπεί στην ικανοποίηση των συμβατικών ΑΩΛ χωρίς εκπτώσεις, τουλάχιστον στα συστήματα εκείνα όπου σήμερα επιτυγχάνεται η τήρηση των ΣΑΩΛ.
- Για τεχνολογίες κατανεμόμενων σταθμών ΑΠΕ όπως οι ΗΘΣ δεν υπάρχει πλέον κανένα επενδυτικό ενδιαφέρον στα ΜΔΝ (πλην Κρήτης που διασυνδέεται), ενώ για άλλες όπως οι ΣΒΒ το ενδιαφέρον είναι υποτυπώδες και υπολειπόμενο των ήδη εγκεκριμένων περιθωρίων.
- Σε ό,τι αφορά τους ΥΒΣ, οι υποθέσεις διαστασιολόγησης των συνιστωσών τους βασίζονταν στα τότε διαθέσιμα δεδομένα από τις σχετικά λίγες αιτήσεις και άδειες παραγωγής που είχαν εκδοθεί, από τις οποίες απουσίαζαν εντελώς ΥΒΣ με Φ/Β ως μονάδες ΑΠΕ. Οι αιτήσεις που στο μεταξύ υποβλήθηκαν, ιδίως μετά το έτος 2016, και οι άδειες που πρόσφατα εκδόθηκαν βάσει αυτών, περιλαμβάνουν μια πολύ διαφορετική διαστασιολόγηση των σταθμών, με μονάδες ΑΠΕ υπερμεγέθεις σε σχέση με την εγγυημένη ισχύ των σταθμών, σε επίπεδα περίπου διπλάσια των θεωρηθέντων στις αρχικές μελέτες (π.χ. στο σύστημα της Ρόδου). Οι σταθμοί αυτοί αφενός αναλώνουν μεγαλύτερο μέρος περιθωρίου, ανά MW εγγυημένης ισχύος, και αφετέρου χαρακτηρίζονται από μεγάλες εσωτερικές απορρίψεις σε συνθήκες συμφόρησης, καθιστώντας την εφαρμογή του κριτηρίου ενεργειακής αποδοτικότητας σταθμών ΑΠΕ (απορριπτόμενη ενέργεια μικρότερη του 1/3 της πρωτογενώς διαθέσιμης) προβληματική. Συγκεκριμένα, το κριτήριο αυτό δεν είναι δόκιμο να εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό περιθωρίων διείσδυσης ΥΒΣ με εκ προοιμίου υπερδιαστασιοποιημένες ΑΠΕ (όπως αυτές των αδειών ΥΒΣ για το ΜΔΝ της Ρόδου), διότι οι απορρίψεις πολώνονται από την εσφαλμένη διαστασιολόγηση των σταθμών και όχι από το επίπεδο κορεσμού του συστήματος, στρεβλώνοντας την πραγματική εικόνα των δυνατοτήτων υποδοχής ΑΠΕ.
- Η εξέλιξη της ζήτησης των νησιών είναι ένας ακόμη παράγοντας διαφοροποίησης των περιθωρίων, αλλά όχι το ίδιο σημαντικό.

Με βάση τα παραπάνω, αλλά και όσα διαπιστώθηκαν στη μελέτη επανεκτίμησης των περιθωρίων ΑΠΕ για τα ΜΔΝ Πάτμου και Κω-Καλύμνου [5], είναι σαφές ότι η βάση εκτίμησης των περιθωρίων υποδοχής ισχύος ΑΠΕ στα συστήματα των νησιών έχει μεταβληθεί ουσιαστικά και ο ΔΕΔΔΗΕ δικαιολογημένα προκρίνει ως αναγκαία την αναθεώρηση των παραδοχών κατά την επικαιροποίηση των

¹ Στις παλαιότερες μελέτες εφαρμόστηκε κριτήριο μέγιστης ποσοστιαίας μείωσης των Συμβατικών Ανηγγμένων Ωρών Λειτουργίας (ΣΑΩΛ) των Α/Π σε σχέση με τις συμβολαιοποιημένες ίσες με 10%-20%, με τις υψηλότερες μειώσεις για μελλοντικές καταστάσεις αυξημένης διείσδυσης ΑΠΕ μέσω κατανεμόμενων σταθμών.

μελετών, οι οποίες είναι αναμενόμενο ότι θα οδηγήσουν σε μειωμένα περιθώρια, ιδίως για κατανεμόμενες τεχνολογίες παραγωγής όπως οι ΥΒΣ.

Αντικείμενο του παρόντος έργου αποτελεί η επανεκτίμηση των περιθωρίων υποδοχής ισχύος σταθμών ΑΠΕ στα συστήματα ΜΔΝ Ρόδου και της Καρπάθου-Κάσου, λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογίες σταθμών ΑΠΕ για τις οποίες υπάρχει επενδυτικό ενδιαφέρον βάσει των αιτήσεων που έχουν κατατεθεί και των αδειών παραγωγής που έχουν εκδοθεί, καθώς και το σύνολο των νέων δεδομένων που έχουν διαμορφωθεί στο διάστημα από την εκπόνηση των προηγούμενων μελετών. Ως έτος αναφοράς για την εκπόνηση της μελέτης επιλέγεται το 2023, δεδομένου του 2ετούς κύκλου αναθεώρησης των μελετών ανάπτυξης δυναμικού ΑΠΕ που επιβάλλει ο Κώδικας ΜΔΝ (άρθρο 223).

Στη μελέτη αρχικά επανεξετάζονται τα όρια διείσδυσης των βασικών τεχνολογιών ΑΠΕ, όπως τα Α/Π και τα Φ/Β, με κύριο στόχο την επανεπιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της αρχικής μελέτης, δεδομένου ότι τα ήδη εγκεκριμένα περιθώρια δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί. Έμφαση δίνεται στην εκτίμηση νέων περιθωρίων υποδοχής ΥΒΣ, όπου τα δεδομένα έχουν πλέον διαφοροποιηθεί σημαντικά. Η ανάλυση αφορά ΥΒΣ με μπαταρίες και αιολικά ή/και Φ/Β ως μονάδες ΑΠΕ, ενώ δεν εξετάζονται πλέον ΥΒΣ αντλησιοταμιευτικού τύπου, ούτε βεβαίως ηλιοθερμικοί σταθμοί, λόγω απουσίας οποιουδήποτε ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη τέτοιων σταθμών στα εξεταζόμενα ΜΔΝ. Οι σταθμοί βιομάζας-βιοαερίου (ΣΒΒ), για τους οποίους υπάρχει εξαιρετικά περιορισμένο ενδιαφέρον στα ΜΔΝ, αντιμετωπίζονται διαθέτοντας ένα προκαθορισμένο περιθώριο διείσδυσης, αντίστοιχο ή μικρότερο του ήδη εγκεκριμένου από τη ΡΑΕ, όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο.

Ο προσδιορισμός δυνατοτήτων διείσδυσης των παραπάνω τεχνολογιών ΑΠΕ στα εξεταζόμενα συστήματα ΜΔΝ λαμβάνει υπόψη τα νέα δεδομένα που έχουν διαμορφωθεί όσον αφορά:

- την εξέλιξη της ζήτησης, με αναφορά το έτος 2023,
- τη σύνθεση των συμβατικών σταθμών παραγωγής και το εγκεκριμένο πρόγραμμα ανάπτυξής τους
- τους λειτουργικούς περιορισμούς των συμβατικών μονάδων, ιδίως του τεχνικού ελαχίστου, όπως προκύπτουν από απολογιστικά λειτουργικά στοιχεία,
- το μείγμα τεχνολογιών και τη διαμόρφωση των ΥΒΣ που έχουν άδεια παραγωγής, αλλά και αιτήσεις που βρίσκονται υπό αξιολόγηση,
- την υποχρεωτική τήρηση των ΣΑΩΛ των λειτουργούντων Α/Π, όταν η ανάλυση δείχνει ότι αυτές μπορούν να τηρηθούν με τη σημερινή ανάπτυξη των συστημάτων.

Για τις ανάγκες της ανάλυσης εφαρμόζεται μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας των συστημάτων ΜΔΝ, το οποίο καλύπτει τις υπό εξέταση τεχνολογίες ΑΠΕ και ΥΒΣ, ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του Κώδικα ΜΔΝ και στη διαμορφούμενη πρακτική διαχείρισης των συστημάτων, και το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος αντίστοιχων μελετών και αναλύσεων και παραμετροποιείται λαμβάνοντας υπόψη τα απολογιστικά δεδομένα των συστημάτων.

Παρά τις διαφοροποιήσεις ως προς τα δεδομένα εισόδου και την παραμετροποίηση της παρούσας ανάλυσης, η όλη φιλοσοφία προσέγγισης του ζητήματος παραμένει η ίδια όπως στις προηγούμενες μελέτες, δεδομένου ότι καλύπτει τις απαιτήσεις της ανάλυσης και έχει ήδη γίνει αποδεκτή σε ρυθμιστικό επίπεδο. Συνεπώς, η παρούσα έκθεση περιορίζεται στην παρουσίαση των κύριων αποτελεσμάτων της ανάλυσης και των διαφοροποιήσεων σε σχέση με προηγούμενες μελέτες, παρά στην εισαγωγή του όλου πλαισίου μελέτης, η οποία είναι διαθέσιμη στα παραδοτέα των παλαιότερων μελετών.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διερεύνησης και τα προτεινόμενα νέα περιθώρια υποδοχής τεχνολογιών ΑΠΕ για το νησιωτικό σύστημα της Ρόδου.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα για το νησιωτικό σύστημα της Καρπάθου-Κάσου.

Στο Κεφάλαιο 4 συνοψίζονται κύρια συμπεράσματα και διαπιστώσεις της μελέτης.

Στο Παράρτημα Π.Ι. παρουσιάζονται τα βασικά δεδομένα εισόδου των νησιωτικών συστημάτων Ρόδου και Καρπάθου-Κάσου, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις. Επιπλέον, παρατίθενται τα εγκεκριμένα περιθώρια διείσδυσης τεχνολογιών ΑΠΕ και ΥΒΣ που ισχύουν βάσει της απόφασης 616/2016 της ΡΑΕ και τα εγγυημένα/συμβολαιοποιημένα μεγέθη των σταθμών ΑΠΕ (καμπύλη εγγυήσεων για κατανεμόμενες μονάδες ΑΠΕ και πίνακες προσδιορισμού ΣΑΩΛ των Α/Π).

2. ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΥΠΟΔΟΧΗΣ ΑΠΕ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ

2.1. Βασικές θεωρήσεις

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της λειτουργίας του συστήματος της Ρόδου για το έτος 2023 για τρία σενάρια πολιτικής λειτουργίας (Βασικό σενάριο 1, Βασικό σενάριο 2 και Ελαστικό σενάριο) και τα εκτιμώμενα για κάθε σενάριο περιθώρια διείσδυσης για τις εξεταζόμενες τεχνολογίες ΑΠΕ, οι οποίες για το σύστημα της Ρόδου περιλαμβάνουν τα Α/Π, τα Φ/Β και ΥΒΣ με σύστημα αποθήκευσης μπαταριών και Φ/Β ή Α/Π ως συνιστώσες ΑΠΕ.

Στο σύστημα της Ρόδου έχουν εκδοθεί άδειες παραγωγής για υβριδικούς σταθμούς, με σύστημα αποθήκευσης μπαταριών σε συνδυασμό με μεγάλη ισχύ αιολικών (περίπου 2.5 φορές την εγγυημένη) και μικρή ισχύ φωτοβολταϊκών (μόνο 25% της εγγυημένης), συνολικής εγγυημένης ισχύος 44 MW. Παρ' όλα αυτά και με δεδομένο το αυξημένο επενδυτικό ενδιαφέρον για ΥΒΣ με μπαταρίες και Φ/Β εξετάζονται και ΥΒΣ με Φ/Β ως μονάδες ΑΠΕ, προκειμένου η μελέτη να λαμβάνει υπόψη μια πιο ορθολογική προοπτική ανάπτυξης των σταθμών αυτών. ΥΒΣ με αντλησιοταμίευση και ηλιοθερμικοί σταθμοί (ΗΘΣ) δεν εξετάζονται λόγω απουσίας προοπτικής ανάπτυξης τέτοιων σταθμών στο σύστημα της Ρόδου. Τα περιθώρια διείσδυσης (απόφαση 616/2016 της ΡΑΕ) για μικρές Α/Γ (μΑ/Γ) και μη ελεγχόμενους σταθμούς βιομάζας –βιοαερίου που ισχύουν για το σύστημα της Ρόδου λαμβάνονται υπόψη στις προσομοιώσεις αλλά επανεξετάζονται με περιορισμό τους, όπου αυτό κρίνεται σκόπιμο, καθώς εκτιμάται ότι είναι αυξημένα σε σχέση με το έως σήμερα επενδυτικό ενδιαφέρον για τέτοιους σταθμούς.

Τα τρία εξεταζόμενα σενάρια πολιτικής λειτουργίας του συστήματος της Ρόδου αφορούν στην πρακτική λειτουργίας των συμβατικών σταθμών παραγωγής και τα χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων. Τα σενάρια διαφοροποιούνται κυρίως ως προς τον αριθμό των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων (must-run), τη σειρά ένταξης και τα τεχνικά τους ελάχιστα, όπως αυτά παρουσιάζονται στο Παράρτημα δεδομένων Ι.1. Σύμφωνα με την ισχύουσα πρακτική λειτουργίας του συστήματος της Ρόδου, όπως προκύπτει από τα απολογιστικά δεδομένα λειτουργίας των μονάδων του έτους 2019, εντάσσονται υποχρεωτικά τέσσερις (4) συμβατικές μονάδες (ένας ατμοστρόβιλος, μία μικρή και μία μεγάλη νηξελογεννήτρια στον ΑΗΣ Σορωνής και μία μονάδα στον ΘΗΣ Νότιας Ρόδου με τεχνικό ελάχιστο 10 MW για τις ανάγκες θέρμανσης του καυσίμου), ενώ προτάσσονται στην ένταξη κυρίως οι μονάδες του ΑΗΣ Σορωνής έναντι των καινούριων μονάδων του ΘΗΣ Νότιας Ρόδου, για λόγους ευστάθειας του συστήματος², συμπιέζοντας δραματικά τα περιθώρια ανάπτυξης σταθμών ΑΠΕ, όπως θα αναδειχθεί στη συνέχεια. Στα Βασικά σενάρια 1 και 2 προσομοιώνεται η τρέχουσα πολιτική λειτουργίας του συστήματος, με μικρές διαφοροποιήσεις ως προς τα θεωρούμενα τεχνικά ελάχιστα και τη σειρά ένταξης των συμβατικών μονάδων, ενώ στο Ελαστικό σενάριο προσομοιώνεται η λειτουργία του συστήματος της Ρόδου θεωρώντας τρεις υποχρεωτικά ενταγμένες μονάδες (έναν ατμοστρόβιλο και μία μικρή νηξελογεννήτρια στον ΑΗΣ Σορωνής και μία μονάδα στον ΘΗΣ Νότιας Ρόδου), πιο ελαστικά τεχνικά ελάχιστα μονάδων και ένταξη μονάδων με εναλλαγή μεταξύ ΑΗΣ και ΘΗΣ, όπως αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα δεδομένων Ι.1.

Οι ισχύεις των εξεταζόμενων τεχνολογιών ΑΠΕ εξετάζονται παραμετρικά και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αξιολογούνται βάσει των εξής κύριων κριτηρίων:

- Για τον προσδιορισμό της αποδεκτής ισχύος Φ/Β εφαρμόζεται το κριτήριο μη παραβίασης της ελάχιστης φόρτισης των συμβατικών μονάδων. Η ισχύς Φ/Β θεωρείται αρχικά ότι αντιπροσωπεύει

² Δεδομένου του ότι η ζήτηση είναι συγκεντρωμένη στο βόρειο τμήμα του νησιού και των προβλημάτων που συχνά παρουσιάζονται στη ΓΜ 150 kV που συνδέει τον ΘΗΣ νότιας Ρόδου με το υπόλοιπο σύστημα του νησιού.

το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος μη ελεγχόμενων μονάδων ΑΠΕ (Φ/Β, $\mu\text{A}/\Gamma$ και ΣΒΒμε) και περιορίζεται προκειμένου να μην προκαλείται υποφόρτιση των υποχρεωτικά ενταγμένων (must-run) συμβατικών μονάδων κάτω από τα τεχνικά τους ελάχιστα. Η ισχύς αυτή μπορεί να επιμεριστεί με διαφορετικούς τρόπους στις επί μέρους τεχνολογίες μη ελεγχόμενων ΑΠΕ.

- Για τον προσδιορισμό της αποδεκτής ισχύος Α/Π αξιολογείται η επίπτωση στις ΣΑΩΛ και οι εσωτερικές απορρίψεις του συνόλου των Α/Π, αφού το κριτήριο του ελάχιστου συντελεστή χρησιμοποίησης ($CF > 27.5\%$) ικανοποιείται. Παράλληλα αξιολογείται η επίπτωση της ένταξης ισχύος Α/Π στα περιθώρια διείσδυσης των ΥΒΣ.
- Τα εξεταζόμενα σενάρια διείσδυσης ΥΒΣ αξιολογούνται με κριτήριο την τήρηση των ΣΑΩΛ των λειτουργούντων Α/Π (με μηδενικό περιθώριο υστέρησης των ετήσιων ΑΩΛ σε σχέση με τις ΣΑΩΛ³, όταν αυτές κατ'αρχήν ικανοποιούνται). Για τον προσδιορισμό περιθωρίων διείσδυσης ΥΒΣ συναξιολογείται και το κριτήριο της ενεργειακής αποδοτικότητας, δηλαδή η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ των ΥΒΣ να μην υπερβαίνει το 1/3 της διαθέσιμης, παρ' ότι δεν είναι δόκιμη η εφαρμογή του, αφού οι εξεταζόμενες διαμορφώσεις ΥΒΣ (κυρίως των ΥΒΣ-ΑΜ) βασίζονται σε άδειες που ήδη έχουν εκδοθεί (Παράρτημα Δεδομένων Ρόδου Ι.1) και διαθέτουν πολύ αυξημένη ισχύ μονάδων ΑΠΕ, ως εκ τούτου τα έργα αυτά μειονεκτούν σημαντικά από πλευράς ενεργειακών απορρίψεων ανεξαρτήτως επιπέδου διείσδυσης ΑΠΕ στο σύστημα του νησιού.

Η οικονομική βιωσιμότητα των ΥΒΣ δεν μπορεί να αξιολογηθεί απουσία του νέου πλαισίου τιμολόγησης.

Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του νησιωτικού συστήματος της Ρόδου παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι.1. Στις προσομοιώσεις θεωρήθηκε απαίτηση εφεδρείας μεγαλύτερης μονάδας (περί τα 17 MW), διαζευκτικά με απαίτηση εφεδρείας για την αναξίπιστη αιολική παραγωγή και ποσοστό αξιοπιστίας της αιολικής παραγωγής ίσο με 50% για τη μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος παρουσία κατανεμόμενων σταθμών ΑΠΕ.

2.2. Περιθώριο Φ/Β

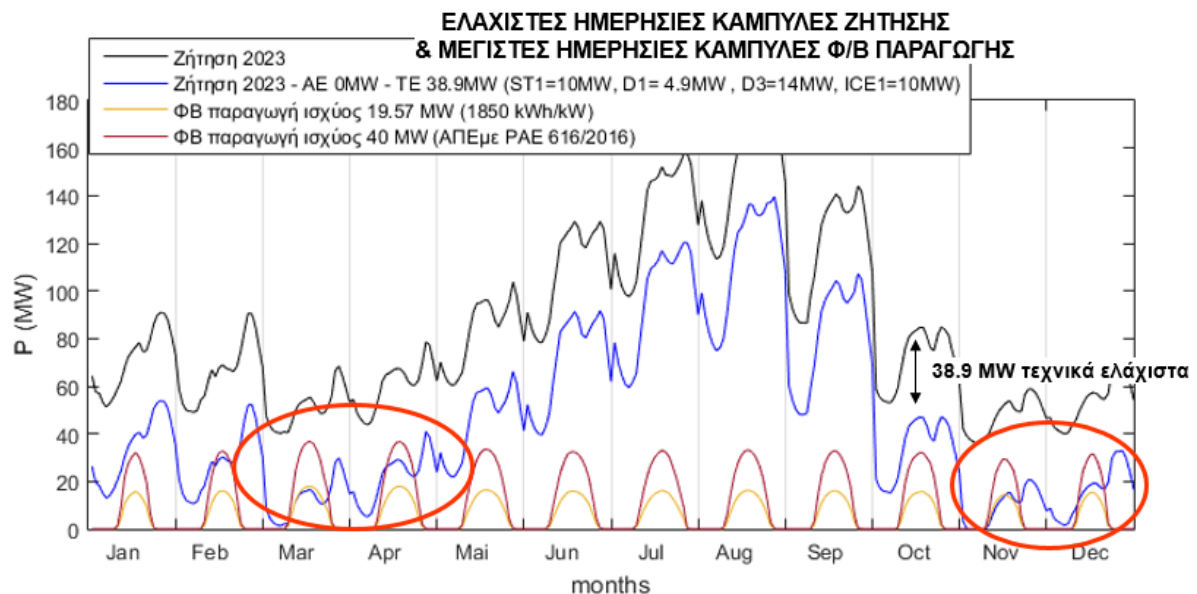
Στη συνέχεια εφαρμόζεται το κριτήριο ελάχιστης φόρτισης των συμβατικών μονάδων, προκειμένου να προσδιοριστεί η αποδεκτή ισχύς των μη ελεγχόμενων τεχνολογιών ΑΠΕ (αθροιστική ισχύς Φ/Β, $\mu\text{A}/\Gamma$ και ΣΒΒμε). Φόρτιση των συμβατικών μονάδων σε ισχείς χαμηλότερες των τεχνικών ελαχίστων τους δύναται να εμφανιστεί σε συνθήκες χαμηλού φορτίου και υψηλής παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ στις οποίες δεν επιβάλλονται περιορισμοί διείσδυσης. Για την αξιολόγηση τέτοιων καταστάσεων χρησιμοποιήθηκαν οι ελάχιστες ημερήσιες καμπύλες φορτίου για κάθε μήνα του έτους 2023 (μαύρες καμπύλες στα Σχήματα 1 έως 3), από τις οποίες αφαιρέθηκαν τα τεχνικά ελάχιστα των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων, τα οποία διαφέρουν ανάλογα με το εξεταζόμενο σενάριο πολιτικής λειτουργίας των συμβατικών μονάδων, καθώς και ποσότητα αρνητικής στρεφόμενης εφεδρείας της τάξης των 5 MW, όπου αυτό είναι δυνατό. Έτσι προκύπτει η μπλε καμπύλη των Σχημάτων 1 έως 3, η οποία δίνει τη μέγιστη δυνατότητα απορρόφησης παραγωγής ΑΠΕ από το σύστημα του νησιού για κάθε ώρα του έτους. Ακολουθώντας, δεδομένου ότι η μη ελεγχόμενη παραγωγή ΑΠΕ αποτελείται κατά κύριο λόγο από Φ/Β σταθμούς, υπολογίζεται η ανά ώρα μέγιστη Φ/Β παραγωγή του κάθε μήνα, βάσει της θεωρούμενης εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β, χρησιμοποιώντας χρονοσειρές πραγματικής Φ/Β παραγωγής του συστήματος της Ρόδου. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οι κίτρινες καμπύλες των Σχημάτων 1 έως 3, οι οποίες αντιστοιχούν στην ήδη εγκατεστημένη ισχύ Φ/Β, οι κόκκινες καμπύλες των Σχημάτων

³ Στην παλαιότερη μελέτη περιθωρίων γινόταν αποδεκτή μείωση στις ΑΩΛ των Α/Π λόγω ένταξης άλλων σταθμών ΑΠΕ μέχρι 20% σε σχέση με τις συμβολαιοποιημένες για μελλοντικές καταστάσεις αυξημένης διείσδυσης ΑΠΕ.

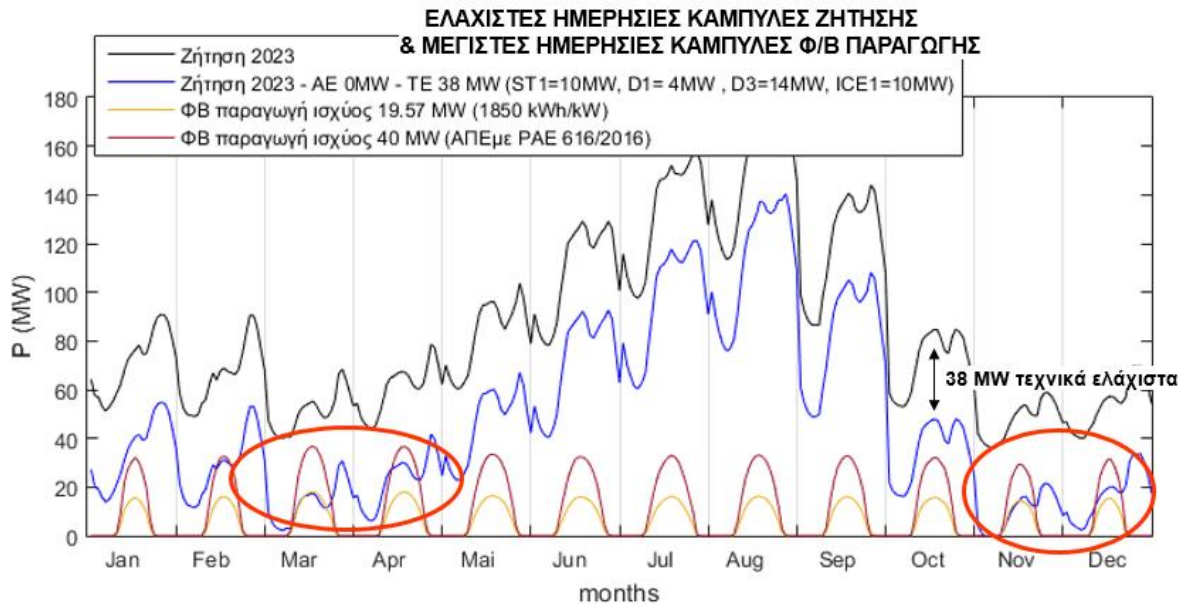
1 έως 3, οι οποίες αντιστοιχούν στη Φ/Β ισχύ του ισχύοντος περιθωρίου (βάσει της απόφασης της ΡΑΕ ισχύει περιθώριο 36 MW για Φ/Β, 2 MW για μΑ/Γ και 2 MW για ΣΒΒμε και αθροιστικά ίσο με 40 MW), αλλά και οι πράσινες καμπύλες του Σχήματος 3, οι οποίες αντιστοιχούν στη μέγιστη αποδεκτή ισχύ Φ/Β, για την οποία η μέγιστη αναμενόμενη παραγωγή τους δεν υπερβαίνει την ελάχιστη δυνατότητα απορρόφησης ΑΠΕ από το σύστημα.

Με τη σημερινή πρακτική λειτουργίας των συμβατικών μονάδων, δηλαδή το Βασικό σενάριο 1 όπου θεωρούνται υποχρεωτικά ενταγμένες τέσσερις μονάδες και θεωρώντας μηδενική εφεδρεία, προκύπτει παραβίαση της ελάχιστης φόρτισης των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων τόσο για τη Φ/Β ισχύ του ισχύοντος περιθωρίου (40 MW) όσο και για την ήδη εγκατεστημένη ισχύ Φ/Β των 19.57 MW, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 (η παραβίαση σημειώνεται με τους κόκκινους κύκλους). Συνεπώς δεν προκύπτει κανένα περιθώριο ανάπτυξης πρόσθετης ισχύος μη ελεγχόμενων τεχνολογιών ΑΠΕ (ΑΠΕμε) πέραν της ισχύος των ήδη εγκατεστημένων σήμερα Φ/Β. Το συμπέρασμα αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού ο αντίστοιχος προσδιορισμός ΑΠΕμε στις παλαιότερες μελέτες βασιζόταν σε πολύ πιο ευνοϊκές θεωρήσεις αναφορικά με τις υποχρεωτικά ενταγμένες μονάδες [1-2]. Αντίστοιχο είναι το συμπέρασμα και για το Βασικό σενάριο 2, το οποίο διαφοροποιείται μόνο στο τεχνικό ελάχιστο της μικρής νηξελογεννήτριας (4 MW αντί για 4.9 MW στην D1).

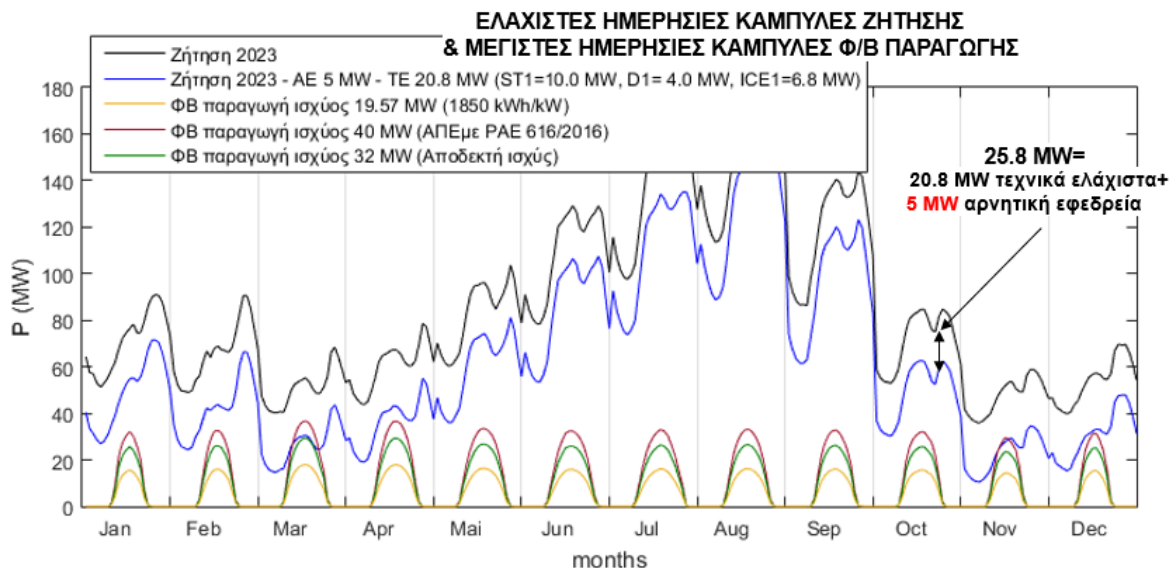
Αντίθετα, για το Ελαστικό σενάριο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, η μέγιστη αποδεκτή Φ/Β ισχύς χωρίς παραβίαση της ελάχιστης φόρτισης των υποχρεωτικά ενταγμένων μονάδων (στο σενάριο αυτό είναι τρεις και με ελαστικά τεχνικά ελάχιστα, της τάξης του 40%) είναι ίση με 32 MW, θεωρώντας αρνητική εφεδρεία 5 MW.



Σχήμα 1. Παραβίαση ελάχιστης φόρτισης των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων του συστήματος της Ρόδου για ισχύ Φ/Β σταθμών ίση με την εγκατεστημένη 19.57 MW (κίτρινη γραφική) και για ισχύ ΑΠΕμε περιθωρίου 40 MW (κόκκινη γραμμή).- Βασικό σενάριο 1.



Σχήμα 2. Παραβίαση ελάχιστης φόρτισης των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων του συστήματος της Ρόδου για ισχύ Φ/Β σταθμών ίση με την εγκατεστημένη 19.57 MW (κίτρινη γραφική) και για ισχύ ΑΠΕμε περιθωρίου 40 MW (κόκκινη γραμμή).- Βασικό σενάριο 2.



Σχήμα 3. Όριο εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β σταθμών στην Ρόδο τα 32 MW (πράσινη γραφική) προκειμένου να μην παραβιάζεται η ελάχιστη φόρτιση των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων του συστήματος. Παραβίαση ελάχιστης φόρτισης των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων για ισχύ ΑΠΕμε περιθωρίου 40 MW (κόκκινη γραμμή).- Ελαστικό σενάριο.

Συνοψίζοντας, με τη μεθοδολογία αυτή και για τη σημερινή πρακτική λειτουργίας του συστήματος της Ρόδου, δηλαδή τέσσερις υποχρεωτικά ενταγμένες μονάδες (Βασικό σενάριο 1 και 2) δεν προκύπτει κανένα περιθώριο διείσδυσης για τις ΑΠΕμε πέραν της ήδη εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β και ως εκ τούτου είναι αναγκαίος ο μηδενισμός των αδιάθετων περιθωρίων για τις τεχνολογίες αυτές.

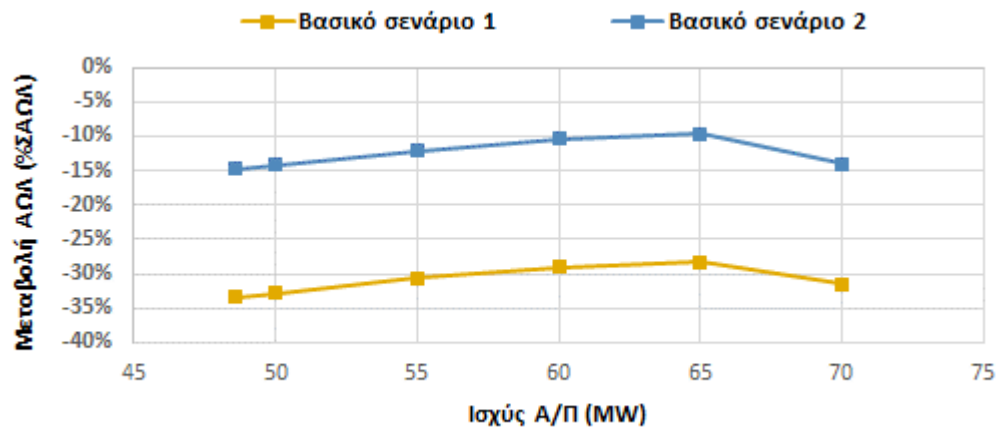
Αντίθετα, με την υπόθεση ελαστικοποίησης της διαχείρισης του συστήματος ως προς τις υποχρεωτικά ενταγμένες μονάδες και τα τεχνικά τους ελάχιστα (Ελαστικό σενάριο), με την ίδια μεθοδολογία υπολογίζεται αποδεκτή εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β σταθμών ίση με 32 MW, τιμή που είναι κατά 8 MW μικρότερη από το ισχύον για το σύνολο των μη ελεγχόμενων σταθμών ΑΠΕ, το οποίο ανέρχεται σε 40 MW και είναι επιμερισμένο σε 36 MW για Φ/Β, 2 MW για μΑ/Γ και 2 MW για ΣΒΒμε.

Περιορίζοντας τις απαιτήσεις αρνητικής εφεδρείας, θα μπορούσε να υιοθετηθεί **νέο περιθώριο 37 MW για το σύνολο των μη ελεγχόμενων σταθμών ΑΠΕ**, μειωμένο κατά 3 MW του ισχύοντος. Ο επιμερισμός του νέου περιθωρίου μπορεί να διαφοροποιηθεί, ανάλογα με το ενδιαφέρον για εγκατάσταση Φ/Β. Π.χ. να διατεθούν 36 MW σε Φ/Β (ισχύς ίση με το ισχύον περιθώριο Φ/Β) και κατά 1 MW σε μΑ/Γ, αφήνοντας εκτός επιμερισμού τους μικρούς μη ελεγχόμενους σταθμούς βιομάζας-βιοαερίου (ΣΒΒμε), δεδομένου ότι δεν υπάρχουν τέτοιες αιτήσεις για το σύστημα της Ρόδου και το ισχύον περιθώριο για ελεγχόμενους σταθμούς (ΣΒΒελ) των 5 MW παραμένει αδέσμευτο.

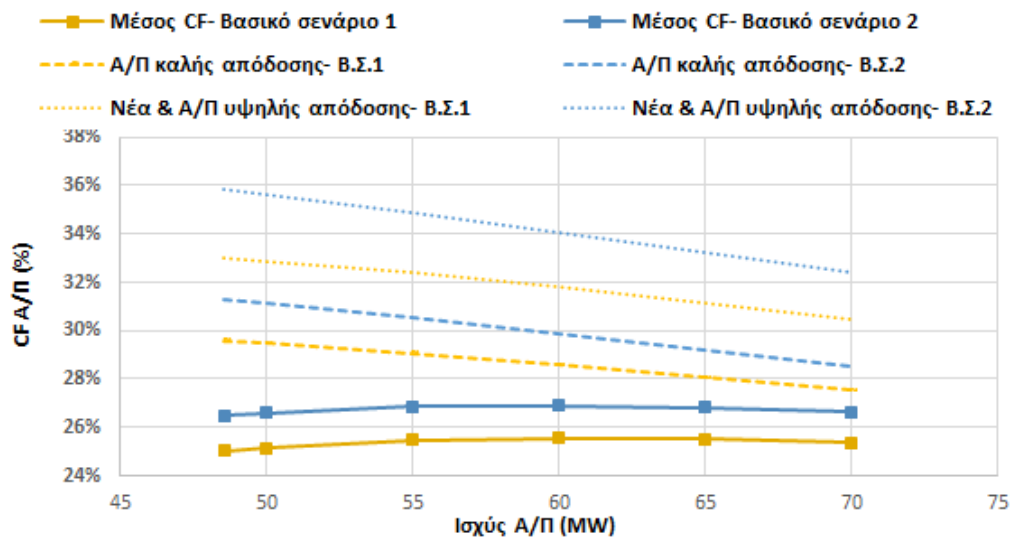
2.3. Περιθώριο Α/Π

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων λειτουργίας του συστήματος της Ρόδου το έτος 2023 για το Βασικό σενάριο 1 και 2, θεωρώντας ενταγμένους μόνο τους ήδη εγκατεστημένους Φ/Β σταθμούς και με την ισχύ Α/Π να κυμαίνεται μεταξύ 48.55 και 70 MW. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, προκύπτει σημαντική παραβίαση των ΣΑΩΛ και για τα δύο Βασικά σενάρια σε όλο το εξεταζόμενο εύρος ισχύος Α/Π, ακόμα και για την ήδη εγκατεστημένη ισχύ Α/Π (48.55 MW). Συνεπώς, το κριτήριο τήρησης των ΣΑΩΛ είναι πρακτικά μη εφαρμόσιμο για τον προσδιορισμό περιθωρίων ΑΠΕ. Στα Σχήματα 5 και 6 παρουσιάζονται ο συντελεστής χρησιμοποίησης και οι απορρίψεις αιολικής παραγωγής συναρτήσει της εξεταζόμενης ισχύος Α/Π. Ο μέσος συντελεστής χρησιμοποίησης των Α/Π προκύπτει αρκετά χαμηλότερος του ορίου του 27.5% σε όλο το εξεταζόμενο εύρος ισχύος Α/Π, ενώ οι απορρίψεις του συνόλου των πάρκων παραμένουν σε επίπεδα <25%, που βεβαίως είναι υψηλά. Εδώ να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος των εγκατεστημένων Α/Π του συστήματος της Ρόδου (περίπου 22.75 MW) λειτουργούν με πολύ χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης (της τάξης του 20% βάσει της διαθέσιμης ισχύος προ περικοπών), συμπαρασύροντας τα αποτελέσματα για το σύνολο των Α/Π. Τα λοιπά εγκατεστημένα και νέα πάρκα παρουσιάζουν CF άνω του 27.5% μετά τις περικοπές (μπλε και κίτρινες διακεκομμένες και εστιγμένες γραφικές στο Σχήμα 5) έως τη μέγιστη εξεταστέα ισχύ των 70 MW. Η ένταξη σημαντικής πρόσθετης αιολικής ισχύος προκαλεί μιν αισθητή μείωση του συντελεστή χρησιμοποίησης των Α/Π, έως 2.5%, χωρίς όμως να αναιρεί τη βιωσιμότητα των έργων. Συνεπώς, εξαιρώντας την επίπτωση στις ΣΑΩΛ, το σύστημα της Ρόδου θα μπορούσε να υποδεχθεί σημαντική πρόσθετη αιολική ισχύ πέραν της ήδη εγκατεστημένης. Διαπιστώνεται μάλιστα ότι η απόκλιση των ΑΩΛ από τις συμβατικές περιορίζεται ελαφρώς αυξανόμενης της ισχύος των Α/Π⁴.

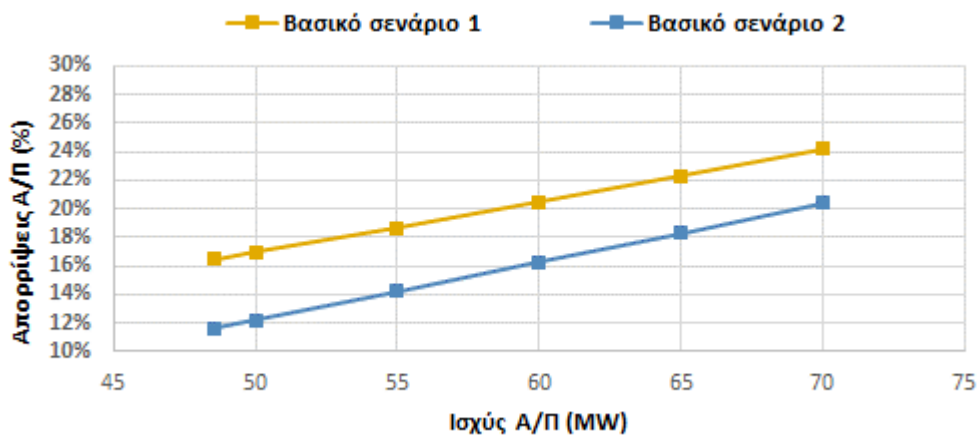
⁴ Η μειούμενη απόκλιση των ΑΩΛ από τις ΣΑΩΛ που παρατηρείται αυξανόμενης της διείσδυσης των Α/Π μέχρι την ισχύ των 65 MW οφείλεται στο γεγονός ότι οι ΣΑΩΛ των συμβάσεων των Α/Π (βλ. Παράρτημα Δεδομένων Ι.3) μειώνονται ταχύτερα σε σχέση με τις ΑΩΛ που προκύπτουν από την προσομοίωση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 4. Μεταβολή ΑΩΛ (% ΣΑΩΛ), συναρτήσει της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος - Βασικό σενάριο 1 και 2.



Σχήμα 5. Μέσος συντελεστής χρησιμοποίησης συνόλου Α/Π & ανά ομάδα Α/Π, συναρτήσει της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος - Βασικό σενάριο 1 και 2.

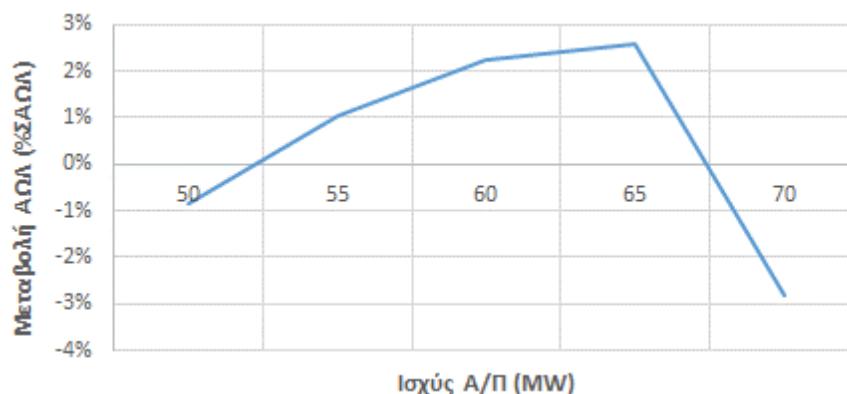


Σχήμα 6. Απορριπτόμενη ενέργεια Α/Π (% της διαθέσιμης), συναρτήσει της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος -Βασικό σενάριο 1 και 2.

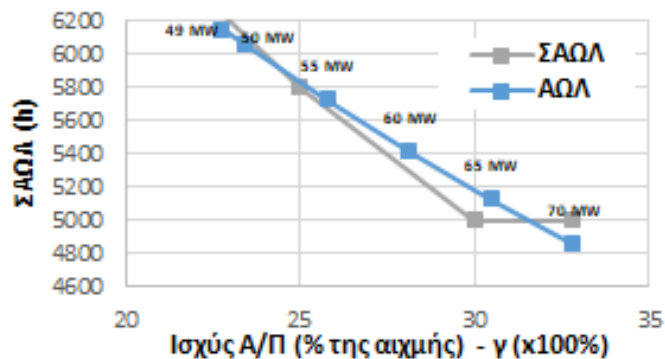
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοιώσεων για το Ελαστικό σενάριο διαχείρισης, θεωρώντας ενταγμένους μη ελεγχόμενους σταθμούς ΑΠΕ ισχύος ίσης με τα περιθώρια που προσδιορίζονται στην προηγούμενη ενότητα για το σενάριο αυτό, δηλαδή Φ/Β ισχύος 36 MW, μΑ/Γ ισχύος 1 MW και ΣΒΒ με μηδενικής ισχύος, και την ισχύ Α/Π να κυμαίνεται μεταξύ 50 και 70 MW, στην οποία περιλαμβάνονται τα ήδη εγκατεστημένα πάρκα των 48.55 MW. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η μεταβολή των ΑΩΛ, ως ποσοστό των ΣΑΩΛ, συναρτήσει της εξεταζόμενης ισχύος Α/Π. Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι σαφές ότι **το σύστημα της Ρόδου μπορεί να υποδεχθεί πρόσθετη αιολική ισχύ της τάξης των 10 MW, πέραν του ισχύοντος περιθωρίου των 55 MW** (βάσει απόφασης ΡΑΕ 616/2016), **χωρίς να τίθεται θέμα παραβίασης των ΣΑΩΛ, αφού για Α/Π ισχύος 65 MW παρατηρείται μέγιστη αύξηση των ΑΩΛ (%ΣΑΩΛ) αφήνοντας αρκετό περιθώριο ανάπτυξης για άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ (όπως οι ΥΒΣ).**

Η θετική απόκλιση των ΑΩΛ που παρατηρείται αυξανόμενης της διείσδυσης των Α/Π μέχρι την ισχύ των 65 MW οφείλεται στον υψηλό ρυθμό μείωσης που παρουσιάζουν οι ΣΑΩΛ των συμβάσεων των υφιστάμενων αιολικών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8, και δεν αντικατοπτρίζει τον πραγματικό κορεσμό του συστήματος και τη συμπίεση της λειτουργίας των Α/Π αυξανόμενης της διείσδυσής τους. Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται ο μέσος συντελεστής χρησιμοποίησης των Α/Π, ο οποίος προκύπτει ελαφρώς μεγαλύτερος του 27.5% σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις. Η απορριπτόμενη ενέργεια των Α/Π που παρουσιάζεται στο Σχήμα 10 παραμένει χαμηλότερη του 20%. Διαπιστώνεται συνεπώς ότι η θεωρούμενη ελαστική πολιτική λειτουργίας των συμβατικών μονάδων, δηλαδή η τήρηση τριών υποχρεωτικά ενταγμένων μονάδων, τα χαμηλότερα τεχνικά ελάχιστα και η εναλλάξ ένταξη μονάδων Ν. Ρόδου και Σορωνής, όπως παρουσιάζεται στο Παράρτημα Ι.1, αποσυμφορεί το σύστημα και συμβάλλει αισθητά στην αναβάθμιση της διείσδυσης ΑΠΕ.

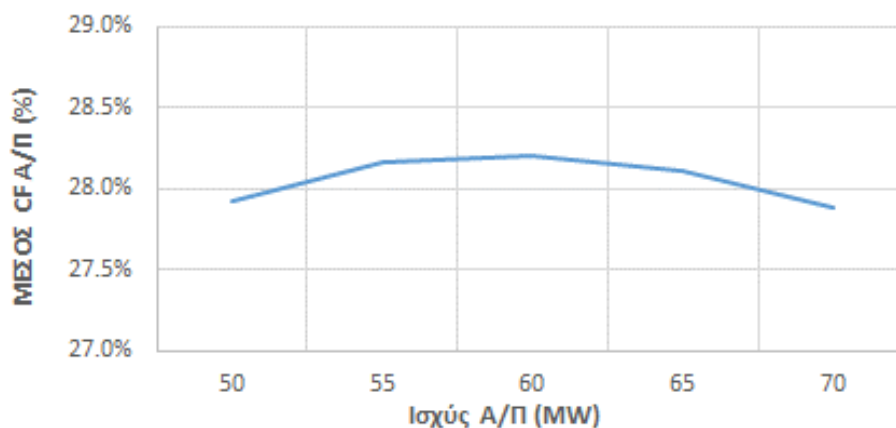
Από την άλλη πλευρά, θα πρέπει να επισημανθούν οι σημαντικές τεχνικές δυσκολίες και επισφάλειες του συστήματος ΥΤ της Ρόδου, οι οποίες τα τελευταία χρόνια έχουν προκαλέσει πολλαπλά black out και έχουν επιβάλει συντηρητικές πολιτικές διαχείρισης. Η αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος πέραν του ισχύοντος περιθωρίου των 55 MW θα πρέπει να γίνει με προσεκτικά βήματα, αφού προηγουμένως επιβεβαιωθεί η δυνατότητα ελαστικοποίησης της διαχείρισης του τοπικού συστήματος.



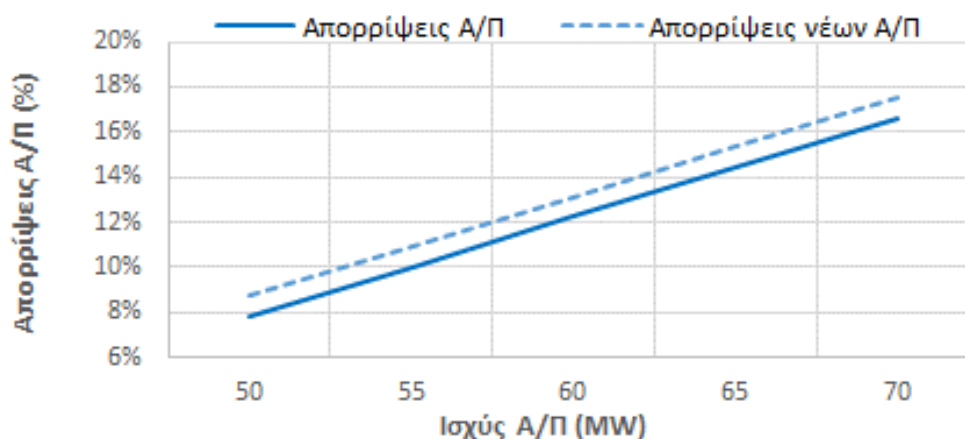
Σχήμα 7. Απόκλιση ΑΩΛ από τις συμβατικές (% ΣΑΩΛ), συναρτήσει της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.- Ελαστικό σενάριο.



Σχήμα 8. Μεταβολή ΑΩΛ προσομοίωσης και ΣΑΩΛ συμβάσεων, συναρτήσει της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος (% της αιχμής) - Ελαστικό σενάριο.



Σχήμα 9. Μέσος συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Π, συναρτήσει της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος - Ελαστικό σενάριο.



Σχήμα 10. Απορριπτόμενη ενέργεια Α/Π, συναρτήσει της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος - Ελαστικό σενάριο.

2.4. Περιθώρια διείσδυσης ΥΒΣ

Στη συνέχεια εξετάζεται η ένταξη ΥΒΣ με σύστημα αποθήκευσης μπαταριών και Α/Π (ΥΒΣ-ΑΜ) ή Φ/Β (ΥΒΣ-ΦΜ) ως μονάδες ΑΠΕ, σε αναλογία ισχύος ΥΒΣ-ΑΜ:ΥΒΣ-ΦΜ ίση με 2:1. Η διαμόρφωση των ΥΒΣ-ΑΜ βασίζεται στα δεδομένα των αδειοδοτημένων έργων για το νησί (βλ. Παράρτημα Π.Ι.1), με την αναλογία μεγέθους των συνιστωσών να είναι όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1, ενώ η διαμόρφωση των ΥΒΣ-ΦΜ παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1. Θεωρηθείσα διαστασιολόγηση συνιστωσών ΥΒΣ-ΑΜ της Ρόδου.

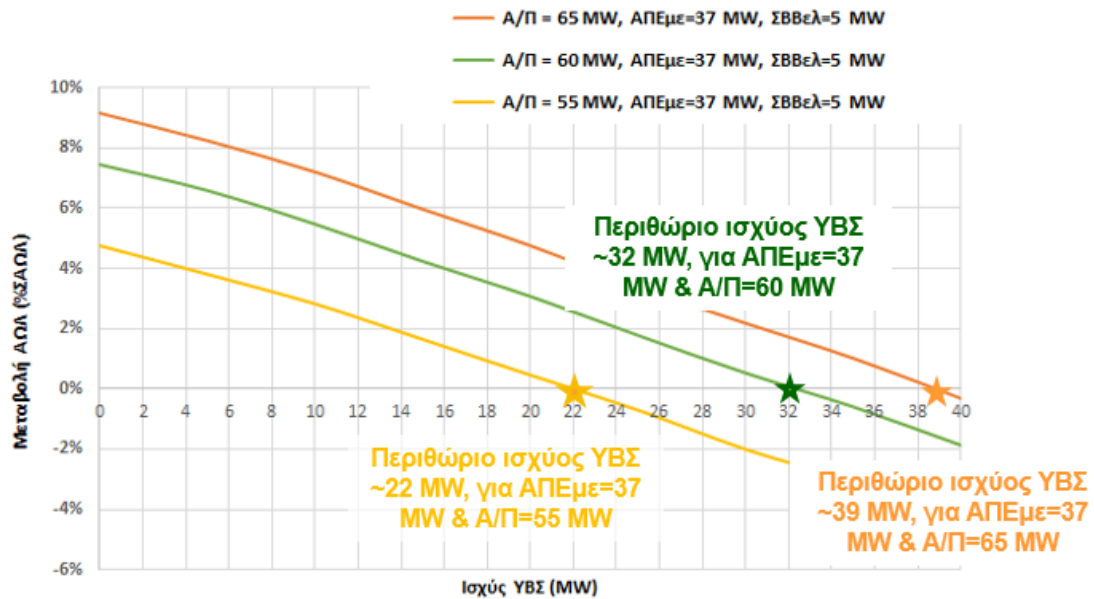
ΕΓΓΥΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΥΒΣ (MW)	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ (MW)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ (MWh)	ΙΣΧΥΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ (MW)
P_{GUAR}	$P_{W/F}=2.6 \cdot P_{GUAR}$	$E=7.3 \cdot P_{GUAR}$	$>85\% \cdot P_{PV}$

Πίνακας 2. Θεωρηθείσα διαστασιολόγηση συνιστωσών ΥΒΣ-ΦΜ της Ρόδου.

ΕΓΓΥΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΥΒΣ (MW)	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ (MW)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ (MWh)	ΙΣΧΥΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ (MW)
P_{GUAR}	$P_{PV}=2.5 \cdot P_{GUAR}$	$E=8.0 \cdot P_{GUAR}$	$>85\% \cdot P_{PV}$

Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε για τα ίδια τρία σενάρια πολιτικής λειτουργίας των συμβατικών μονάδων. Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το Ελαστικό σενάριο, όπου θεωρούνται σταθμοί ΑΠΕ ισχύος ίσης με τα νέα περιθώρια, δηλαδή Φ/Β 36 MW, μΑ/Γ 1 MW και ΣΒΒ με μηδενικής ισχύος, και επίπεδα ενταγμένης ισχύος Α/Π από 55 έως 65 MW, με την εγγυημένη ισχύ ΥΒΣ να κυμαίνεται μεταξύ 0-40 MW, με βήμα 5 MW.

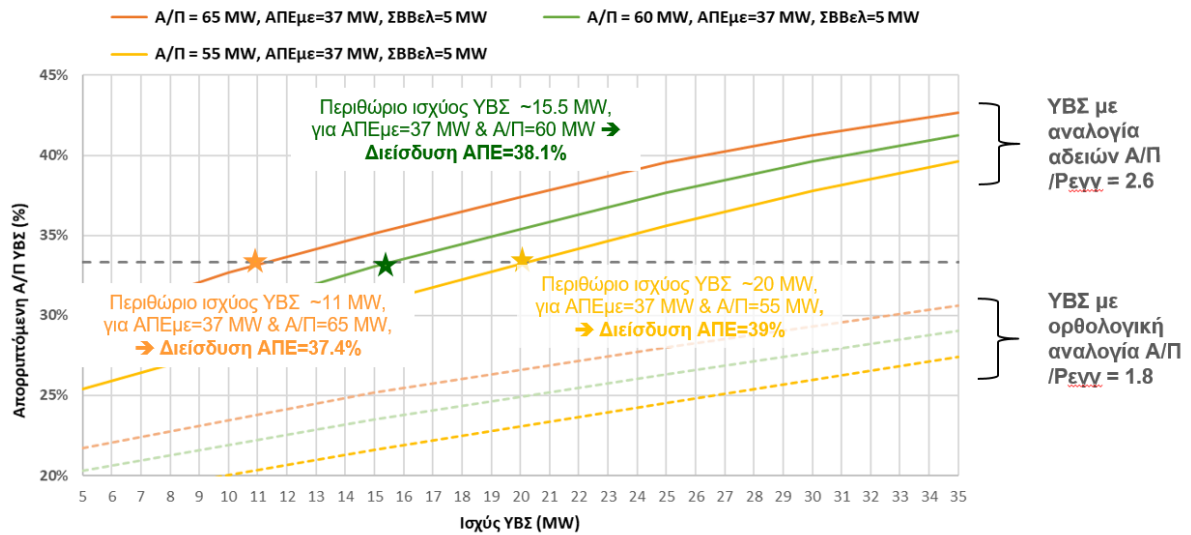
Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η απόκλιση των ΑΩΛ από τις ΣΑΩΛ συναρτήσει της ισχύος ΥΒΣ. Με κριτήριο την τήρηση των ΣΑΩΛ, η ισχύς περιθωρίου ΥΒΣ κυμαίνεται από 22 έως 39 MW, με τα χαμηλότερα περιθώρια να προκύπτουν το ισχύον περιθώριο Α/Π των 55 MW, λόγω μικρότερου περιθωρίου από τις ΣΑΩΛ των συμβάσεων (βλ. Σχήμα 8 προηγούμενης παραγράφου). **Δηλαδή διαπιστώνεται ότι πρόσθετη ισχύς περιθωρίου Α/Π οδηγεί σε αυξημένα περιθώρια ΥΒΣ**, παρατήρηση που δεν έχει καμία ουσιαστική υπόσταση αλλά οφείλεται στον προβληματικό τρόπο προσδιορισμού των ΣΑΩΛ των συμβάσεων πώλησης των παλαιών Α/Π.



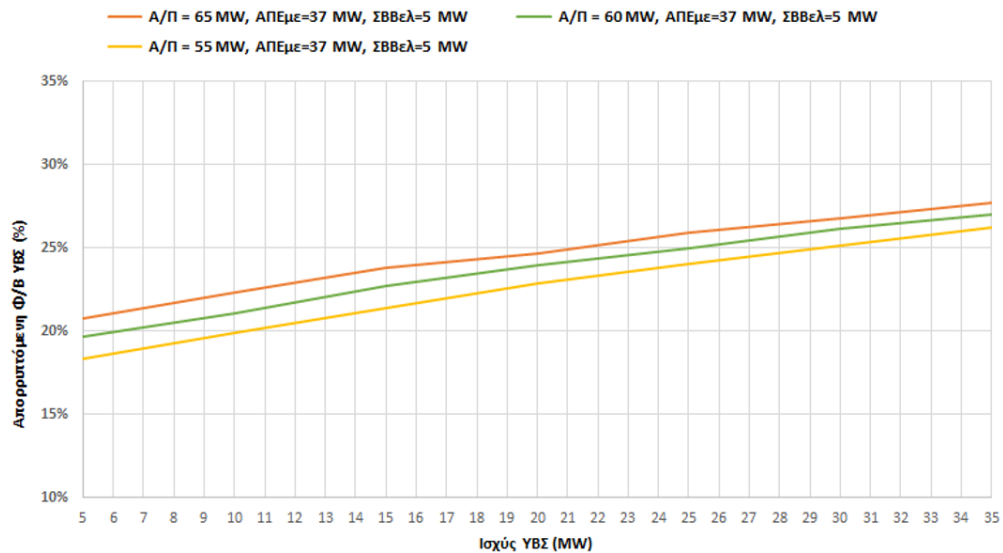
Σχήμα 11. Ποσοστιαία απόκλιση των ΑΩΛ από τις ΣΑΩΛ στο σύστημα της Ρόδου, συναρτήσει της εγγυημένης ισχύος ΥΒΣ (μείγμα ισχύος ΥΒΣ-ΑΜ & ΥΒΣ-ΦΜ με αναλογία 2:1) - Ελαστικό Σενάριο.

Η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ των ΥΒΣ-ΑΜ (% της διαθέσιμης των μονάδων ΑΠΕ) απεικονίζεται στο Σχήμα 12 με χρωματιστές γραμμές, ανάλογα με τη θεωρούμενη ενταγμένη ισχύ Α/Π εκτός ΥΒΣ, και κυμαίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα, γεγονός που πρωταρχικά οφείλεται στις υπερδιαστασιολογημένες μονάδες ΑΠΕ (συνεχείς χρωματιστές γραμμές). Οι απορρίψεις αυτές απεικονίζονται με διακεκομμένες γραμμές στο Σχήμα 12 για ίδια εγγυημένη ισχύ ΥΒΣ, αλλά με ορθολογική διαμόρφωση (αναλογία Α/Π προς εγγυημένη ισχύ ίση με 1.8) και είναι κατά πολύ χαμηλότερες. Αν οι περικοπές της διαθέσιμης παραγωγής ΑΠΕ χρησιμοποιηθούν ως κριτήριο, τότε προκύπτει όριο διείσδυσης ΥΒΣ μεταξύ 11 - 20 MW με βάση τη δυσμενή διαμόρφωση των αδειών παραγωγής, αλλά πολύ υψηλότερο για ορθολογική διαμόρφωση έργων, το οποίο πρακτικά περιορίζεται από το κριτήριο των ΣΑΩΛ. Εδώ υψηλότερα περιθώρια ΥΒΣ προκύπτουν για χαμηλότερες ενταγμένες ισχύεις εξωτερικών Α/Π, όπου ο κορεσμός του συστήματος είναι μειωμένος.

Για τους ΥΒΣ-ΦΜ, η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ (% της συνολικά διαθέσιμης) απεικονίζεται στο Σχήμα 13 και κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από των ΥΒΣ-ΑΜ, αρκετά κάτω του 33%.



Σχήμα 12. Απορριπτόμενη ενέργεια Α/Π ΥΒΣ-ΑΜ συστήματος Ρόδου, συναρτήσεως της εγγυημένης ισχύος ΥΒΣ (μείγμα ισχύος ΥΒΣ-ΑΜ & ΥΒΣ-ΦΜ με αναλογία 2:1) - Ελαστικό Σενάριο.

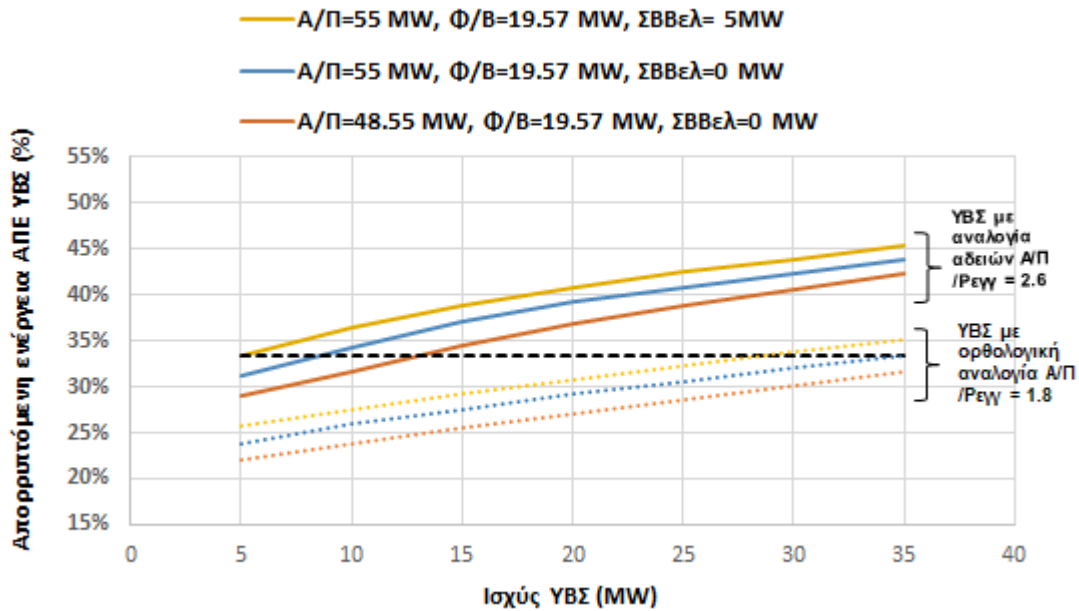


Σχήμα 13. Απορριπτόμενη Φ/Β ενέργεια ΥΒΣ-ΦΜ στο σύστημα της Ρόδου συναρτήσεως της εγγυημένης ισχύος ΥΒΣ (μείγμα ισχύος ΥΒΣ-ΑΜ & ΥΒΣ-ΦΜ με αναλογία 2:1) - Ελαστικό Σενάριο

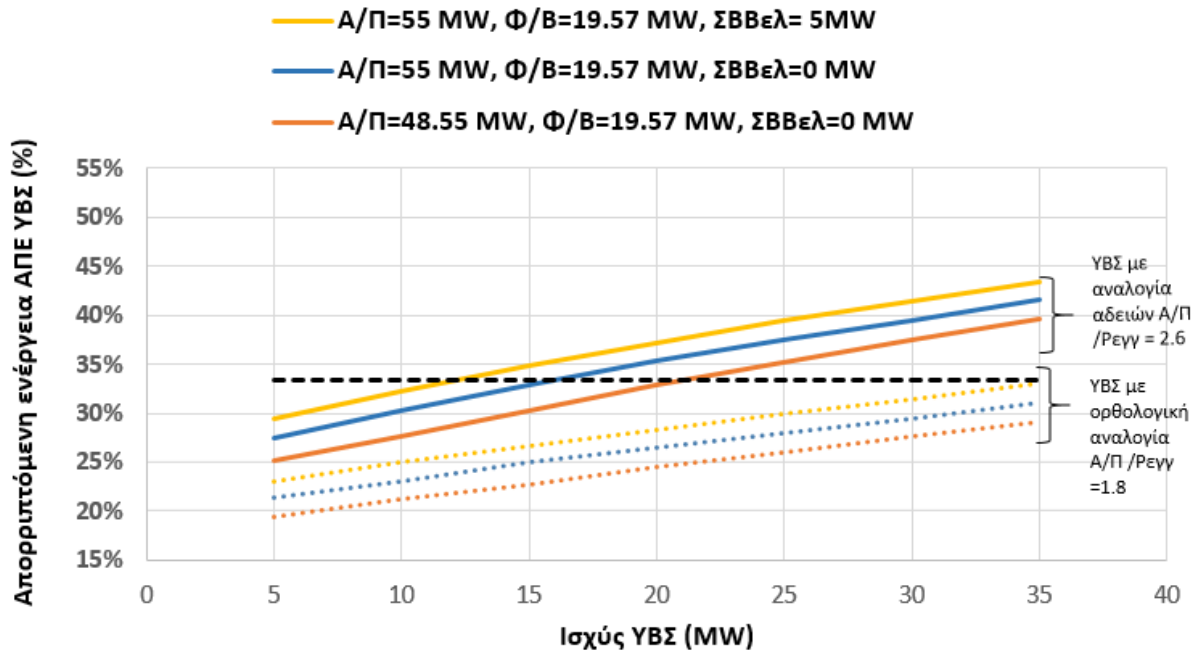
Στην αντίστοιχη διερεύνηση περιθωρίων ισχύος ΥΒΣ για το Βασικό σενάριο 1 και 2 που παρουσιάζεται στη συνέχεια, θεωρούνται ενταγμένοι οι ήδη εγκατεστημένοι σταθμοί ΑΠΕ (Φ/Β και Α/Π), με την εγγυημένη ισχύ ΥΒΣ να κυμαίνεται μεταξύ 0-35 MW, με βήμα 5 MW. Επιπλέον παρουσιάζεται η επίπτωση ένταξης πρόσθετης ισχύος Α/Π και ΣΒΒελ, έως τα ισχύοντα περιθώρια των 55 MW και 5 MW αντίστοιχα. Δεδομένης της παραβίασης των ΣΑΩΛ για τα δύο αυτά Βασικά σενάρια ανεξαρτήτως της παρουσίας ΥΒΣ, το κριτήριο αυτό δεν αξιολογείται.

Στα Σχήματα 14 και 15 παρουσιάζονται οι συνολικές απορρίψεις ενέργειας ΑΠΕ του συνόλου των ΥΒΣ. Οι βασικές διαμορφώσεις ΥΒΣ που θεωρήθηκαν στις προσομοιώσεις παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 1 και 2, ενώ προσομοιώθηκε και η εναλλακτική, πιο ορθολογική, διαμόρφωση για τους ΥΒΣ-ΑΜ με μικρότερη αναλογία Α/Π ως προς την εγγυημένη (1.8 αντί του 2.6). Από τα Σχήματα 14 και 15, εάν εφαρμοζόταν το κριτήριο της ενεργειακής αποδοτικότητας των ΥΒΣ θα προέκυπτε περιθώριο διείσδυσης ΥΒΣ 5-13 MW για το Βασικό σενάριο 1 και 12-21 MW για το Βασικό σενάριο 2.

Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί η εφαρμογή του κριτηρίου της ενεργειακής αποδοτικότητας είναι προβληματική καθώς οι απορρίψεις πολώνονται από την εσφαλμένη διαστασιολόγηση των σταθμών και όχι από το επίπεδο κορεσμού του συστήματος.



Σχήμα 14. Συνολική απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ ΥΒΣ συστήματος Ρόδου, συναρτήσει της εγγυημένης ισχύος ΥΒΣ (μείγμα ισχύος ΥΒΣ-ΑΜ & ΥΒΣ-ΦΜ με αναλογία 2:1) - Βασικό Σενάριο 1.



Σχήμα 15. Συνολική απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ ΥΒΣ συστήματος Ρόδου, συναρτήσει της εγγυημένης ισχύος ΥΒΣ (μείγμα ισχύος ΥΒΣ-ΑΜ & ΥΒΣ-ΦΜ με αναλογία 2:1) - Βασικό Σενάριο 2.

Σταθμίζοντας συνολικά τα αποτελέσματα των σεναρίων διαπιστώνεται ότι η εφαρμογή διαφορετικών κριτηρίων (τήρηση ΣΑΩΛ, εξάρτηση περιθωρίου ΥΒΣ από διείσδυση Α/Π, συγκράτηση απορρίψεων

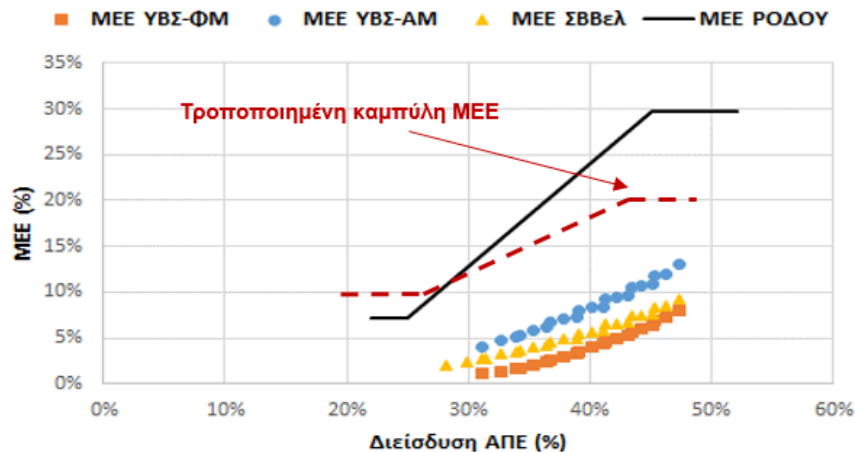
ΑΠΕ) οδηγεί σε εξαιρετικά αποκλίνοντα αποτελέσματα, ανάλογα και με το σενάριο διαχείρισης του συστήματος που ακολουθείται.

Συνεκτιμώντας όλους τους παράγοντες, ως **περιθώριο διείσδυσης ΥΒΣ στο σύστημα Ρόδου προτείνονται τα 20 MW, με παράλληλη διατήρηση του ισχύοντος περιθωρίου για τα Α/Π στα 55 MW και των ΣΒΒελ στα 5 MW**. Η διατήρηση των αιολικών στα επίπεδα αυτά απορρέει από τις δυσκολίες διαχείρισης του συστήματος, ενώ ο περιορισμός του περιθωρίου των ΥΒΣ σχετίζεται με το υψηλό επίπεδο κορεσμού με τη σημερινή συντηρητική πρακτική διαχείρισης. Αξίζει επίσης να εξεταστεί κατά πόσο το περιθώριο των 5 MW των ΣΒΒελ μπορεί να διατεθεί στους ΥΒΣ, μερικώς ή πλήρως, στον βαθμό που οι δεύτεροι αποτελούν τεχνολογία με προοπτικές υλοποίησης επενδύσεων.

2.5. Καμπύλη εγγυημένης απορρόφησης

Οι παρεχόμενες εγγυήσεις απορρόφησης για κατανεμόμενους σταθμούς ΑΠΕ αφορούν τη μη εντασσόμενη ενέργεια (ΜΕΕ) προσφορών των σταθμών αυτών. Η ενέργεια αυτή αντιστοιχεί στην προσφερθείσα από τον σταθμό ενέργεια, η οποία δεν κατέστη δυνατό να παραχθεί λόγω συμφόρησης του συστήματος, είτε στη φάση του προγραμματισμού, είτε στη φάση της λειτουργίας. Όταν ο σταθμός διαθέτει δυνατότητα αποθήκευσης, η παραπάνω ενέργεια δεν απορρίπτεται κατ' ανάγκην αλλά επαναπροσφέρεται την επόμενη περίοδο ΚΗΕΠ. Η μη εντασσόμενη ενέργεια παρουσιάζει συσχέτιση με την απορριπτόμενη πρωτογενώς διαθέσιμη ενέργεια, αλλά δεν ταυτίζεται με αυτή παρουσία αποθηκευτικών δυνατοτήτων. Η δεύτερη εξαρτάται από την αποθηκευτική ικανότητα και την εσωτερική διαστασιολόγηση των συνιστωσών του κάθε σταθμού, όπως και από το επίπεδο κορεσμού του συστήματος ΜΔΝ.

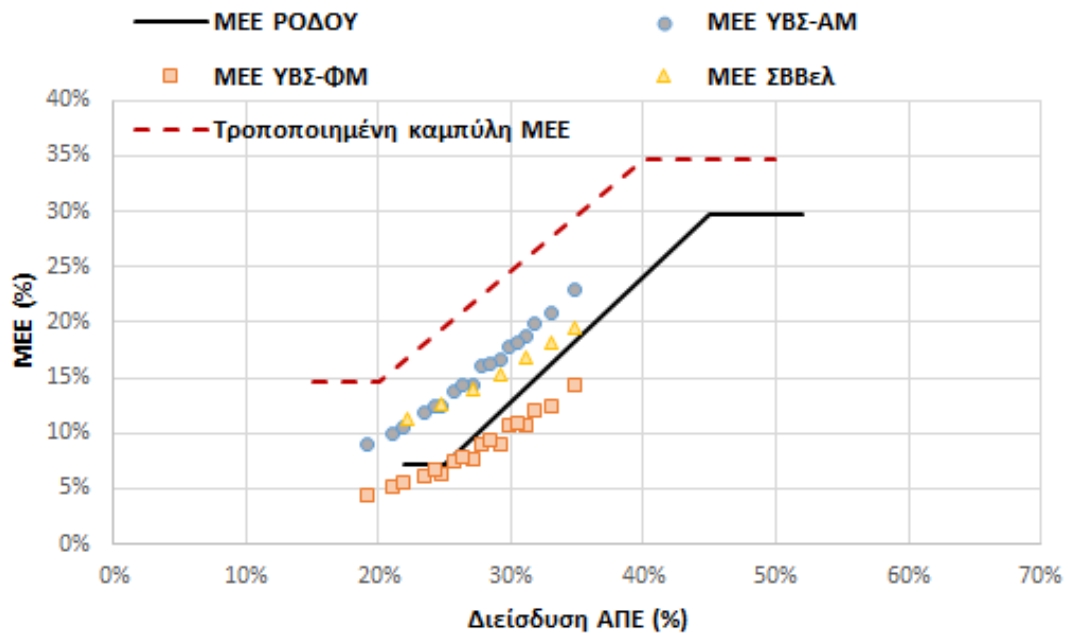
Στο Σχήμα 16 παρουσιάζονται οι ΜΕΕ των ΥΒΣ-ΑΜ, ΥΒΣ-ΦΜ και των ΣΒΒελ, ως ποσοστό της συνολικά προσφερθείσας ενέργειας από τον κάθε σταθμό σε ετήσια βάση, συναρτήσει της επιτυγχανόμενης ετήσιας διείσδυσης ΑΠΕ του νησιού, για το Ελαστικό σενάριο. Η ΜΕΕ συγκρατείται σε χαμηλές τιμές, της τάξης του 10% για διείσδυση ΑΠΕ έως 40% της ζήτησης (επιτυγχάνεται με την ένταξη της ισχύος περιθωρίων ΥΒΣ 20 MW, Α/Π 55 MW και ΣΒΒελ 5 MW). Στο ίδιο διάγραμμα εικονίζεται με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή η καμπύλη εγγυήσεων ΜΕΕ η οποία θα μπορούσε να παρέχεται από τον Διαχειριστή ΜΔΝ στους κατανεμόμενους σταθμούς ΑΠΕ (ΥΒΣ, ΣΒΒελ) και είναι συμβατή με τις αναμενόμενες ΜΕΕ, με επαρκές περιθώριο ασφαλείας, δεδομένου ότι οι τελευταίες παρουσιάζουν σημαντική ευαισθησία ως προς διάφορες παραμέτρους διαχείρισης του συστήματος, οι οποίες σε επίπεδο ανάλυσης προσεγγίζονται κατά το δυνατόν πιο αξιόπιστα, αλλά δεν μπορούν να προεξοφληθούν σε σχέση με τη μελλοντική εφαρμογή τους. Με μαύρη συνεχή γραμμή εικονίζεται η εγκεκριμένη καμπύλη εγγυήσεων βάσει της απόφασης 616/2016 της ΡΑΕ για τη Ρόδο.



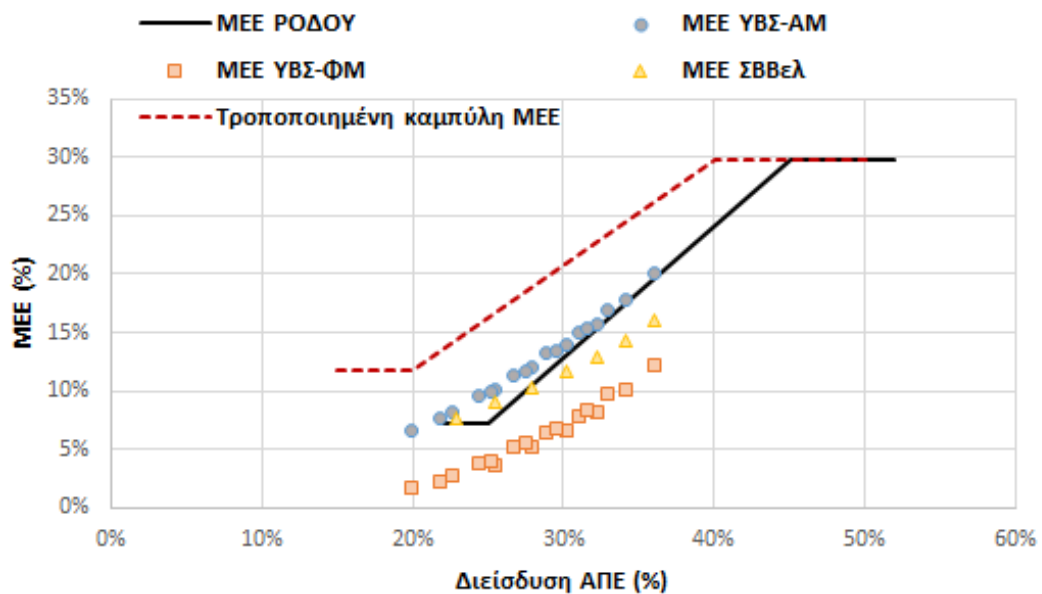
Σχήμα 16. Μη εντασσόμενη ενέργεια (ΜΕΕ) ΥΒΣ στο σύστημα της Ρόδου, συναρτήσει της διείσδυσης ΑΠΕ (% ετήσιας ζήτησης) και προτεινόμενες καμπύλες εγγυήσεων απορρόφησης (μέγιστης εγγυημένης ΜΕΕ σε ετήσια βάση) – Ελαστικό σενάριο.

Στα ακόλουθα Σχήματα 17 και 18 παρουσιάζεται η αντίστοιχη εικόνα για τα Βασικά σενάρια 1 και 2. Όπως ήταν αναμενόμενο, η ΜΕΕ των κατανεμόμενων σταθμών ΑΠΕ για αυτά τα σενάρια είναι αυξημένη σε σχέση με αυτή του Ελαστικού σεναρίου, ενώ παράλληλα επιτυγχάνονται αρκετά χαμηλότερες διείσδυσης ΑΠΕ (μόλις 30% για ΥΒΣ 20 MW), με μικρές διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια. Αυτό οφείλεται στον υψηλό κορεσμό απορρόφησης ενέργειας ΑΠΕ όταν θεωρούνται τέσσερις υποχρεωτικά ενταγμένες συμβατικές μονάδες και αυξημένα τεχνικά ελάχιστα. Στα ίδια Σχήματα παρουσιάζεται η προτεινόμενη τροποποιημένη καμπύλη ΜΕΕ για τα Βασικά σενάρια 1 και 2, μετατοπισμένη σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με την εγκεκριμένη καμπύλη ΜΕΕ.

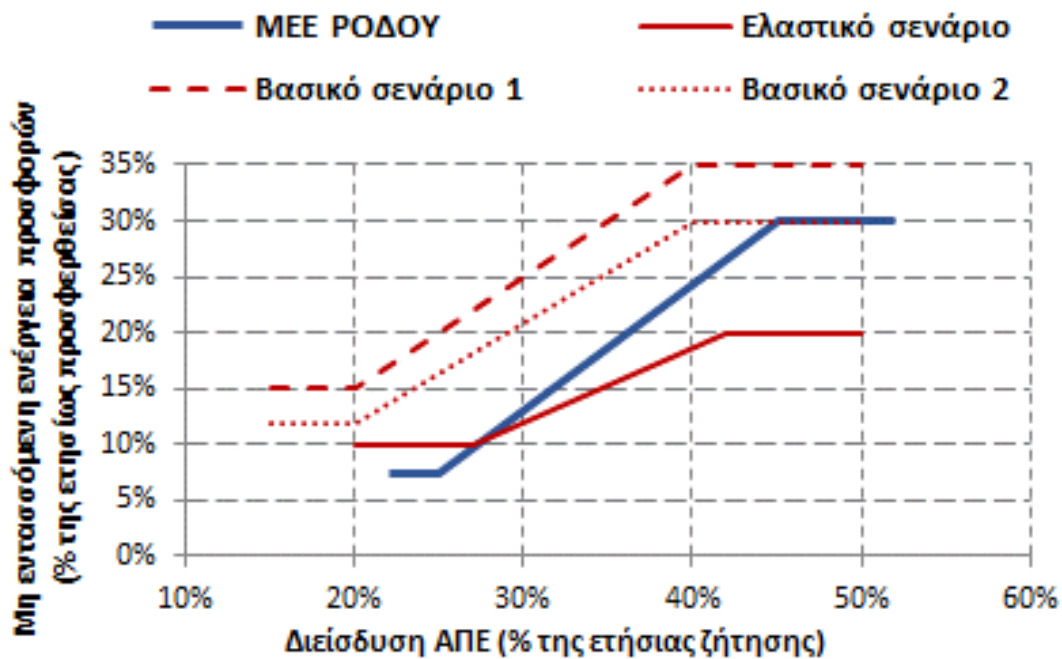
Τέλος στο συγκεντρωτικό Σχήμα 19 παρουσιάζονται όλες οι καμπύλες ΜΕΕ για τα τρία σενάρια διαχείρισης. Μεταξύ των τριών και της ήδη εγκεκριμένης, προτείνεται να υιοθετηθεί η καμπύλη εγγυήσεων του Βασικού σεναρίου 2, η οποία αναγνωρίζει τις σημαντικές διαχειριστικές δυσκολίες του συστήματος, αλλά δεν συνιστά την πλέον δυσμενή προσέγγιση.



Σχήμα 17. Μη εντασσόμενη ενέργεια (ΜΕΕ) ΥΒΣ στο σύστημα της Ρόδου, συναρτήσει της διείσδυσης ΑΠΕ (% ζήτησης) και προτεινόμενες καμπύλες εγγυήσεων απορρόφησης (μέγιστης εγγυημένης ΜΕΕ σε ετήσια βάση) – Βασικό σενάριο 1.



Σχήμα 18. Μη εντασσόμενη ενέργεια (ΜΕΕ) ΥΒΣ στο σύστημα της Ρόδου, συναρτήσει της διείσδυσης ΑΠΕ (% ζήτησης) και προτεινόμενες καμπύλες εγγυήσεων απορρόφησης (μέγιστης εγγυημένης ΜΕΕ σε ετήσια βάση) – Βασικό σενάριο 2.



Σχήμα 19. Μη εντασσόμενη ενέργεια (ΜΕΕ) ΥΒΣ στο σύστημα της Ρόδου, συναρτήσει της διείσδυσης ΑΠΕ (% ζήτησης) και προτεινόμενες καμπύλες εγγυήσεων απορρόφησης (μέγιστης εγγυημένης ΜΕΕ σε ετήσια βάση) για τα τρία σενάρια πολιτικής λειτουργίας Βασικό σενάριο 1, 2 και Ελαστικό σενάριο.

3. ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΥΠΟΔΟΧΗΣ ΑΠΕ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΡΠΑΘΟΥ-ΚΑΣΟΥ

3.1. Βασικές θεωρήσεις

Τα περιθώρια διείσδυσης ΑΠΕ στο σύστημα της Καρπάθου-Κάσου εκτιμώνται για το έτος 2023 και προσδιορίζονται για δύο σενάρια θεωρούμενης ανάπτυξης του ΑΣΠ Καρπάθου, με και χωρίς την ένταξη δύο νέων συμβατικών μονάδων 3.5 MW η καθεμία. Οι τεχνολογίες ΑΠΕ που εξετάζονται είναι τα Α/Π, τα Φ/Β και ΥΒΣ με σύστημα αποθήκευσης μπαταριών και συνδυασμό Α/Π και Φ/Β ως συνιστώσες ΑΠΕ.

Στο σύστημα της Καρπάθου-Κάσου έχουν εκδοθεί άδειες παραγωγής σε ΥΒΣ μπαταριών, αιολικών και φωτοβολταϊκών ως μονάδες ΑΠΕ, συνολικής εγγυημένης ισχύος 10.7 MW, ενώ υπάρχει μία ακόμη παλιά άδεια ΥΒΣ με αντλησιοταμίευση. Παρ' όλα αυτά, ΥΒΣ με αντλησιοταμίευση και ηλιοθερμικοί σταθμοί δεν εξετάζονται λόγω απουσίας ρεαλιστικών προοπτικών υλοποίησης τέτοιων έργων στο μικρό σύστημα της Καρπάθου-Κάσου. Τα περιθώρια της απόφασης 616/2016 της ΡΑΕ για μικρές Α/Γ και σταθμούς βιομάζας-βιοαερίου λαμβάνονται υπόψη στις προσομοιώσεις, αλλά επαναξιολογείται ο περιορισμός τους, καθώς εκτιμάται ότι είναι αυξημένα σε σχέση με το επενδυτικό ενδιαφέρον για τέτοια έργα.

Κριτήρια αποδεκτότητας των σεναρίων εγκατεστημένης ισχύος τεχνολογιών ΑΠΕ στο σύστημα της Καρπάθου-Κάσου είναι:

- Για τον προσδιορισμό της αποδεκτής ισχύος Α/Π εφαρμόζεται το κριτήριο του ελάχιστου συντελεστή χρησιμοποίησης ($CF > 27.5\%$) για νέα Α/Π, ενώ αξιολογούνται οι απορρίψεις ΑΠΕ του συνόλου των Α/Π, αλλά και η επίπτωση της πρόσθετης ισχύος Α/Π στο περιθώριο ΥΒΣ.
- Για τον προσδιορισμό της αποδεκτής ισχύος Φ/Β εφαρμόζεται το κριτήριο της ελάχιστης φόρτισης των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων. Η ισχύς Φ/Β αντιπροσωπεύει το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος μη ελεγχόμενων μονάδων ΑΠΕ (Φ/Β, μΑ/Γ και ΣΒΒμε) και μπορεί να επιμεριστεί με διαφορετικούς τρόπους στις τεχνολογίες αυτές.
- Για τον προσδιορισμό της αποδεκτής ισχύος ΥΒΣ εφαρμόζεται το κριτήριο ενεργειακής αποδοτικότητας των ΥΒΣ, δηλαδή η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ των ΥΒΣ να μην υπερβαίνει το 1/3 της διαθέσιμης. Σημειώνεται ότι στο συγκεκριμένο σύστημα ΜΔΝ εξετάζεται το κριτήριο ενεργειακής αποδοτικότητας, δεδομένου ότι οι διαμορφώσεις ΥΒΣ με βάση τα ήδη αδειοδοτημένα έργα είναι εύλογες (χωρίς υπερδιαστασιοποιημένες μονάδες ΑΠΕ) και ως εκ τούτου έχει νόημα η εφαρμογή του ενεργειακού αυτού κριτηρίου.

Αναφορικά με το κριτήριο των ΣΑΩΛ, δεν τίθεται θέμα παραβίασής του, αφού οι ΑΩΛ των προσομοιώσεων είναι πολύ υψηλότερες σε σχέση με τις ΣΑΩΛ των συμβάσεων. Τέλος, η οικονομική βιωσιμότητα των ΥΒΣ δεν μπορεί να αξιολογηθεί απουσία νέου πλαισίου τιμολόγησης ΥΒΣ.

Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι.2. Στις προσομοιώσεις θεωρήθηκε απαίτηση εφεδρείας της τάξης του 10-15% επιπλέον του φορτίου και ποσοστό αξιοπιστίας της αιολικής παραγωγής ίσο με 30% παρουσία ελεγχόμενων σταθμών ΑΠΕ (ΥΒΣ και ΣΒΒ).

3.2. Περιθώριο Φ/Β

Στη συνέχεια εφαρμόζεται το κριτήριο ελάχιστης φόρτισης των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων, προκειμένου να προσδιοριστεί η αποδεκτή ισχύς των μη ελεγχόμενων τεχνολογιών ΑΠΕ

(αθροιστική ισχύς Φ/Β, $\mu\text{A}/\Gamma$ και ΣΒΒμε), θεωρώντας εγκατεστημένες τις δύο νέες μονάδες στον ΑΣΠ Καρπάθου. Όπως και στην περίπτωση της Ρόδου, ελήφθησαν οι ελάχιστες ημερήσιες καμπύλες φορτίου για κάθε μήνα του έτους 2023 (μαύρες καμπύλες στο Σχήμα 20), από τις οποίες αφαιρέθηκε το τεχνικό ελάχιστο της μία υποχρεωτικά ενταγμένης συμβατικής μονάδας (1.4 MW^5) καθώς και μια ελάχιστη ποσότητα αρνητικής στρεφόμενης εφεδρείας ίση με το 10% του ελάχιστου μεσημβρινού φορτίου ($\sim 2.5 \text{ MW}$). Έτσι προκύπτει η μπλε καμπύλη του Σχήματος 20, η οποία δίνει τη μέγιστη δυνατότητα απορρόφησης παραγωγής ΑΠΕ από το σύστημα του νησιού σε συνθήκες ελάχιστου φορτίου ανά μήνα του έτους. Δεδομένου ότι η μη ελεγχόμενη παραγωγή ΑΠΕ αποτελείται κατά κύριο λόγο από Φ/Β σταθμούς, υπολογίζεται η ανά ώρα μέγιστη Φ/Β παραγωγή του κάθε μήνα, συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β, χρησιμοποιώντας χρονοσειρές πραγματικής Φ/Β παραγωγής του συστήματος Καρπάθου-Κάσου. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οι κόκκινες-πράσινες καμπύλες του Σχήματος 20, βάσει των οποίων προσδιορίζεται η μέγιστη αποδεκτή ισχύς Φ/Β, ως η τιμή για την οποία η μέγιστη αναμενόμενη παραγωγή φθάνει τη δυνατότητα απορρόφησης παραγωγής ΑΠΕ από το σύστημα για έστω και μία ώρα του έτους. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 20, **η ήδη εγκατεστημένη Φ/Β ισχύς, συνολικά ίση με 1.2 MW (κόκκινη γραμμή), είναι οριακά μη αποδεκτή καθώς οδηγεί σε μικρή παραβίαση της ελάχιστης φόρτισης της υποχρεωτικά ενταγμένης νέας συμβατικής μονάδας**. Ακόμα εντονότερη παραβίαση του κριτηρίου ελάχιστης φόρτισης συμβατικών παρατηρείται για εγκατεστημένη ισχύ Φ/Β σταθμών 1.57 MW , ίση με το περιθώριο της απόφασης της ΡΑΕ 616/2016 (πράσινη γραμμή που υπερβαίνει τη μπλε γραμμή της δυνατότητας απορρόφησης, κυρίως τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο).

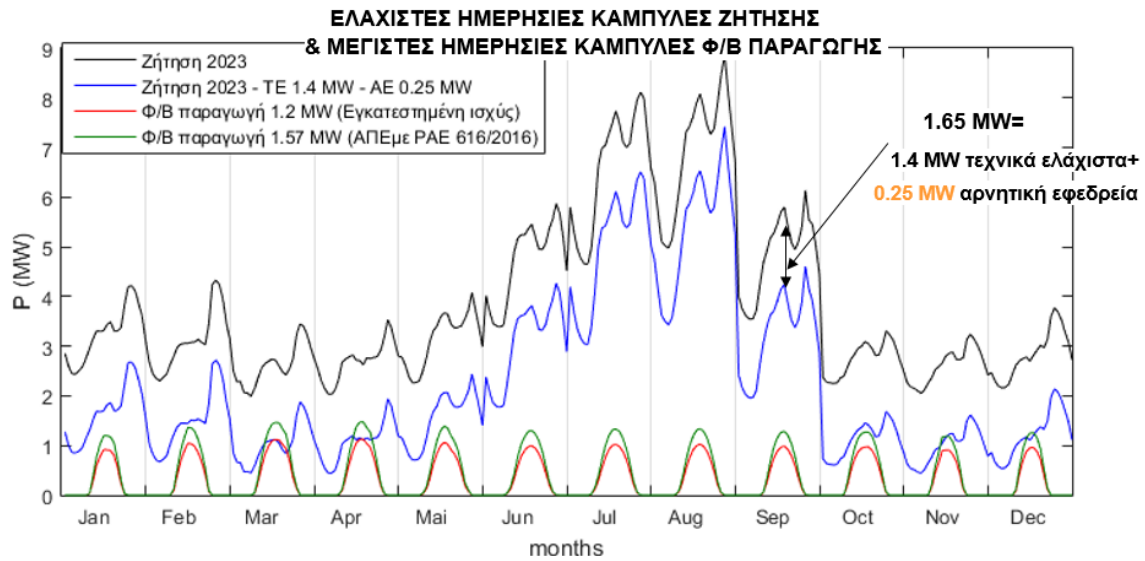
Με τη μεθοδολογία αυτή αλλά με θεώρηση μηδενικής εφεδρείας (Σχήμα 21), η αποδεκτή εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β σταθμών που υπολογίζεται ανέρχεται σε 1.45 MW (κόκκινη γραμμή) και υπολείπεται κατά μόλις 0.12 MW του ισχύοντος περιθωρίου των 1.57 MW για το σύνολο των μη ελεγχόμενων σταθμών ΑΠΕ (επιμεριζόμενο στην απόφαση 616/2016 σε $\Phi/\text{B}=1.413 \text{ MW}$, $\mu\text{A}/\Gamma=78.5 \text{ kW}$ και $\Sigma\text{B}\text{B}\mu\epsilon=78.5 \text{ kW}$).

Συμπερασματικά, για το σύστημα Καρπάθου-Κάσου διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει πρόσθετο περιθώριο μη ελεγχόμενων ΑΠΕ πέραν της εγκατεστημένης ισχύος, παρά μόνο θυσιάζοντας την αρνητική εφεδρεία. **Προτείνεται ο περιορισμός του ισχύοντος περιθωρίου για τις μη ελεγχόμενες ΑΠΕ σε 1.45 MW (από 1.57 MW) και ο ενδεικτικός επιμερισμός του σε Φ/B 1.4 MW και $\mu\text{A}/\Gamma$ 50 kW** , χωρίς να διατίθεται περιθώριο σε μη ελεγχόμενους σταθμούς βιομάζας –βιοαερίου (ΣΒΒμε), συνεκτιμώντας αφενός το παραμένον μέχρι σήμερα αδιάθετο περιθώριο των ελεγχόμενων ΣΒΒ και αφετέρου το αυξημένο ενδιαφέρον για τις λοιπές τεχνολογίες ΑΠΕ.

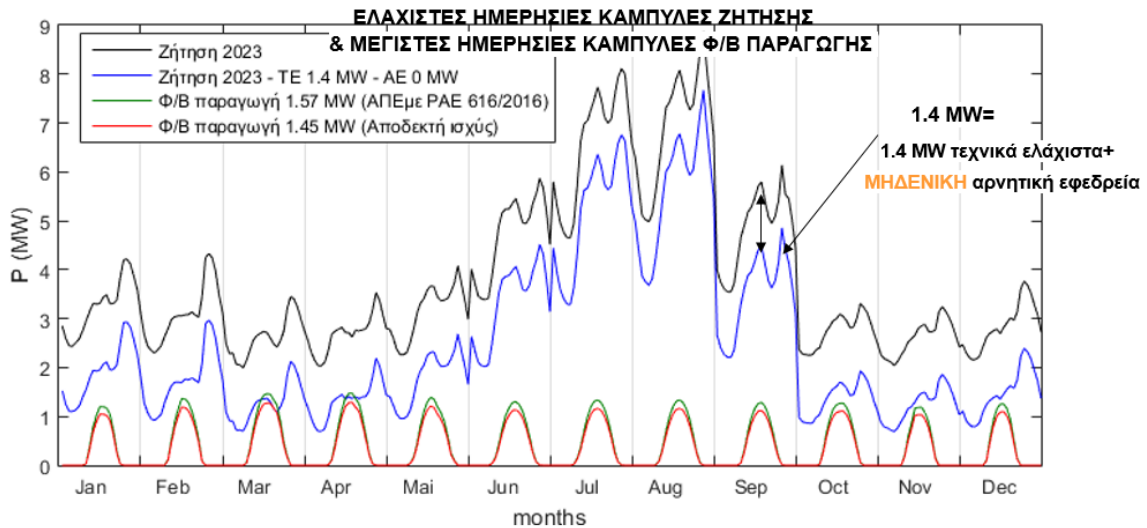
Στο Σχήμα 22 εφαρμόζεται η ίδια μεθοδολογία θεωρώντας ως μονάδα υποχρεωτικής ένταξης μία υφιστάμενη μονάδα Wartsilla 5 MW , με τεχνικά ελάχιστη ισχύ 2.1 MW (40%), προσομοιώνοντας δηλαδή την περίπτωση λειτουργίας του συστήματος της Καρπάθου-Κάσου χωρίς την ένταξη των δύο νέων μονάδων. Όπως ήταν αναμενόμενο, η δυνατότητα απορρόφησης του συστήματος, ακόμα και χωρίς απαίτηση αρνητικής εφεδρείας, είναι αρκετά συμπιεσμένη (μπλε γραμμές), όπως φαίνεται στο Σχήμα 22. Η μέγιστη αναμενόμενη παραγωγή της ήδη εγκατεστημένης Φ/Β ισχύος των 1.2 MW (κόκκινες γραμμές) οδηγεί σε συστηματική παραβίαση της ελάχιστης φόρτισης της υποχρεωτικά ενταγμένης συμβατικής μονάδας (όπως φαίνεται στους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο).

⁵ Η τεχνικά ελάχιστη ισχύς προκύπτει από το ΤΕ της υποχρεωτικά ενταγμένης νέας μονάδας στον ΑΣΠ της Καρπάθου-Κάσου ισχύος 3.5 MW ($\text{TE}=40\%$).

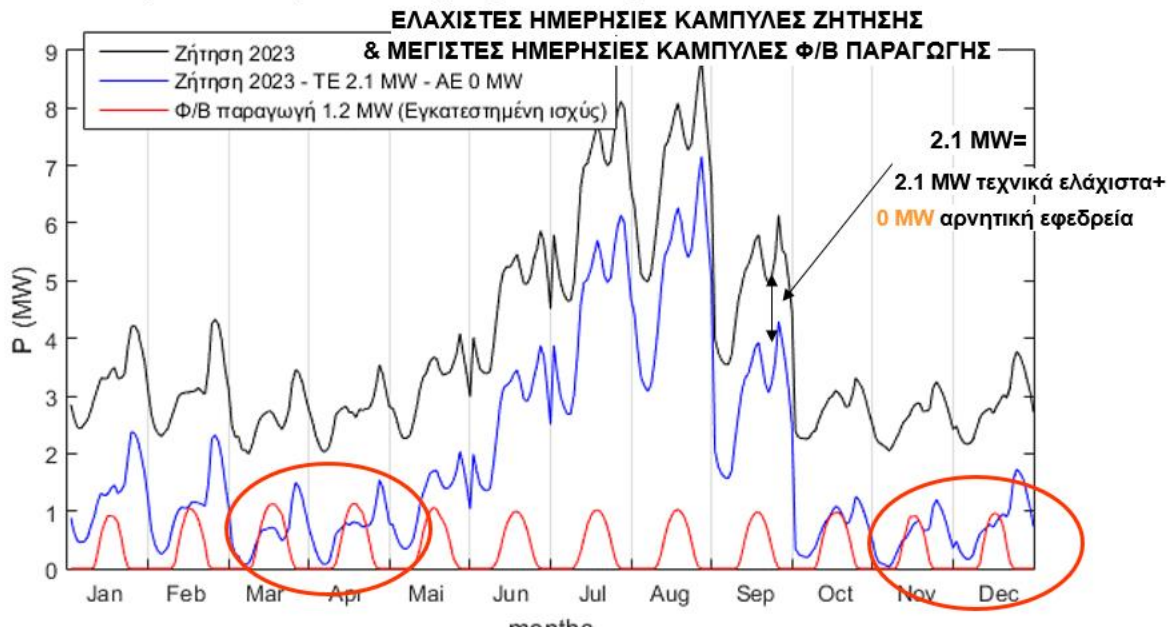
Συνεπώς, το ενδεχόμενο μη εγκατάστασης των νέων και περισσότερο ευέλικτων μονάδων δεν αφήνει κανένα περιθώριο ανάπτυξης πρόσθετων μη ελεγχόμενων ΑΠΕ πλέον των ήδη εγκατεστημένων Φ/Β σταθμών.



Σχήμα 20. Όριο εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β σταθμών στην Κάρπαθο-Κάσο προκειμένου να μην παραβιάζεται η ελάχιστη φόρτιση των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων του συστήματος- Συνολική ισχύς ΤΕ υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων: 1.4 MW & αρνητική εφεδρεία 10% του μεσημβρινού φορτίου - Θεώρηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων.



Σχήμα 21. Όριο εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β σταθμών στην Κάρπαθο-Κάσο προκειμένου να μην παραβιάζεται η ελάχιστη φόρτιση των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων του συστήματος- Συνολική ισχύς ΤΕ υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων: 1.4 MW & μηδενική αρνητική εφεδρεία - Θεώρηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων & μηδενική αρνητική εφεδρεία.



Σχήμα 22. Όριο εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β σταθμών στην Κάρπαθο-Κάσο προκειμένου να μην παραβιάζεται η ελάχιστη φόρτιση των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων του συστήματος- Συνολική ισχύς ΤΕ υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών μονάδων: 2.1 MW & μηδενική αρνητική εφεδρεία - Υφιστάμενη σύνθεση ΑΣΠ Καρπάθου.

3.3. Περιθώριο Α/Π

Η αξιολόγηση του περιθωρίου υποδοχής αιολικής ισχύος γίνεται για τις δυο θεωρήσεις ανάπτυξης του ΑΣΠ Καρπάθου. Αρχικά, για την περίπτωση ένταξης των νέων συμβατικών μονάδων, θεωρώντας ενταγμένους σταθμούς ΑΠΕ ισχύος ίσης με τα νέα προτεινόμενα περιθώρια της προηγούμενης παραγράφου, δηλαδή Φ/Β ισχύος 1.4 MW και μΑ/Γ 50 kW. Έπειτα προσδιορίζεται το περιθώριο Α/Π για την υφιστάμενη κατάσταση του ΑΣΠ Καρπάθου (χωρίς την ένταξη νέων μονάδων), με ενταγμένους μόνο τους ήδη εγκατεστημένους Φ/Β σταθμούς ισχύος 1.2 MW.

Η εξεταζόμενη ισχύς Α/Π κυμαίνεται από την ισχύ σε λειτουργία (0.95 MW) έως τα 3 MW (ισχύον περιθώριο 2.72 MW βάσει απόφασης ΡΑΕ 616/2016). Στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται ο μέσος συντελεστής χρησιμοποίησης των Α/Π και ανά Α/Π (500 kW, 450 kW και νέα Α/Π) συναρτήσει της ολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος του συστήματος. Ο μέσος συντελεστής χρησιμοποίησης (κίτρινη γραμμή) προκύπτει υψηλότερος του 27.5%, μέχρι τη συνολική ισχύ των 3 MW. Το ποσοστό αξιοπιστίας αιολικής παραγωγής στην παρούσα διερεύνηση λαμβάνεται μηδενικό. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης των εγκατεστημένων Α/Π είναι ιδιαίτερος υψηλός, αφού αφορά στην παραγωγή Α/Γ περίπου διπλάσιας ονομαστικής ισχύος από την αδειοδοτημένη.

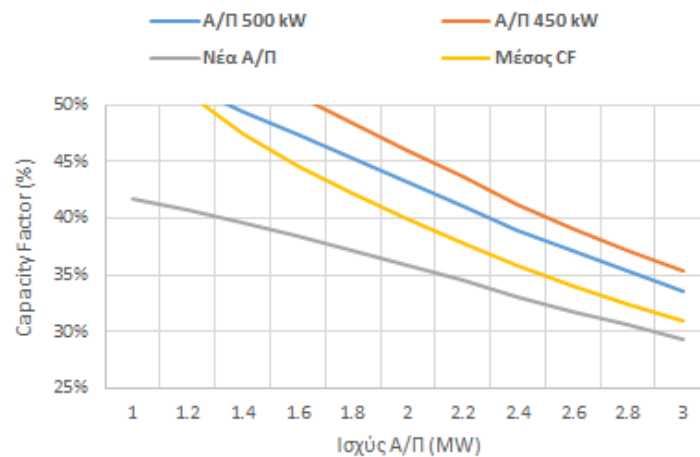
Ζήτημα τήρησης των ΣΑΩΛ των Α/Π δεν τίθεται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 24, αφού οι ΑΩΛ της προσομοίωσης είναι υψηλότερες από τις ΣΑΩΛ των συμβάσεων, οι οποίες είναι πολύ χαμηλές σε όλο το εξεταζόμενο εύρος ισχύος Α/Π.

Στο Σχήμα 25 παρουσιάζονται οι απορρίψεις αιολικής παραγωγής (% της διαθέσιμης ενέργειας⁶) συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος Α/Π που εξετάζεται, οι οποίες κυμαίνονται σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Με κριτήριο την ενεργειακή αποδοτικότητα των σταθμών και όριο απορρίψεων το 1/3 της

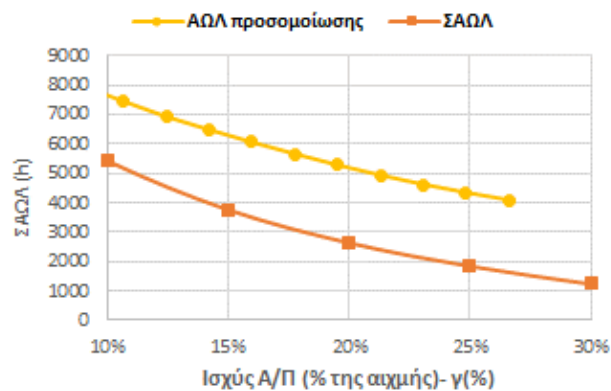
⁶ Ως διαθέσιμη ενέργεια για τα λειτουργούντα Α/Π νοείται η δυνατότητα παραγωγής των Α/Γ έως την ισχύ της σύμβασης και όχι έως την ονομαστική δυνατότητα παραγωγής των Α/Γ.

διαθέσιμης ενέργειας ΑΠΕ, προκύπτει όριο διείσδυσης ισχύος Α/Π περί τα 2.8 MW (αντίστοιχο της απόφασης της ΡΑΕ 616/2016).

Εντούτοις, **προτείνεται ο περιορισμός του περιθωρίου στα 2.4 MW⁷, αφήνοντας δηλαδή πρόσθετο περιθώριο 1 MW**, το οποίο θα μπορούσε να δεσμευθεί είτε από τα ήδη εγκατεστημένα Α/Π (repowering), είτε από την ένταξη μίας νέας Α/Γ του μικρότερου εμπορικά διαθέσιμου μεγέθους. Οι απορρίψεις των Α/Π στην ισχύ των 2.4 MW συγκρατούνται σε επίπεδα της τάξης του 27% της διαθέσιμης ενέργειας. Στην επόμενη ενότητα (Σχήμα 29, παράγραφος 3.4) θα αναδειχθεί η επίπτωση της ένταξης πρόσθετης ισχύος Α/Π (έως και τα 2.8 MW) στο περιθώριο διείσδυσης των ελεγχόμενων τεχνολογιών ΑΠΕ (ΥΒΣ και ΣΒΒελ), αλλά και στην επιτεύξιμη συνολική διείσδυση ΑΠΕ (% της ζήτησης).

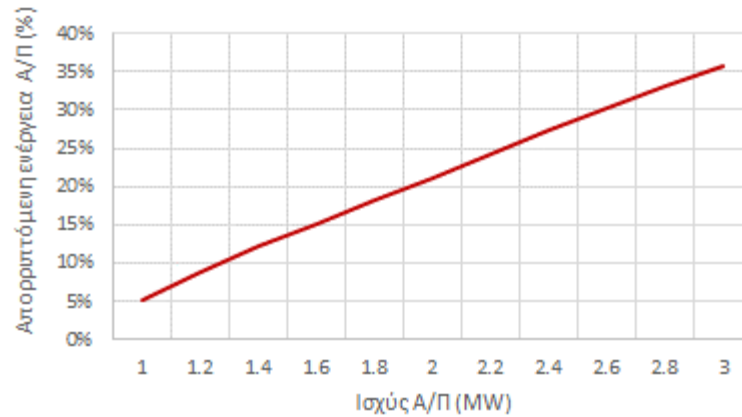


Σχήμα 23. Συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Π συστήματος Καρπάθου-Κάσου, συναρτήσεως της συνολικής ισχύος Α/Π - Θεώρηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων.



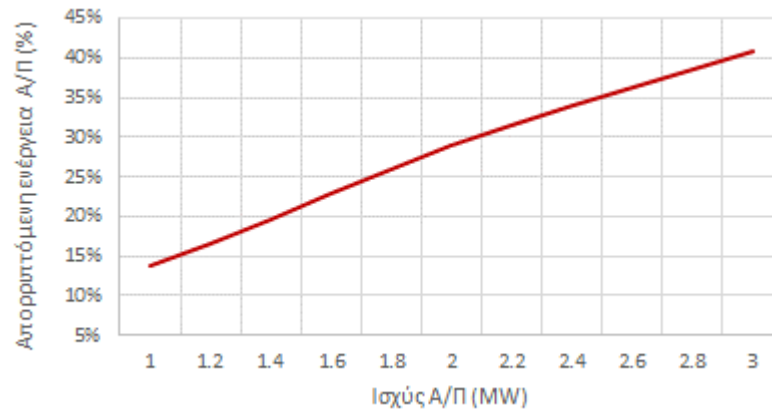
Σχήμα 24. ΣΑΩΛΑ Α/Π (τιμές συμβάσεων) και ΑΩΛΑ Α/Π (τιμές προσομοίωσης) συστήματος Καρπάθου-Κάσου, συναρτήσεως της συνολικής ισχύος Α/Π (% της αιχμής του έτους αναφοράς) - Θεώρηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων.

⁷ Η συγκράτηση του ορίου διείσδυσης Α/Π στα 2.4 MW (χαμηλότερα των 2.8 MW) επιτρέπει τη διείσδυση των κατανενομένων ΑΠΕ (ΥΒΣ, ΣΒΒελ).



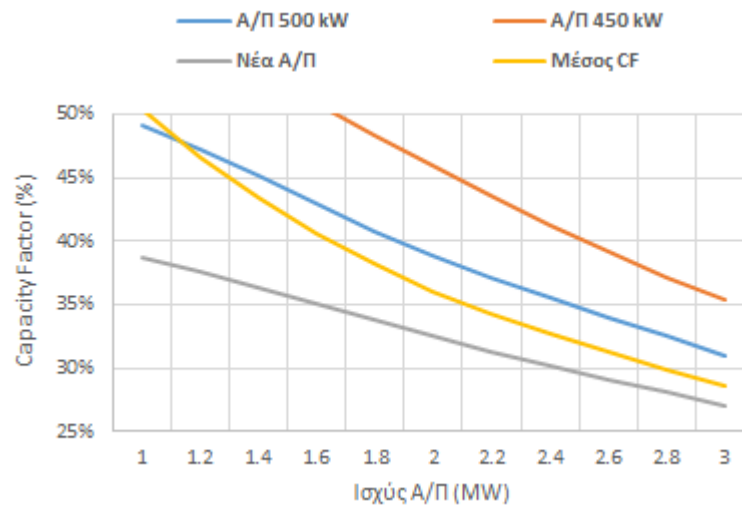
Σχήμα 25. Απορριπτόμενη ενέργεια Α/Π (% της διαθέσιμης) συστήματος Καρπάθου-Κάσου, συναρτήσει της συνολικής ισχύος Α/Π - Θεώρηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων.

Στα Σχήματα 26 και 27 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα λειτουργίας (απορρίψεις και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Π) χωρίς την ένταξη νέων μονάδων στον ΑΣΠ Καρπάθου. Λειτουργία του συστήματος με τις υφιστάμενες συμβατικές μονάδες μεγαλύτερης ισχύος συμπίεζει περαιτέρω τη δυνατότητα απορρόφησης, οδηγώντας σε υψηλότερες απορρίψεις αιολικής παραγωγής (Σχήμα 26) και χαμηλότερο συντελεστή χρησιμοποίησης (Σχήμα 27). Για απορριπτόμενη ενέργεια Α/Π περί το 33%, το όριο διείσδυσης αιολικών προκύπτει περίπου ίσο με 2.3 MW, όπως φαίνεται στο Σχήμα 26, αφήνοντας περιθώριο που αντιστοιχεί σε μία πρόσθετη Α/Γ. **Συνεπώς με δεδομένη την υφιστάμενη σύνθεση ΑΣΠ προτείνεται κανένα πρόσθετο περιθώριο πέραν της ήδη αδειοδοτημένης ισχύος των 1.4 MW⁸.**



Σχήμα 26. Απορριπτόμενη ενέργεια Α/Π (% της διαθέσιμης) συστήματος Καρπάθου-Κάσου, συναρτήσει της συνολικής ισχύος των Α/Π -Υφιστάμενη σύνθεση ΑΣΠ Καρπάθου.

⁸ Στην επόμενη ενότητα, όπου εξετάζεται το περιθώριο διείσδυσης των κατανεμόμενων ΑΠΕ (ΥΣΣ, ΣΒΒελ) θα αναδειχθεί το ενεργειακό όφελος συγκράτησης της διείσδυσης των Α/Π στα 1.4 MW αντί του μέγιστου ορίου των 2.3 MW (Σχήμα 31, παράγραφος 3.4).



Σχήμα 27. Συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Π συστήματος Καρπάθου-Κάσου, συναρτήσει της συνολικής ισχύος των Α/Π -Υφιστάμενη σύνθεση ΑΣΠ Καρπάθου.

3.4. Περιθώριο ΥΒΣ

Εξετάζεται η ένταξη υβριδικών σταθμών με σύστημα αποθήκευσης μπαταριών και συνδυασμό Α/Π και Φ/Β ως μονάδες ΑΠΕ (ΥΒΣ-ΑΦΜ). Η συνολική εγγυημένη ισχύς ΥΒΣ που εξετάστηκε κυμαίνεται μεταξύ 0-3 MW, με βήμα 0.5 MW. Η διαστασιολόγηση των συνιστωσών των εξεταζόμενων ΥΒΣ προκύπτει βάσει του σταθμισμένου μέσου όρου των αδειών παραγωγής, με τις αναλογίες μεγέθους που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 για τους ΥΒΣ-ΑΦΜ.

Πίνακας 3. Αναλογία μεγέθους συνιστωσών ΥΒΣ-ΑΦΜ στο σύστημα Καρπάθου-Κάσου.

ΕΓΓΥΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΥΒΣ (MW)	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ (MW)	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ (MW)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ (MWh)	ΙΣΧΥΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ (MW)
P_{GUAR}	$P_{RES}=1.5 \cdot P_{GUAR}$	$P_{RES}=0.4 \cdot P_{GUAR}$	$E=8.3 \cdot P_{GUAR}$	$>85\% \cdot P_{RES}$

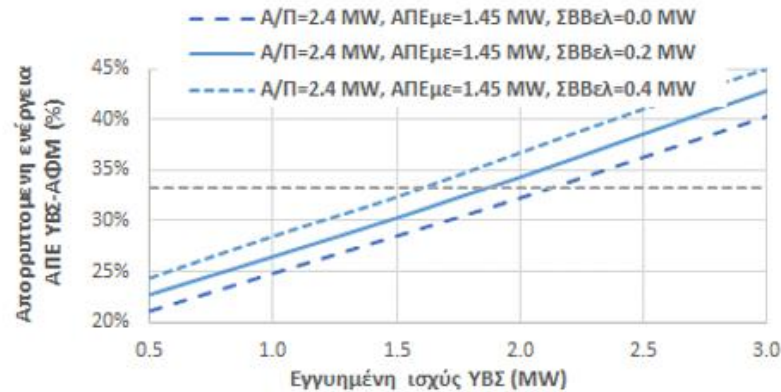
Στις προσομοιώσεις θεωρούνται ενταγμένοι οι μη ελεγχόμενοι σταθμοί ΑΠΕ του προτεινόμενου νέου περιθωρίου όπως προσδιορίστηκαν στις προηγούμενες ενότητες ανάλογα με τη θεωρούμενη ανάπτυξη του ΑΣΠ Καρπάθου (με και χωρίς τις νέες μονάδες)⁹, καθώς και ελεγχόμενοι σταθμοί βιομάζας – βιοαερίου (ΣΒΒελ) ισχύος έως 0.4 MW (περιθώριο της απόφασης ΡΑΕ 616/2016).

Στο Σχήμα 28 παρουσιάζεται η μεταβολή των απορρίψεων διαθέσιμης ενέργειας ΑΠΕ των ΥΒΣ συναρτήσει της εγγυημένης ισχύος ΥΒΣ του συστήματος, για τρία επίπεδα διείσδυσης ισχύος ΣΒΒελ, στην περίπτωση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων στον ΑΣΠ Καρπάθου και θεωρώντας ενταγμένους σταθμούς ΑΠΕ με ισχύος 1.45 MW (Φ/Β=1.4 MW & μΑ/Γ=50 kW) και Α/Π ισχύος 2.4 MW. Με κριτήριο την ενεργειακή αποδοτικότητα των σταθμών ΑΠΕ (όριο απορρίψεων το 1/3 της διαθέσιμης ενέργειας ΑΠΕ) προκύπτει περιθώριο διείσδυσης ισχύος ΥΒΣ μεταξύ 1.6 και 2.1 MW, ανάλογα με το επίπεδο διείσδυσης ΣΒΒελ που θεωρείται (400 kW - 0 kW) και αρκετά μικρότερο του ισχύοντος των

⁹ Στην περίπτωση ένταξης των νέων συμβατικών μονάδων, τα περιθώρια διείσδυσης που προέκυψαν στις προηγούμενες ενότητες είναι 1.4 MW για τους Φ/Β σταθμούς, 50 kW για τις μΑ/Γ και 2.4 MW για τα Α/Π, ενώ στην περίπτωση μη ένταξης των νέων συμβατικών μονάδων (υφιστάμενη σύνθεση ΑΣΠ Καρπάθου) δεν προέκυψε κανένα πρόσθετο περιθώριο για τους μη ελεγχόμενους σταθμούς, πέραν της ισχύος των ήδη εγκατεστημένων Α/Π και Φ/Β σταθμών.

περίπου 3.5 MW^{10} . Το κάτω όριο του 1.6 MW αντιστοιχεί σε ΣΒΒελ 400 kW (όση το ισχύον περιθώριο), ενώ το περιθώριο ΥΒΣ των 2.1 MW προκύπτει για μηδενική ισχύ ΣΒΒελ. Συνολικά, η αποδεκτή ισχύς ΥΒΣ και ΣΒΒελ αθροιστικά είναι της τάξης των περίπου 2 MW .

Με βάση τη διαπίστωση αυτή, **προτείνεται περιορισμός του ισχύοντος περιθωρίου διείσδυσης ΣΒΒελ σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα (π.χ. 200 kW ή και μηδενικό)¹¹ και διάθεση περιθωρίου διείσδυσης ισχύος $1.8\text{-}2.0 \text{ MW}$ στους ΥΒΣ, δεδομένου του αυξημένου επενδυτικού ενδιαφέροντος για την τεχνολογία αυτή.**

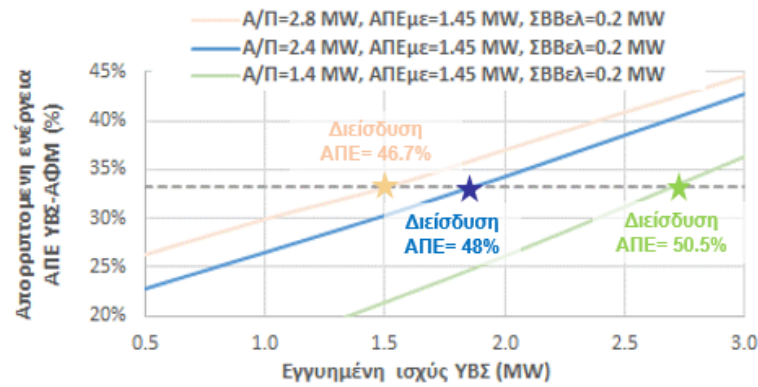


Σχήμα 28. Απορρίψεις διαθέσιμης ενέργειας ΑΠΕ των ΥΒΣ Καρπάθου-Κάσου, συνάρτησε της ολικής εγκατεστημένης ισχύος ΥΒΣ για διάφορα επίπεδα διείσδυσης ΣΒΒελ - Θεώρηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων.

Στο Σχήμα 29 παρουσιάζεται η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ των ΥΒΣ, με ΣΒΒελ ισχύος 200 kW , για διάφορα επίπεδα ισχύος Α/Π μεταξύ 1.4 και 2.8 MW . Διαπιστώνεται ότι η ένταξη πρόσθετης ισχύος Α/Π οδηγεί σε αύξηση της απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ των ΥΒΣ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 29, οδηγώντας σε περιορισμό της αποδεκτής διείσδυσης ΥΒΣ με εφαρμογή του κριτηρίου ενεργειακής αποδοτικότητας (γκρι διακεκομμένη γραμμή). Δεδομένης της άμεσης συσχέτισης των περιθωρίων αιολικής ισχύος και ΥΒΣ, τίθεται ζήτημα επιλογής του κατάλληλου συνδυασμού. Ως κριτήριο μπορεί να τεθεί η επίτευξη της υψηλότερης διείσδυσης ΑΠΕ στο σύστημα. Σε περίπτωση μη εγκατάστασης πρόσθετης αιολικής ισχύος πέραν των 1.4 MW , το περιθώριο ΥΒΣ προκύπτει ίσο με 2.7 MW και η συνολική διείσδυση ΑΠΕ σε αυτή την περίπτωση αγγίζει το 50.5% της ζήτησης (πράσινο σημείο στο Σχήμα 29). Αντίθετα, μεγιστοποιώντας το περιθώριο των αιολικών στα 2.8 MW , το περιθώριο ΥΒΣ περιορίζεται στο 1.5 MW και η διείσδυση ΑΠΕ φθάνει το 46.7% .

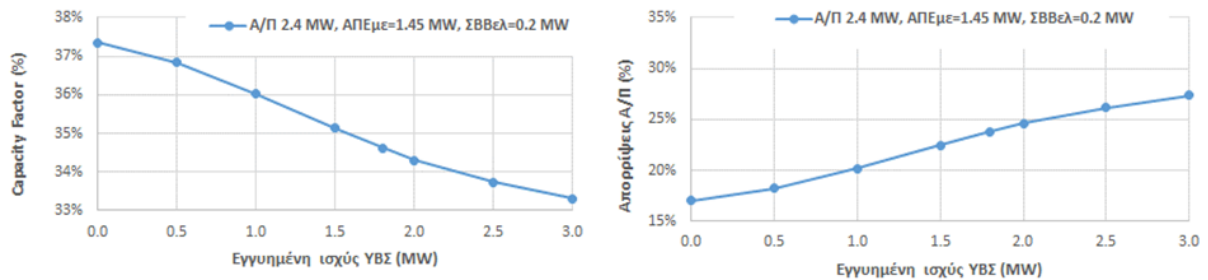
¹⁰ Επισημαίνεται ότι στην αρχική μελέτη προσδιορισμού περιθωρίων διείσδυσης σταθμών ΑΠΕ στο σύστημα ΜΑΝ Καρπάθου-Κάσου είχαν θεωρηθεί τρεις νέες και ευέλικτες μονάδες ($2 \times 2 \text{ MW}$ και $1 \times 4 \text{ MW}$), δηλαδή ένα ακόμη πιο ελαστικό σύστημα, προς επίτευξη υψηλών διεισδύσεων ΑΠΕ.

¹¹ Το περιθώριο των ΣΒΒελ παραμένει αδιάθετο ενώ υπάρχει μόνο μία παλιά αίτηση ισχύος 200 kW που κατατέθηκε το έτος 2014.



Σχήμα 29. Απορρίψεις διαθέσιμης ενέργειας ΑΠΕ ΥΒΣ Καρπάθου-Κάσου συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος ΥΒΣ για διάφορα επίπεδα διείσδυσης Α/Π - Θεώρηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων.

Στο Σχήμα 30 παρουσιάζεται η επίπτωση από την ένταξη ΥΒΣ στη λειτουργία των Α/Π¹², για ισχύ ίση με το νέο περιθώριο Α/Π των 2.4 MW. Τόσο ο συντελεστής χρησιμοποίησης όσο και η απορριπτόμενη ενέργεια συγκρατούνται σε αρκετά καλά επίπεδα για ΥΒΣ εγγυημένης ισχύος 1.8 MW (όριο ΥΒΣ για ΣΒΒελ 200 kW). Η θεωρούμενη ισχύς των τεχνολογιών ΑΠΕμε λαμβάνεται ίση με 1.45 MW.

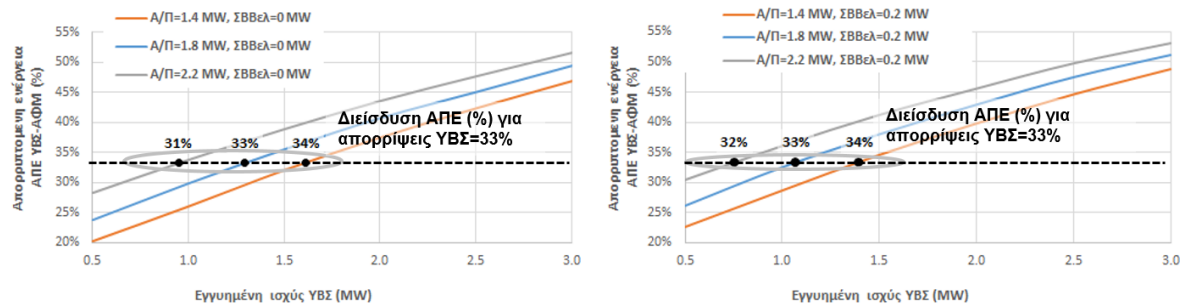


Σχήμα 30. Συντελεστής χρησιμοποίησης και απορριπτόμενη ενέργεια Α/Π προτεινόμενου περιθωρίου (2.4 MW) συστήματος Καρπάθου-Κάσου συναρτήσει της ενταγμένης ισχύος ΥΒΣ - Θεώρηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων.

Στα συγκεντρωτικά διαγράμματα του Σχήματος 31 παρουσιάζονται οι απορρίψεις ΑΠΕ των ΥΒΣ, συναρτήσει της εγγυημένης ισχύος ΥΒΣ, όπως προκύπτουν από την προσομοίωση του συστήματος Καρπάθου-Κάσου χωρίς την ένταξη νέων μονάδων στον ΑΣΠ, προς προσδιορισμό του περιθωρίου διείσδυσης ισχύος ΥΒΣ σε αυτή την περίπτωση. Το περιθώριο ΥΒΣ προσδιορίζεται με εφαρμογή του κριτηρίου ενεργειακής αποδοτικότητας και προκύπτει ίσο με 1.4 MW για διείσδυση ΣΒΒελ 200 kW (πορτοκαλί γραμμή αριστερού διαγράμματος) ή ίσο με 1.6 MW απουσία ΣΒΒελ (πορτοκαλί γραμμή δεξιού διαγράμματος), θεωρώντας ενταγμένους μόνο τους ήδη εγκατεστημένους σταθμούς Φ/Β και Α/Π (Φ/Β = 1.2 MW, Α/Π = 1.4 MW). Στα διαγράμματα του ίδιου Σχήματος απεικονίζεται η επίπτωση της ένταξης πρόσθετης ισχύος Α/Π στο περιθώριο διείσδυσης ΥΒΣ (σημεία τομής των χρωματιστών καμπυλών απορρίψεων ΑΠΕ ΥΒΣ και της μαύρης διακεκομμένης γραμμής) και στην επιτυγχανόμενη διείσδυση ΑΠΕ. Όπως αναδείχθηκε και προηγουμένως η ένταξη πρόσθετης ισχύος ΥΒΣ οδηγεί σε μεγαλύτερα επίπεδα διείσδυσης ΑΠΕ (% της ζήτησης) έναντι της ένταξης πρόσθετης ισχύος Α/Π.

¹² Παρουσία ΥΒΣ, το θεωρούμενο ποσοστό αξιοπιστίας αιολικής παραγωγής λαμβάνεται ίσο με 30%.

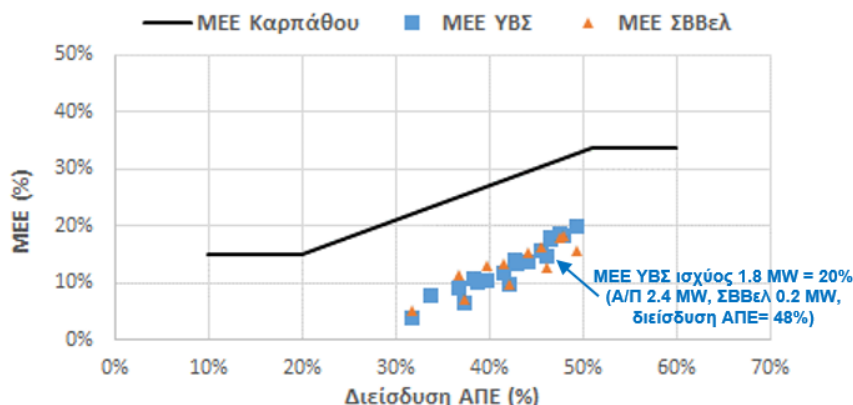
Συνοψίζοντας, με την υπόθεση μη επέκτασης του ΑΣΠ Καρπάθου (χωρίς ένταξη νέων μονάδων), προτείνεται η προτεραιοποίηση της διείσδυσης ΥΒΣ με περιθώριο ισχύος 1.6 MW, χωρίς να δίνεται πρόσθετο περιθώριο στις λοιπές τεχνολογίες ΑΠΕ (Φ/Β, Α/Π, ΣΒΒ).



Σχήμα 31. Απορρίψεις διαθέσιμης ενέργειας ΑΠΕ ΥΒΣ συστήματος Καρπάθου-Κάσου, συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος ΥΒΣ για διάφορα επίπεδα διείσδυσης Α/Π και ΣΒΒελ - Υφιστάμενη σύνθεση ΑΣΠ Καρπάθου.

3.5. Καμπύλη εγγυήσεων απορρόφησης

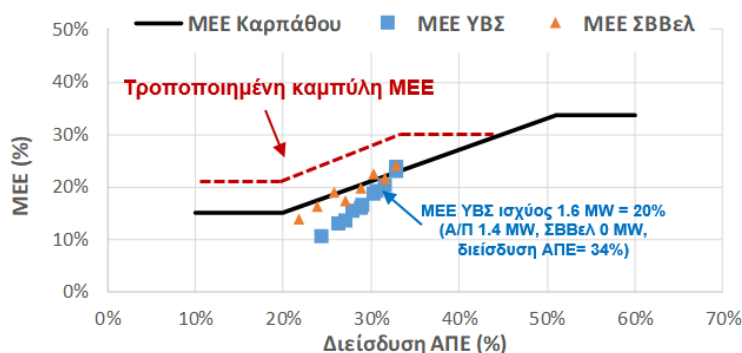
Στο Σχήμα 32 παρουσιάζεται η μη εντασσόμενη ενέργεια προσφορών (ΜΕΕ) των κατανεμόμενων σταθμών ΑΠΕ (ΥΒΣ και ΣΒΒελ) όλων των εξεταζόμενων σεναρίων, για την περίπτωση λειτουργίας του συστήματος της Καρπάθου-Κάσου με ενταγμένες τις δύο νέες μονάδες στον ΑΣΠ Καρπάθου, ως ποσοστό της συνολικά προσφερθείσας ενέργειας, συναρτήσει της επιτυγχάνομενης διείσδυσης ΑΠΕ (%) της ετήσιας ζήτησης) καθώς και η εγκεκριμένη καμπύλη εγγυήσεων απορρόφησης του συστήματος Καρπάθου-Κάσου βάσει της απόφασης 616/2016 της ΡΑΕ. Η ΜΕΕ των ΥΒΣ-ΑΦΜ αλλά και των ΣΒΒελ συγκρατείται σε σχετικά χαμηλές τιμές έως 20% για διείσδυση ΑΠΕ έως 50% της ζήτησης, ενώ παραμένει μικρότερη του ορίου που θέτει η εγκεκριμένη καμπύλη ΜΕΕ σε όλο το εύρος διείσδυσης που εξετάστηκε. Οι τιμές της ΜΕΕ αυξάνονται όσο το σύστημα οδηγείται σε μεγαλύτερα επίπεδα διείσδυσης, λόγω της προκύπτουσας συμφόρησης στη δυνατότητα απορρόφησης παραγωγής ΑΠΕ. Η ΜΕΕ των ΥΒΣ για ισχύ ΥΒΣ 1.8 MW (διείσδυση ΑΠΕ περίπου 48%) που προτάθηκε στην προηγούμενη ενότητα (ανάπτυξη του ΑΣΠ Καρπάθου με δύο νέες μονάδες) προκύπτει ίση με περίπου 20%, αφήνοντας ικανό περιθώριο ασφαλείας.



Σχήμα 32. Μη Εντασσόμενη Ενέργεια (ΜΕΕ) προσφορών κατανεμόμενων σταθμών ΑΠΕ και ΥΒΣ στο σύστημα Καρπάθου-Κάσου συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης ΑΠΕ και εγκεκριμένη καμπύλη ΜΕΕ βάσει της απόφασης 616/2016 – Θεώρηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων.

Αντίθετα, η μη εντασσόμενη ενέργεια προσφορών (ΜΕΕ) των κατανεμόμενων σταθμών ΑΠΕ (ΥΒΣ και ΣΒΒελ) όλων των εξεταζόμενων σεναρίων για την υφιστάμενη κατάσταση του ΑΣΠ Καρπάθου κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα της τάξης του 25% και μάλιστα σε επίπεδα ολικής διείσδυσης ΑΠΕ της τάξης του 35% που τώρα επιτυγχάνονται, παραβιάζοντας την εγκεκριμένη καμπύλη ΜΕΕ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 33. Συνεπώς, η ισχύουσα καμπύλη ΜΕΕ δεν είναι συμβατή με την υφιστάμενη σύνθεση του ΑΣΠ Καρπάθου (χωρίς νέες μονάδες) και ως εκ τούτου προτείνεται η τροποποίησή της όπως φαίνεται στο Σχήμα 33 (κόκκινη γραμμή). Η ΜΕΕ των ΥΒΣ του προτεινόμενου περιθωρίου των 1.6 MW (προηγούμενη ενότητα) προκύπτει ίση με 20% (αντίστοιχη διείσδυση ΑΠΕ ίση με 34% της ζήτησης), ελαφρώς κάτω από το όριο της ήδη εγκεκριμένης ΜΕΕ για το ΜΔΝ της Καρπάθου-Κάσου.

Επαναλαμβάνεται ότι η εγκεκριμένη καμπύλη ΜΕΕ για το σύστημα Καρπάθου-Κάσου είχε προκύψει στο πλαίσιο της αρχικής μελέτης περιθωρίων [3,4] με διαφορετικά δεδομένα συμβατικών μονάδων, μείγματα και διαμορφώσεις σταθμών ΑΠΕ και ΥΒΣ.



Σχήμα 33. Μη Εντασσόμενη Ενέργεια (ΜΕΕ) προσφορών κατανεμόμενων σταθμών ΑΠΕ και ΥΒΣ στο σύστημα Καρπάθου-Κάσου συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης ΑΠΕ και εγκεκριμένη καμπύλη ΜΕΕ βάσει της απόφασης 616/2016 – Υφιστάμενη σύνθεση ΑΣΠ Καρπάθου.

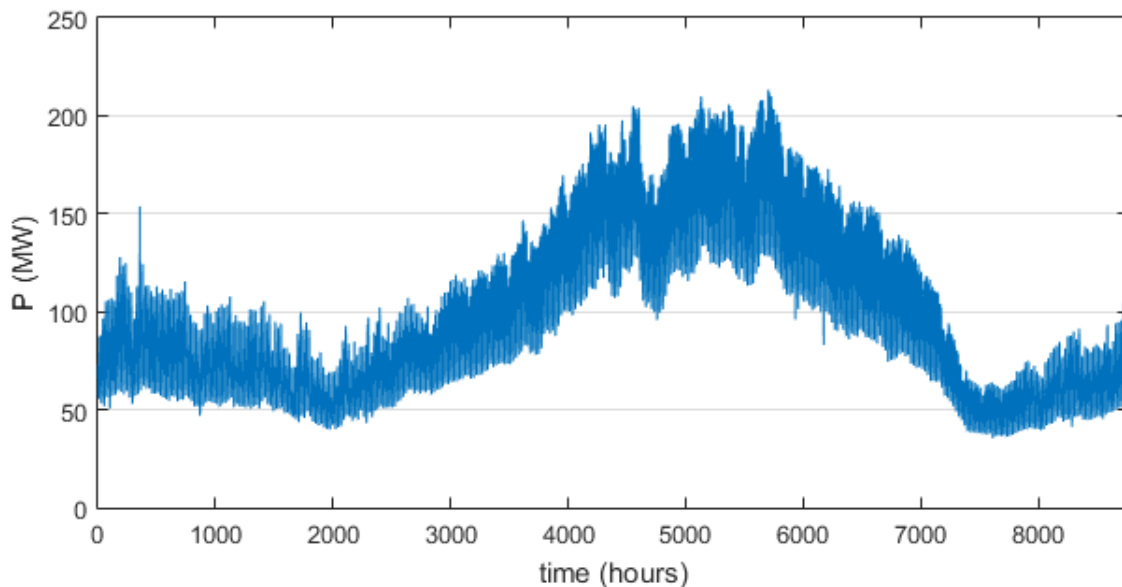
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στη συνέχεια παρατίθενται τα κύρια δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις των ηλεκτρικών συστημάτων Ρόδου και Καρπάθου-Κάσου. Τα δεδομένα αφορούν την αναμενόμενη ζήτηση του έτους 2023 (έτος αναφοράς), το συμβατικό σύστημα παραγωγής, τους σταθμούς ΑΠΕ διαφόρων τεχνολογιών και τις χρονοσειρές πρωτογενούς δυναμικού, τα ισχύοντα περιθώρια διείσδυσης σταθμών ΑΠΕ και τα εγγυημένα/συμβολαιοποιημένα μεγέθη που ισχύουν για σταθμούς ΑΠΕ, σύμφωνα με τις συμβάσεις πώλησης αυτών και την απόφαση 616/2016 της ΡΑΕ.

Ι.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ

Ι.1.1. Χαρακτηριστικά του Φορτίου

Ως ωριαία χρονοσειρά φορτίου για το έτος αναφοράς χρησιμοποιείται η χρονοσειρά του έτους 2019¹³, προσαρμοσμένη στις τιμές μέγιστης ζήτησης και ετήσιας ενέργειας για το έτος 2023, οι οποίες εκτιμώνται σε 213.3 MW και 882.5 GWh, αντίστοιχα, σύμφωνα με το συγκρατημένο σενάριο εξέλιξης της ζήτησης (σταδιακή επαναφορά στην προ COVID ζήτηση) της ΔΔΝ. Ο συντελεστής φορτίου υπολογίζεται ίσος με 47%. Η χρονοσειρά του φορτίου της Ρόδου για το έτος αναφοράς απεικονίζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Ετήσια χρονοσειρά φορτίου της Ρόδου το έτος αναφοράς (ΣΦ=47%).

Ι.1.2. Χαρακτηριστικά των Συμβατικών Μονάδων

Η προβλεπόμενη σύνθεση και σειρά ένταξης των συμβατικών μονάδων παραγωγής του συστήματος της Ρόδου για το έτος αναφοράς, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, φαίνονται στους Πίνακες 1 και 2. Το σύστημα συμβατικής παραγωγής αποτελείται από δύο σταθμούς, τον ΑΗΣ Σορωνής και τον ΘΗΣ της Νότιας Ρόδου. Ο ΑΗΣ Σορωνής, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 207 MW, αποτελείται από δύο (2) ατμοστρόβιλους και πέντε (5) νηξελογεννήτριες που καταναλώνουν βαρύ καύσιμο

¹³ Στη διαθέσιμη χρονοσειρά «φαινόμενου» φορτίου του έτους 2019 προστέθηκε η πραγματική παραγωγή των Φ/Β πάρκων του νησιού για το ίδιο έτος, ώστε να προκύψει η πραγματική ζήτηση του ΜΔΝ. Ως «φαινόμενο» φορτίο ορίζεται αυτό που υπολογίζεται από την άθροιση της καταγραφόμενης μέσω SCADA παραγωγής, που περιλαμβάνει τις συμβατικές μονάδες και όλους τους αιολικούς σταθμούς, αλλά κανένα Φ/Β.

(μαζούτ), καθώς και από τέσσερις (4) αεροστροβίλους που καταναλώνουν ελαφρύ καύσιμο (Diesel). Ο ΘΗΣ Νότιας Ρόδου συνολικής μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος 120 MW, αποτελείται από επτά (7) μονάδες ΜΕΚ, οι οποίες καταναλώνουν βαρύ καύσιμο (μαζούτ).

Σύμφωνα με τη σημερινή πρακτική λειτουργίας των συμβατικών σταθμών, όπως προκύπτει από τα απολογιστικά δεδομένα λειτουργίας των συμβατικών μονάδων του έτους 2019 (Βασικό σενάριο 1 στην παρούσα μελέτη), η μία εκ των δύο ατμομονάδων του ΑΗΣ Σορωνής θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση ψυχρής εφεδρείας και εντάσσεται μόνο τη θερινή περίοδο. Η άλλη ατμομονάδα, μία μικρή και μία μεγάλη νηξελογεννήτρια του ΑΗΣ Σορωνής θεωρείται ότι λειτουργούν υποχρεωτικά όλο το έτος μαζί με μία νηξελογεννήτρια του νέου ΘΗΣ με τεχνικό ελάχιστο 10 MW, λόγω ανάγκης προθέρμανσης του καυσίμου. Συνολικά εντάσσονται τέσσερις μονάδες συνολικής ισχύος 50 MW (συνολική τεχνικά ελάχιστη ισχύς 38.9 MW) ενώ τη θερινή περίοδο εντάσσεται υποχρεωτικά η δεύτερη ατμομονάδα. Οι υπόλοιπες μονάδες εντάσσονται σύμφωνα με τις ανάγκες της ζήτησης και τη σειρά ένταξης του Πίνακα 1.

Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται ακόμα δύο πολιτικές λειτουργίας, το Βασικό σενάριο 2 και το Ελαστικό σενάριο. Το Βασικό σενάριο 2, είναι αντίστοιχο του Βασικού σεναρίου 1 με μικρή διαφοροποίηση στα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων και στη σειρά ένταξής τους, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1. Στο Ελαστικό σενάριο θεωρείται ότι εντάσσονται τρεις μονάδες συνολικής ισχύος 44.35 MW (συνολική τεχνικά ελάχιστη ισχύς 24 MW), χωρίς την υποχρεωτική ένταξη της μίας μεγάλης νηξελογεννήτριας του ΑΗΣ Σορωνής, ακολουθώντας εναλλάξ ένταξη μονάδων ανάμεσα στους δύο σταθμούς. Τα θεωρούμενα τεχνικά ελάχιστα και η σειρά ένταξης που υιοθετούνται σε αυτό το σενάριο παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Στην ανάλυση ελήφθη υπόψη ενδεικτικό πρόγραμμα 20ήμερης συντήρησης ανά συμβατική μονάδα στις περιόδους χαμηλού φορτίου. Όταν υποχρεωτικά ενταγμένη συμβατική μονάδα βγαίνει σε προγραμματισμένη συντήρηση, την υποχρεωτική λειτουργία αυτής καλύπτει άλλη όμοια μονάδα.

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά και σειρά ένταξης των μονάδων παραγωγής του συστήματος Ρόδου για το έτος 2023.

Όνομα ΟΣ	ΑΡ.ΜΟΝ	Ονομαστική ισχύς	Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς	Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς θέρους	ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 1			ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2		ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	
					Τεχνικά Ελάχιστα	Σειρά ένταξης χαμηλών Φορτίων	Σειρά ένταξης υψηλών Φορτίων	Τεχνικά Ελάχιστα	Σειρά ένταξης	Τεχνικά Ελάχιστα	Σειρά ένταξης
		MW	MW	MW	MW			MW		MW	
ΑΗΣ ΡΟΔΟΥ	ATM1	15.0	13.7	13.7	10.0	1	1	10.0	1	10.0	1
	ATM2	15.0	13.7	13.7	10.0	6*	7*	10.0	..*	10.0	..*
	A/Σ 1	20.0	17.3	17.3	4.0	17	17	5.0	14	5.0	14
	A/Σ 2	23.6	21.7	19.7	5.0	9	15	5.0	15	5.0	15
	A/Σ 3	21.3	19.6	17.6	3.0	16	18	5.0	16	5.0	16
	A/Σ 4	28.0	26.4	25.9	5.0	18	16	5.0	17	5.0	17
	D1	12.3	10.1	10.1	4.9	2	2	4.0	2	4.0	2
	D2	12.3	10.1	10.1	4.9	5	8	4.0	6	4.0	4
	D3	20.0	17.3	17.3	14.0	3	3	14.0	3	12.0	7
	D4	20.0	17.3	17.3	14.0	7	9	14.0	9	12.0	10
ΘΗΣ Ν. ΡΟΔΟΥ	D5	20.0	17.3	17.3	14.0	8	10	14.0	12	12.0	13
	D1	17.1	16.5	16.5	10.0	4	4	10.0	4	6.8	3
	D2	17.1	16.5	16.5	8.5	10	5	6.8	5	6.8	5
	D3	17.1	16.5	16.5	8.5	11	6	6.8	7	6.8	6
	D4	17.1	16.5	16.5	8.5	12	11	6.8	8	6.8	8
	D5	17.1	16.5	16.5	8.5	13	12	6.8	10	6.8	9
	D6	17.1	16.5	16.5	8.5	14	13	6.8	11	6.8	11
	D7	17.1	16.5	16.5	8.5	15	14	6.8	13	6.8	12

(*) Η ATM2 εντάσσεται ως υποχρεωτική μονάδα τους μήνες Ιουνίου- Σεπτεμβρίου

1.1.3.Χαρακτηριστικά Σταθμών ΑΠΕ

1.1.3.1. Αιολικά Πάρκα

Η εγκατεστημένη ισχύς Α/Π στην Ρόδο είναι ίση με 48.55 MW. Συνολικά είναι εγκατεστημένα πέντε αιολικά πάρκα. Τα δύο μεγάλα εγκατεστημένα Α/Π ισχύος 11.7 και 11.05 MW, αντίστοιχα, παρουσιάζουν συστηματικά χαμηλή απόδοση, τα δύο μικρά Α/Π ισχύος 3 και 4.95 MW, έχουν καλύτερη ενεργειακή απόδοση, ενώ το πέμπτο Α/Π ισχύος 17.85 MW παρουσιάζει υψηλή ενεργειακή απόδοση. Προκειμένου η μελέτη να ανταποκρίνεται στα πραγματικά δεδομένα λειτουργίας του νησιού, για τον υπολογισμό της παραγόμενης ισχύος των Α/Π χρησιμοποιήθηκαν διαθέσιμες χρονοσειρές ανέμου από τις τοποθεσίες των πάρκων του έτους 2019 και οι αντίστοιχες καμπύλες ισχύος αυτών. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τρεις χρονοσειρές αιολικής παραγωγής, μία με συντελεστή χρησιμοποίησης της τάξης του 20% για τα Α/Π χαμηλής απόδοσης, μία με συντελεστή χρησιμοποίησης της τάξης του 35% για τα Α/Π καλής απόδοσης και μία για το πέμπτο Α/Π υψηλής ενεργειακής απόδοσης καθώς και για τα νέα Α/Π, με συντελεστή χρησιμοποίησης της τάξης του 41% προ περικοπών.

Σύμφωνα με την Απόφαση 616/2016 της ΠΑΕ, το όριο ισχύος μικρών Α/Γ για το σύστημα της Ρόδου έχει ορισθεί σε 2 MW. Η ωριαία παραγόμενη ισχύς των μικρών Α/Γ προκύπτει από καμπύλη ισχύος τυπική για μικρές Α/Γ και χρονοσειρά ανέμου κλιμακωμένη σε μέση ετήσια τιμή 5 m/s, έτσι ώστε να προκύπτει συντελεστής χρησιμοποίησης των μηχανών περί το 20%.

1.1.3.2. Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί

Με την απόφαση 6163/2016 της ΠΑΕ, το περιθώριο εγκατεστημένης Φ/Β ισχύος για το σύστημα της Ρόδου έχει ορισθεί σε 36 MW. Η εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται στα 19.57 MW¹⁴, βάσει των στοιχείων της ΔΔΝ.

¹⁴ Στην Ρόδο λειτουργούν 216 Φ/Β πάρκα συνολικής ισχύος 18.16 MW, Φ/Β σε στέγες ισχύος περίπου 1.21 MW και Φ/Β με καθεστώς net-metering ισχύος 0.2 MW.

Για τον υπολογισμό της ανά ώρα παραγόμενης ενέργειας των φωτοβολταϊκών σταθμών της Ρόδου χρησιμοποιείται η πραγματική χρονοσειρά παραγωγής των εγκατεστημένων Φ/Β πάρκων του νησιού του έτους 2019, με ενεργειακή απόδοση 1850 kWh/kW.

1.1.3.3. Υβριδικοί σταθμοί αιολικών – μπαταριών (ΥΒΣ-ΑΜ)

Για την προσομοίωση υβριδικών σταθμών με αιολικά και μπαταρίες (ΥΒΣ-ΑΜ) στη Ρόδο θεωρείται σύστημα αποθήκευσης συσσωρευτών τύπου Li-ion. Η αναλογία μεγέθους των συνιστωσών των σταθμών παρουσιάζεται στον Πίνακα 2 και προκύπτει από τις εκδοθείσες άδειες παραγωγής. Στο σύστημα της Ρόδου έχουν εκδοθεί 13 άδειες ΥΒΣ, συνολικής εγγυημένης ισχύος 44 MW, με συνολική ισχύ Α/Π 108 MW σε συνδυασμό με Φ/Β μικρής συνολικής ισχύος 11 MW και συνολική ονομαστική χωρητικότητα 319 MWh, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3. Αιτήσεις ΥΒΣ που περιλαμβάνουν ταυτόχρονα Α/Π και Φ/Β μικρής ισχύος μετατρέπονται σε ισοδύναμους ΥΒΣ-ΑΜ, με την ισχύ Φ/Β να μετατρέπεται σε ισοδύναμη ενεργειακή απόδοσης ισχύ Α/Γ (περίπου ίση με το 50% των Φ/Β).

Πίνακας 2. Αναλογία μεγέθους συνιστωσών του ΥΒΣ-ΑΜ της Ρόδου

ΕΓΓΥΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΥΒΣ (MW)	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ (MW)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ (MWh)	ΙΣΧΥΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ (MW)
P_{GUAR}	$P_{W/F}=2.6 \cdot P_{GUAR}$	$E=7.3 \cdot P_{GUAR}$	$>85\% \cdot P_{W/F}$

Πίνακας 3. Εκδοθείσες άδειες ΥΒΣ-ΑΜ στο σύστημα της Ρόδου.

Πλήθος αδειών	Συνολική εγγυημένη ισχύς (MW)	Συνολική ισχύς Α/Π (MW)	Συνολική ισχύς Φ/Β (MW)	Συνολική χωρητικότητα αποθηκών (MWh)	Σταθμισμένη μέση χωρητικότητα αποθηκών ΥΒΣ (σε h εγγυημένης ισχύος)	Σταθμισμένος μέσος λόγος ΑΠΕ/εγγ. ισχύος
13	44	108	11	319	7.3	2.7

Για το Α/Π του ΥΒΣ-ΑΜ χρησιμοποιείται χρονοσειρά παραγόμενης ισχύος του ενεργειακά αποδοτικότερου πάρκου του συστήματος, κλιμακωμένη κατάλληλα ώστε να προκύπτει συντελεστής χρησιμοποίησης της τάξης του 39% προ περικοπών, ο οποίος αντιστοιχεί στον μέσο CF των αδειοδοτημένων έργων.

Η μοντελοποίηση του ΥΒΣ-ΑΜ καταγράφει τις σημαντικές λειτουργικές παραμέτρους του συστήματος αποθήκευσης, λαμβάνοντας υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Σε ό,τι αφορά τη διαχείριση των ΥΒΣ-ΑΜ, κατά τη φάση κατάρτισης των προσφορών ενέργειας τηρείται άνω όριο που ισούται με το γινόμενο της διάρκειας περιόδου ενεργειακού προγραμματισμού σε ώρες (12 ή 24) επί την εγγυημένη ισχύ του ΥΒΣ, δηλαδή η ημερήσια προσφορά ενέργειας δεν μπορεί να υπερβαίνει το γινόμενο $24 \times P_{GUAR}$, ενώ παράλληλα τηρείται ενεργειακό απόθεμα ασφαλείας εντός των αποθηκευτικών συστημάτων, όπως ορίζει το ισχύον ρυθμιστικό πλαίσιο. Στις προσομοιώσεις, η ισχύς κατανομής των ΥΒΣ δεν υπερβαίνει την εγγυημένη, έστω και αν η εγκατεστημένη των αντιστροφών είναι υψηλότερη.

Κατά τη λειτουργία τους, οι μπαταρίες υποβάλλονται σε στοχαστικούς κύκλους, ανάλογα με τις μεταβολές της παραγωγής του Α/Π και τη λειτουργική κατάσταση του συστήματος. Εν γένει, υφίστανται οι εξής δυνατότητες:

- Όταν οι μπαταρίες δεν εντάσσονται για προγραμματισμένη παραγωγή, η ενέργεια που παράγεται από το Α/Π σταθμό του ΥΒΣ χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών. Σε αυτήν την περίπτωση, η ισχύς φόρτισης παρακολουθεί τις μεταβολές της διαθέσιμης ισχύος ΑΠΕ. Η πλεονάζουσα αιολική παραγωγή, σε περίπτωση πλήρους φόρτισης των συστημάτων αποθήκευσης, εγχέεται απ' ευθείας στο δίκτυο αξιοποιώντας τυχόν περίσσεια set-point του συστήματος, όταν αυτή υπάρχει.
- Κατά τη φάση παραγωγής, οι μπαταρίες μπορούν να ενταχθούν σε οποιαδήποτε ισχύ προσδιορίζεται από τις εντολές κατανομής του Διαχειριστή ΜΔΝ, ονομαστική ή χαμηλότερη.
- Ο διαχειριστής του ΥΒΣ μπορεί να υποκαταστήσει προγραμματισμένη παραγωγή των μπαταριών με φωτοβολταϊκή ισχύ. Στην περίπτωση αυτή οι μπαταρίες αντισταθμίζουν τις διακυμάνσεις της παραγωγής ΑΠΕ, ώστε στο σύστημα να εγχέεται η ισχύς που προσδιορίζεται από τις εντολές κατανομής.

Οι μπαταρίες είναι σε θέση να παρέχουν την ονομαστική τους ισχύ ανεξάρτητα από το επίπεδο φόρτισής τους. Στις προσομοιώσεις, οι συνήθεις κύκλοι εκφόρτισης εκμεταλλεύονται το 75% της ονομαστικής χωρητικότητας, με το εύρος διακύμανσης του SOC να είναι από 20% έως 95%. Απόκλιση από το κάτω όριο του SOC είναι εφικτή, αλλά διατηρείται ως ενεργειακό απόθεμα ασφαλείας και αξιοποιείται σε έκτακτες καταστάσεις. Η διακινούμενη ισχύς των μπαταριών, δηλαδή ο ρυθμός φόρτισης ή εκφόρτισης, δεν είναι μεγαλύτερος του 1C. Ο κύκλος απορρόφησης-παραγωγής του ΥΒΣ έχει απόδοση 83-86%, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών των μετατροπών ισχύος και των ιδιοκαταναλώσεων του συστήματος αποθήκευσης.

1.1.3.4. Υβριδικοί σταθμοί φωτοβολταϊκών – μπαταριών (ΥΒΣ-ΦΜ)

Στο σύστημα της Ρόδου δεν έχουν εκδοθεί άδειες παραγωγής για ΥΒΣ μπαταριών μόνο με Φ/Β ως μονάδες ΑΠΕ. Παρ' όλα αυτά θεωρήθηκε η ταυτόχρονη ένταξη και τέτοιου τύπου ΥΒΣ, σε μικρότερη αναλογικά ισχύ σε σχέση με τους ΥΒΣ-ΑΜ, αντανakλώντας τη γενικότερη τάση υλοποίησης τέτοιων έργων με βάση τα Φ/Β αντί των αιολικών και το γεγονός ότι έχουν πλέον υποβληθεί τέτοιες αιτήσεις για τη Ρόδο.

Για την προσομοίωση ΥΒΣ-ΦΜ θεωρείται σύστημα αποθήκευσης συσσωρευτών τύπου Li-ion. Η αναλογία μεγέθους των συνιστωσών του σταθμού παρουσιάζεται στον Πίνακα 4, ως συνάρτηση της εγγυημένης ισχύος του σταθμού και της ισχύος Φ/Β, και προκύπτει ως σταθμισμένος μέσος όρος αδειών παραγωγής ανάλογων έργων σε άλλα ΜΔΝ, σύμφωνα με στοιχεία της ΔΔΝ.

Πίνακας 4. Αναλογία μεγέθους συνιστωσών του ΥΒΣ-ΦΜ της Ρόδου.

ΕΓΓΥΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΥΒΣ (MW)	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (MW)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ (MWh)	ΙΣΧΥΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ (MW)
P_{GUAR}	$P_{PV}=2.5 \cdot P_{GUAR}$	$E=8 \cdot P_{GUAR}$	$>85\% \cdot P_{PV}$

Για το Φ/Β του ΥΒΣ-ΦΜ χρησιμοποιείται η χρονοσειρά παραγόμενης ισχύος των Φ/Β πάρκων επί της Ρόδου, με ενεργειακή απόδοση 1850 kWh/kWp/y. Για τη μοντελοποίηση του συστήματος αποθήκευσης μπαταριών του ΥΒΣ-ΦΜ ισχύουν όσα περιγράφονται στην προηγούμενη ενότητα για τους ΥΒΣ-ΑΜ που εντάσσονται στο σύστημα της Ρόδου.

I.1.3.5. Σταθμοί Βιομάζας-Βιοαερίου

Ως σταθμοί βιομάζας – βιοαερίου (ΣΒΒ) θεωρούνται οι σταθμοί που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη αγροτικά υπολείμματα, κτηνοτροφικά απόβλητα, φυτικά έλαια, αστικά απορρίμματα κ.α. Συνηθισμένες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής αποτελούν η άμεση καύση της βιομάζας ή η αεριοποίηση και αναερόβια χώνευση αυτής και η μετέπειτα καύση του παραγόμενου αερίου καυσίμου. Η διαθεσιμότητα της χρησιμοποιούμενης πρώτης ύλης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, χωρίς τη στοχαστικότητα του ανέμου και του ήλιου, έχει ως αποτέλεσμα οι σταθμοί αυτοί να λειτουργούν πρακτικά ως μονάδες βάσης.

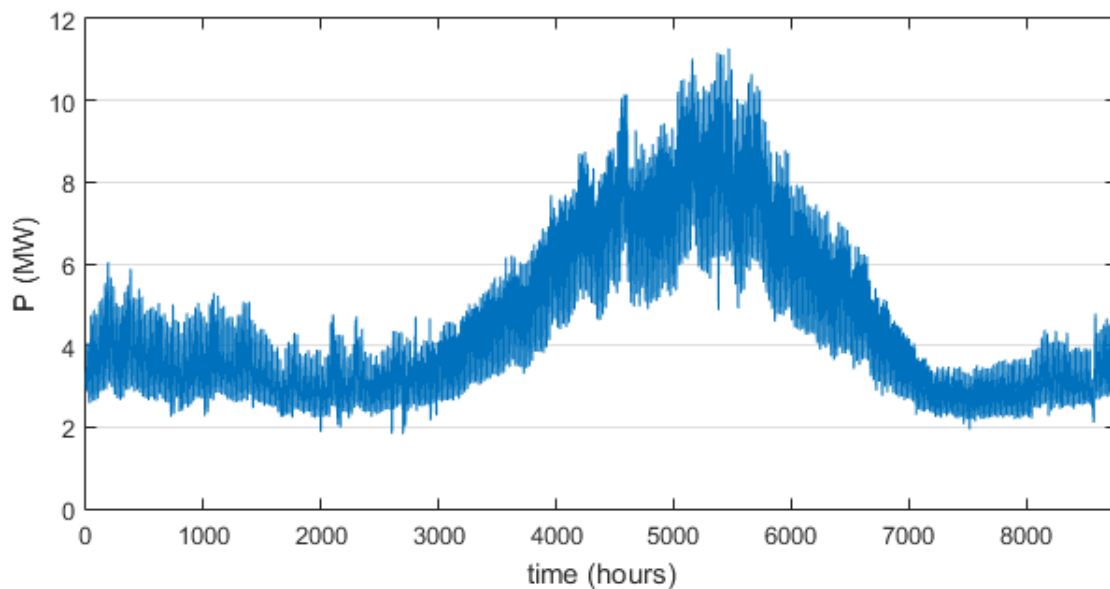
Σύμφωνα με την Απόφαση 616/2016 της ΠΑΕ, το όριο ισχύος των ελεγχόμενων ΣΒΒ είναι 5 MW, ενώ το αντίστοιχο περιθώριο για τις μη ελεγχόμενες ΣΒΒ για το σύστημα της Ρόδου είναι ίσο με 2 MW. Οι μη ελεγχόμενοι ΣΒΒ αντιμετωπίζονται ως μικρές μη κατανεμόμενες μονάδες που συνδέονται στη ΧΤ, τις οποίες ο Κώδικας ΜΔΝ εξαιρεί από τους κανόνες διαχείρισης και ελέγχου που επιβάλλονται στους λοιπούς σταθμούς, ενώ οι ελεγχόμενοι ΣΒΒ αντιμετωπίζονται ως κατανεμόμενες μονάδες, με δυνατότητα διαχείρισης της ισχύος εξόδου τους.

Στις προσομοιώσεις θεωρείται ότι οι ΣΒΒ έχουν δυνατότητα παραγωγής της ονομαστικής τους ισχύος σε 24ωρη βάση, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ενδεικτικά θεωρούνται απώλειες της τάξης του 10%, οι οποίες πρακτικώς εκφράζουν τη μη διαθεσιμότητα των σταθμών.

Ι.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΡΠΑΘΟΥ - ΚΑΣΟΥ

Ι.2.1.Χαρακτηριστικά του Φορτίου

Ως ωριαία χρονοσειρά φορτίου για το έτος αναφοράς χρησιμοποιείται η χρονοσειρά του έτους 2019¹⁵, προσαρμοσμένη στις τιμές μέγιστης ζήτησης και ετήσιας ενέργειας για το έτος 2023, οι οποίες εκτιμώνται σε 11.27 MW και 39.9 GWh, αντίστοιχα, σύμφωνα με το συγκρατημένο σενάριο εξέλιξης της ζήτησης (σταδιακή επαναφορά στην προ COVID ζήτηση) της ΔΔΝ. Ο συντελεστής φορτίου υπολογίζεται ίσος με 40%. Η χρονοσειρά του φορτίου της Κάσου-Καρπάθου απεικονίζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Ετήσια χρονοσειρά φορτίου της Καρπάθου-Κάσου το έτος αναφοράς (ΣΦ=40%).

Ι.2.2.Χαρακτηριστικά των Συμβατικών Μονάδων

Η προβλεπόμενη σύνθεση και σειρά ένταξης των συμβατικών μονάδων παραγωγής του ΑΣΠ Καρπάθου για το έτος αναφοράς, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, φαίνονται στον Πίνακα 5. Ο σταθμός αποτελείται από δύο συμβατικές Μονάδες WARTSILA W12V32, ισχύος 5 MW έκαστη, που καταναλώνουν καύσιμο μαζούτ, ένα σταθερό Η/Ζ DAIHATSU 8DV-26 ισχύος 1.8 MW, ένα φορητό Η/Ζ WARTSILA VASA 8R22MD ισχύος 0,8 MW και τέσσερα φορητά Η/Ζ MITSUBISHI της Τράπεζας Φορητών Η/Ζ, συνολικής ισχύος 4 MW, που καταναλώνουν καύσιμο diesel. Στον ΑΣΠ Καρπάθου αναμένεται η ένταξη δύο νέων μονάδων ισχύος 3.5 MW η κάθε μία, με ταυτόχρονη αποδέσμευση των Η/Ζ της Τράπεζας. Ως υποχρεωτικά ενταγμένες μονάδες λαμβάνεται η πρώτη σε σειρά ένταξης νέα μονάδα στον ΑΣΠ Καρπάθου. Στην ανάλυση ελήφθη υπόψη ενδεικτικό πρόγραμμα συντήρησης των μονάδων.

¹⁵ Στη διαθέσιμη χρονοσειρά φαινομένου φορτίου του έτους 2019 προστέθηκε η παραγωγή των Φ/Β πάρκων του νησιού για το ίδιο έτος, ώστε να προκύψει η πραγματική ζήτηση του ΜΔΝ.

Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά και σειρά ένταξης των μονάδων παραγωγής του ΑΣΠ Καρπάθου για το έτος 2023.

ΤΥΠΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΜΙΚΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΙΚΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΙΚΤΗ ΙΣΧΥΣ ΘΕΡΟΥΣ (kW)	ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΛΑΧΙΣΤΟ (kW)	ΣΕΙΡΑ ΕΝΤΑΞΗΣ
NEA ΜΟΝΑΔΑ 1	3500	3500	3500	1400	1Α
NEA ΜΟΝΑΔΑ 2	3500	3500	3500	1400	1Β
WARTSILA W12V32	5327	5327	5000	2100	2Α
WARTSILA W12V32	5327	5327	5000	2100	2Β
MITSUBISHI S16R-PTA(X4)	1275	1100	1000	637	3Α-3Δ
DAIHATSU	2100	1800	1800	1050	4
WARTSILA VASA 8R22MD	1200	850	800	600	5

1.2.3. Χαρακτηριστικά Σταθμών ΑΠΕ

1.2.3.1. Αιολικά Πάρκα

Η αδειοδοτημένη ισχύς Α/Π στην Κάρπαθο-Κάσο είναι 1.4 MW. Σύμφωνα με την Απόφαση 616/2016 της ΡΑΕ, το περιθώριο ισχύος Α/Π ανέρχεται σε 2.72 MW. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΔΝ, τα δύο εγκατεστημένα Α/Π ισχύος 500 kW και 450 kW διαθέτουν Α/Γ των 900 kW και λειτουργούν πλέον με περιορισμό ισχύος και συντελεστή χρησιμοποίησης της τάξης του 60%. Το τρίτο Α/Π ισχύος 450 kW είναι εκτός λειτουργίας και δεν λαμβάνεται υπόψη στις προσομοιώσεις. Ως βάση για τον υπολογισμό της παραγωγής των Α/Π του συστήματος, απουσία ετήσιων χρονοσειρών πραγματικά διαθέσιμης παραγωγής, χρησιμοποιείται χρονοσειρά ανέμου από θέση στη Ν. Κάρπαθο (από στοιχεία που διαθέτει η ομάδα του έργου).

Τα δύο υπάρχοντα αιολικά του νησιού είναι τα εξής:

- Α/Π ισχύος 450 kW: παλιές μηχανές 275 kW και 175 kW, οι οποίες αντικαταστάθηκαν από νέα Α/Γ 900 kW, τύπου EWT900, με περιορισμό ισχύος στα 450 kW.
- Α/Π ισχύος 500 kW: Α/Γ Nordex τύπου stall που λειτουργούσε χωρίς περιορισμό ισχύος και πλέον αντικαταστάθηκε από Α/Γ Enercon-E44 900 kW, με περιορισμό ισχύος στα 500 kW.

Για τα νέα Α/Π (μελλοντικοί σταθμοί έως το εκάστοτε περιθώριο) χρησιμοποιείται αντιπροσωπευτική καμπύλη ισχύος (Enercon E44-900) και η διαθέσιμη χρονοσειρά ανέμου. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης για τα νέα Α/Π προκύπτει ίσος με 43% προ περικοπών.

Σύμφωνα με την Απόφαση 616/2016 της ΡΑΕ, το όριο ισχύος μικρών Α/Γ για το σύστημα της Καρπάθου-Κάσου έχει ορισθεί σε 78.5 kW. Η ωριαία παραγόμενη ισχύς των μικρών Α/Γ προκύπτει από τυπική καμπύλη μικρών Α/Γ και τη χρονοσειρά ανέμου, κλιμακωμένη έτσι ώστε να προκύπτει συντελεστής χρησιμοποίησης περί το 20%.

1.2.3.2. Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί

Σύμφωνα με την Απόφαση 616/2016 της ΡΑΕ, το περιθώριο εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β για το σύστημα της Καρπάθου-Κάσου έχει ορισθεί σε 1.413 MW. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β είναι σήμερα ίση με 1.2 MW βάσει στοιχείων της ΔΔΝ (Φ/Β πάρκα 1.16 MW και Φ/Β σε στέγες 0.04 MW).

Για τον υπολογισμό της ανά ώρα παραγόμενης ενέργειας των φωτοβολταϊκών σταθμών της Καρπάθου - Κάσου χρησιμοποιείται χρονοσειρά Φ/Β παραγωγής, όπως προέκυψε από την παραγωγή του έτους 2019 των τηλεμετρούμενων Φ/Β πάρκων του συστήματος, κλιμακωμένη σε ετήσια ενεργειακή απόδοση 1700 kWh ανά εγκατεστημένο kW, η οποία αντιστοιχεί στη σταθμισμένη ενεργειακή απόδοση υφιστάμενων και νέων Φ/Β επί στεγών και εδάφους.

1.2.3.3. Σταθμοί Βιομάζας-Βιοαερίου

Σύμφωνα με την Απόφαση 616/2016 της ΡΑΕ, το όριο ισχύος των ελεγχόμενων ΣΒΒ είναι ίσο με 400 kW για το σύστημα της Καρπάθου-Κάσου, ενώ το αντίστοιχο περιθώριο για τους μη ελεγχόμενους ΣΒΒ είναι 78.5 kW.

Στις προσομοιώσεις θεωρείται ότι οι ΣΒΒ έχουν δυνατότητα παραγωγής της ονομαστικής τους ισχύος σε 24ωρη βάση, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ενδεικτικά θεωρούνται απώλειες της τάξης του 10%, οι οποίες πρακτικώς εκφράζουν τη μη διαθεσιμότητα των σταθμών.

1.2.3.4. Υβριδικοί σταθμοί αιολικών και φωτοβολταϊκών – μπαταριών (ΥΒΣ-ΑΦΜ)

Στο σύστημα της Καρπάθου-Κάσου έχουν εκδοθεί 4 άδειες ΥΒΣ¹⁶ με σύστημα αποθήκευσης μπαταριών συνολικής εγγυημένης ισχύος 10.7 MW, με συνολική ισχύ Α/Π 16 MW σε συνδυασμό με Φ/Β συνολικής ισχύος 4 MW και συνολική ονομαστική χωρητικότητα 89.2 MWh, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6. Δεδομένου ότι η ισχύς Φ/Β των αδειών αποτελεί το 20% της συνολικής ισχύος ΑΠΕ, κρίθηκε σκόπιμο να προσομοιωθούν ΥΒΣ με αιολικά και φωτοβολταϊκά ως τεχνολογίες ΑΠΕ και αποθήκευση σε μπαταρίες τύπου Li-ion (ΥΒΣ-ΑΦΜ). Η αναλογία μεγέθους συνιστωσών των σταθμών της Καρπάθου-Κάσου παρουσιάζεται στον Πίνακα 7, ως συνάρτηση της εγγυημένης ισχύος τους, όπως προκύπτει από τον σταθμισμένο μέσο όρο των εκδοθεισών από τη ΡΑΕ αδειών παραγωγής, σύμφωνα με στοιχεία της ΔΔΝ.

Πίνακας 6. Εκδοθείσες άδειες ΥΒΣ-ΑΦΜ στο σύστημα της Καρπάθου -Κάσου.

Πλήθος αδειών	Συνολική εγγυημένη ισχύς (MW)	Συνολική ισχύς Α/Π (MW)	Συνολική ισχύς Φ/Β (MW)	Συνολική χωρητικότητα αποθηκών (MWh)	Σταθμισμένη μέση χωρητικότητα αποθηκών ΥΒΣ (σε h εγγυημένης ισχύος)
4	10.7	16	4	89.2	8.3

Πίνακας 7. Αναλογία μεγέθους συνιστωσών ΥΒΣ-ΑΦΜ της Καρπάθου-Κάσου.

ΕΓΓΥΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΥΒΣ (MW)	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ (MW)	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ (MW)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ (MWh)	ΙΣΧΥΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ (MW)
P_{GUAR}	$P_{PV}=1.5 \cdot P_{GUAR}$	$P_{PV}=0.4 \cdot P_{GUAR}$	$E=8.3 \cdot P_{GUAR}$	$>85\% \cdot P_{PV}$

Για τα Φ/Β των ΥΒΣ-ΑΦΜ χρησιμοποιείται η χρονοσειρά παραγόμενης ισχύος των Φ/Β του συστήματος, με ενεργειακή απόδοση 1700 kWh/kWp/y, η οποία αντιστοιχεί στην εκτιμώμενη ενεργειακή απόδοση της πλειοψηφίας των αιτήσεων ΥΒΣ-ΑΦΜ για άδεια παραγωγής.

¹⁶ Σημειώνεται ότι στο σύστημα της Καρπάθου-Κάσου έχει εκδοθεί ακόμη μία άδεια ΥΒΣ με αντλησιοταμίευση στην Κάσο, η οποία δεν λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα μελέτη.

Για τα Α/Π του ΥΒΣ-ΑΦΜ χρησιμοποιείται χρονοσειρά παραγόμενης ισχύος των νέων αιολικών πάρκων του συστήματος, με ενδεικτικό συντελεστή χρησιμοποίησης της τάξης του 43% προ περικοπών. Για τη μοντελοποίηση του συστήματος αποθήκευσης μπαταριών του ΥΒΣ-ΑΦΜ ισχύουν όσα περιγράφονται σε προηγούμενη ενότητα για τους ΥΒΣ που εντάσσονται στο σύστημα της Ρόδου.

1.3. ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ & ΣΥΜΒΟΛΑΙΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ

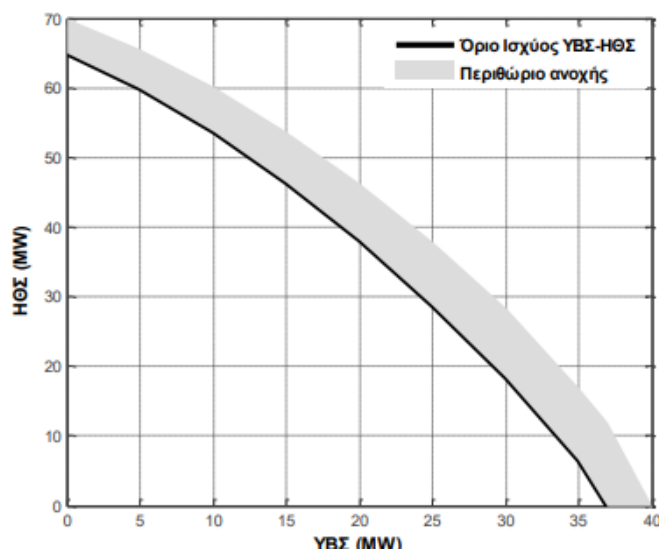
Η απόφαση 616/2016 της ΡΑΕ «Καθορισμός Περιθωρίων Ισχύος Ελεγχόμενων και Μη Ελεγχόμενων Σταθμών ΑΠΕ στα κορεσμένα δίκτυα των αυτόνομων συστημάτων των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών και καθορισμός καμπυλών μη εντασσόμενης ενέργειας (ΜΕΕ) των ελεγχόμενων σταθμών ΑΠΕ στα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα της Κρήτης, Ρόδου, Λέσβου, Κω-Καλύμνου, Σάμου και Καρπάθου-Κάσου» καθόρισε περιθώρια διείσδυσης μη κατανεμόμενων τεχνολογιών ΑΠΕ σε 32 συστήματα ΜΔΝ και περιθώρια κατανεμόμενων ΑΠΕ & ΥΒΣ σε 6 συστήματα, ορίζοντας αντίστοιχες καμπύλες εγγυημένης απορρόφησης, βάσει μελετών του ΕΜΠ για λογαριασμό του ΔΕΔΔΗΕ.

Στον ακόλουθο Πίνακα 8 παρουσιάζονται τα εγκεκριμένα περιθώρια και οι εγκατεστημένες ισχείς ΑΠΕ για τα εξεταζόμενα συστήματα Ρόδου και Καρπάθου-Κάσου, καθώς και οι εγκεκριμένες καμπύλες ΜΕΕ για τα δύο συστήματα.

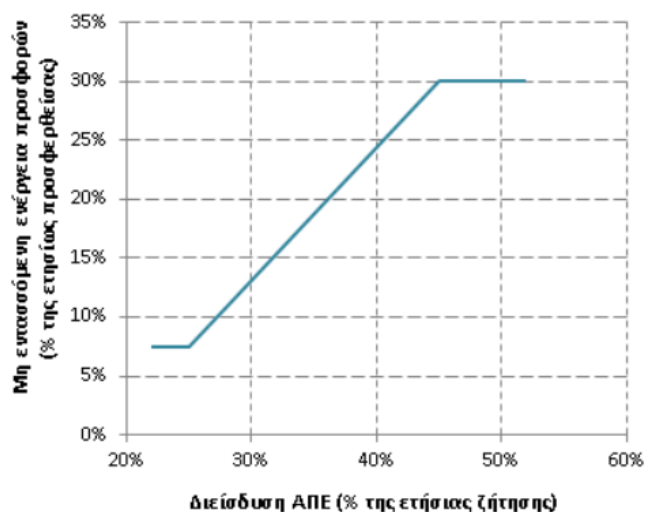
Πίνακας 8. Περιθώρια διείσδυσης και αδειοδοτημένη ισχύς ΑΠΕ (έτους 2016), βάσει της απόφασης 616/2016 της ΡΑΕ.

Ηλεκτρικό Σύστημα	Ελεγχόμενοι Σταθμοί ΑΠΕ			Μη Ελεγχόμενοι Σταθμοί ΑΠΕ					
	Περιθώρια (ΥΒΣmax) βάση 616/2016	Περιθώρια (ΗΘΣ0) βάση 616/2016	Περιθώρια (ΣΒΒελ) βάση 616/2016	Αδειοδοτημένη Ισχύς (ΑΠ)	Περιθώρια (ΑΠ) βάση 616/2016	Αδειοδοτημένη Ηλεκτρική Ισχύς (Φ/Β)	Περιθώρια (Φ/Β) βάση 616/2016	Περιθώρια (μΑ/Γ) βάση 616/2016	Περιθώρια (ΣΒΒμε) βάση 616/2016
	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)
Ρόδος	*	*	5000	48550	55000	19852	36000	2000	2000
Κάρπαθος	*	*	400	1225	2720	1212	1413	78.5	78.5

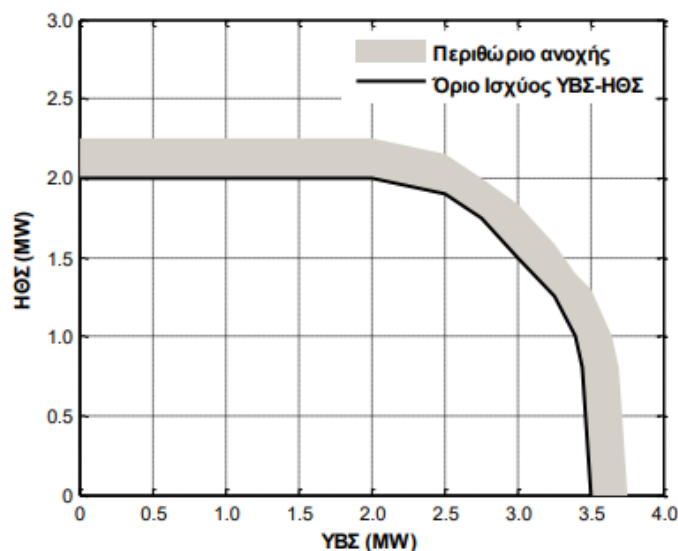
*Τα μεγέθη ισχύος ανά τεχνολογία ΥΒΣ και ΗΘΣ προσδιορίζονται βάσει διαγράμματος, όπου αποτυπώνεται η συσχέτιση μεταξύ των περιθωρίων των σταθμών αυτών (Σχήματα 3,5).



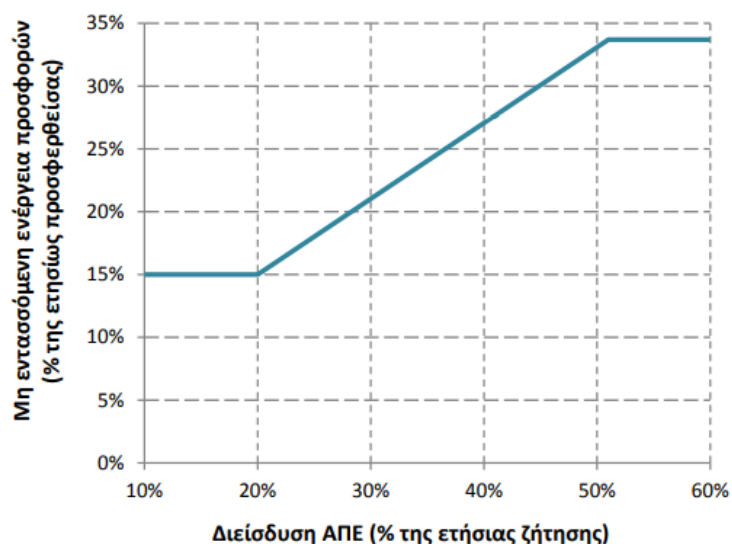
Σχήμα 3. Σύστημα Ρόδου: Μέγιστη τιμή εγκατεστημένης ισχύος ΥΒΣ-ΗΘΣ (Απόφαση ΡΑΕ 616/2016-Διάγραμμα 2)



Σχήμα 4. Σύστημα Ρόδου: Μη εντασσόμενη ενέργεια προσφορών των ελεγχόμενων σταθμών ΑΠΕ ως ποσοστό της συνολικά προσφερθείσας συναρτήσει της διείσδυσης ΑΠΕ (Απόφαση ΡΑΕ 616/2016 -Διάγραμμα 8).



Σχήμα 5. Σύστημα Κάσου-Καρπάθου: Μέγιστη τιμή εγκατεστημένης ισχύος ΥΒΣ-ΗΘΣ (Απόφαση ΡΑΕ 616/2016- Διάγραμμα 6)



Σχήμα 6. Σύστημα Κάσου-Καρπάθου: Μη εντασσόμενη ενέργεια προσφορών των ελεγχόμενων σταθμών ΑΠΕ ως ποσοστό της συνολικά προσφερθείσας συναρτήσει της διείσδυσης ΑΠΕ (Απόφαση ΡΑΕ 616/2016 -Διάγραμμα 12).

Όλα τα εγκατεστημένα Α/Π των νησιωτικών συστημάτων Ρόδου και Καρπάθου-Κάσου λειτουργούν με καθεστώς ΣΑΩΛ. Ακολούθως παρουσιάζονται οι πίνακες προσδιορισμού των ΣΑΩΛ των δύο εξεταζόμενων συστημάτων.

Πίνακας 9: ΣΑΩΛ συμβάσεων των Α/Π Ρόδου και Καρπάθου-Κάσου για διαφορετικές διεισδύσεις $\gamma(\%)$ της εγκατεστημένης ισχύος Α/Π επί της ετήσιας αιχμής του φορτίου.

$\gamma (\%)$	ΣΑΩΛ (h)
5	8600
10	8400
15	7700
20	6800
25	5800
30	5000

(α) ΣΑΩΛ Ρόδου

$\gamma (\%)$	ΣΑΩΛ (h)
5	7603
10	5428
15	3776
20	2659
25	1870
30	1268

(β) ΣΑΩΛ Καρπάθου-Κάσου

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1]. «Δεδομένα Συστημάτων Κρήτης και Ρόδου», Τεχνική Έκθεση στα πλαίσια του έργου «Διερεύνηση των περιθωρίων διείσδυσης όλων των τεχνολογιών ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα», Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ – Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Μάιος 2014.
- [2]. «Διερεύνηση των περιθωρίων διείσδυσης όλων των τεχνολογιών ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα», Έκθεση Α' Φάσης, Συστήματα Κρήτης και Ρόδου, ΕΠΙΣΕΥ– Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Μάρτιος 2014.
- [3]. «Δεδομένα Συστημάτων Καρπάθου-Κάσου», Τεχνική Έκθεση στα πλαίσια του έργου «Διερεύνηση των περιθωρίων διείσδυσης όλων των τεχνολογιών ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα», Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ – Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αύγουστος 2014.
- [4]. «Διερεύνηση των περιθωρίων διείσδυσης όλων των τεχνολογιών ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα», Έκθεση Β' Φάσης, Συστήματα Σάμου και Καρπάθου-Κάσου, ΕΠΙΣΕΥ - Ε.Μ.Π, Αύγουστος 2014.
- [5]. Σ. Παπαθανασίου, Ε. Καραμάνου, «Επικαιροποίηση των περιθωρίων διείσδυσης των τεχνολογιών ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα Πάτμου και Κω-Καλύμνου», Σεπτέμβριος 2020.