



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ &
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Τεχνοοικονομική Ανάλυση και Μοντελοποίηση Φωτοβολταϊκών με
Αποθήκευση για Συμβάσεις PPA: Σχεδιασμός Σεναρίων και Προτάσεις
Βελτίωσης της Λειτουργίας της Αγοράς»

“Techno-Economic Analysis and Modeling of Photovoltaic Systems with
BESS for PPAs: Scenario Design and Suggestions for Improving Market
Operation”

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΑΨΟΥΛΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ-ΑΝΔΡΕΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ/ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΦΛΑΜΟΣ

(ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2026)

ΔΗΛΩΣΗ

Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου.

Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού της ΜΔΕ ανήκουν στον/στη μεταπτυχιακό/ή φοιτητή/τρια και στο επιβλέπον μέλος ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους της ΜΔΕ ανήκουν στον/στη μεταπτυχιακό/ή φοιτητή/τρια και στον/στην επιβλέποντα/ουσα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο (ή των τριών σε περίπτωση συνεπιβλέποντα/ουσας) ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του/της μη συμμετέχοντα/ουσας στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο.

Ο/Η Φοιτητής/Φοιτήτρια

Ο/Η Επιβλέπων/Επιβλέπουσα

ΚΑΨΟΥΛΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ-ΑΝΔΡΕΑΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΦΛΑΜΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαρκώς αυξανόμενη ενσωμάτωση υψηλών ποσοστών ΑΠΕ στα ευρωπαϊκά ηλεκτρικά συστήματα έχει προκαλέσει μεταβολές τόσο στη διαμόρφωση των τιμών πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και στον τρόπο που λειτουργούν οι αγορές αυτές.

Τα παραπάνω, ενισχύουν την στοχαστικότητα της προσφοράς και οδηγούν σε συνεχή διακυμάνσεις των τιμών πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας ταυτόχρονα με την απελευθέρωση των ενεργειακών αγορών και την αύξηση του ανταγωνισμού δυσκολεύοντας ολόένα και περισσότερο την εκτίμηση των εσόδων των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγών αλλά και του κόστους προμήθειας ενέργειας για τους καταναλωτές.

Στο πλαίσιο αυτό, και οι δύο πλευρές (παραγωγοί, αγοραστές) αναζητούν εργαλεία και τρόπους αντιστάθμισης του κινδύνου και μείωσης του ρίσκου από την έκθεση τους στις διακυμάνσεις αυτές, με τις διμερείς συμφωνίες αγοροπωλησίας ενέργειας (PPAs) να παρουσιάζονται ως βασική επιλογή και καίριος μηχανισμός σταθεροποίησης των ταμειακών ροών και μείωσης του ρίσκου για τις δύο πλευρές.

Παρόλα αυτά, οι αγορές των PPAs με παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά βρίσκονται σε καθοδική πορεία όσον αφορά τη ζήτηση τους και τις μακροχρόνιες συμβάσεις.

Αυτό προκύπτει λόγω, της αβεβαιότητας και των συνεχών διακυμάνσεων των τιμών (αρνητικές τιμές, περικοπές κ.α.) οδηγώντας τους αγοραστές να μην επιθυμούν να δεσμευτούν για μεγάλες χρονικές περιόδους. Επίσης, οι αγοραστές παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανάγκη για να εξασφαλίσουν σταθερή τιμή αγοράς ενέργειας και να δεσμευτούν μακροπρόθεσμα, κατά τις ώρες αιχμής, όπου οι τιμές είναι αρκετά πιο υψηλές. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν παράγουν ενέργεια κατά τις ώρες αυτές λόγω της έλλειψης ηλιοφάνειας με αποτέλεσμα η μείωση της προσφοράς και η παράλληλη αύξηση της ζήτησης να οδηγούν σε αύξηση των τιμών αγοράς ενέργειας.

Αυτή η αντίθεση μεταξύ προσφοράς και ζήτησης με την παράλληλη καθοδική τάση της ζήτησης στην αγορά των PPAs με παραγωγή από φωτοβολταϊκά έχει προκαλέσει ισχυρό πλήγμα στους παραγωγούς με πολλά έργα να ακυρώνονται και άλλα να αποσυνδέονται/ σταματάνε.

Το παραπάνω ζήτημα, πρόβλημα αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής καθώς με βιβλιογραφική επισκόπηση και κυρίως μέσω της ανάπτυξης ενός τεχνοοικονομικού μοντέλου επιτυγχάνεται σύγκριση, ποιοτική και ποσοτική, μεταξύ πιθανών εναλλακτικών σεναρίων πώλησης παραγόμενης

από φωτοβολταϊκά ενέργειας μέσω διαφορετικών μορφών PPAs. Με σκοπό, την εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προαναφέρθηκαν ότι επικρατούν στην αγορά και την εκ νέου αύξηση της ζήτησης στις αγορές των PPAs με παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά χάρη στην εκμετάλλευση νέων τεχνολογιών όπως τα Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία.

Λέξεις Κλειδιά: PPAs, Συμβάσεις Αγοροπωλησίας Ενέργειας, Αγορά Επόμενης Ημέρας, DAM, Virtual PPAs, Hybrid PPAs, Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία, Pay-as- Produced

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας θα ήθελα καταρχάς να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Διευθυντή της κατεύθυνσης «Διαχείρισης Ενέργειας και Περιβάλλοντος» κύριο Φλάμο Αλέξανδρο για την επίβλεψη της Διπλωματικής μου εργασίας και τις χρήσιμες συμβουλές του.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή της κατεύθυνσης «Διαχείριση Ενέργειας και Περιβάλλοντος» κύριο Χρήστο Τουρκολιά ο οποίος βρέθηκε δίπλα μου καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής μου εργασίας και με βοήθησε να την υλοποιήσω και την ολοκληρώσω προσφέροντας για πολλούς μήνες τις γνώσεις του , την καθοδήγηση του και πάνω από όλα τον χρόνο του προκειμένου να βγει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην υλοποίηση και επιτυχημένη ολοκλήρωση της Διπλωματικής μου εργασίας.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	5
2. Συμβάσεις Αγοροπωλησίας Ενέργειας/PPAs: Ορισμός, οι διάφορες μορφές τους και η χρησιμότητα τους στις ενεργειακές αγορές.....	9
2.1. Συμβάσεις Αγοροπωλησίας Ενέργειας/PPAs	9
2.2. Συμβάσεις Αγοροπωλησίας Ενέργειας με Φυσική Παράδοση (Physical PPAs)	9
2.2.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Physical PPAs	10
2.3. Συμβάσεις Αγοροπωλησίας Ενέργειας Χωρίς Φυσική Παράδοση (Financial/Virtual PPAs)	11
2.3.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Financial/Virtual PPAs	12
2.4. PPAs και Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας :Hybrid PPA-Μια νέα, μοντέρνα και ελκυστική μορφή PPA	13
3. Η Τωρινή Κατάσταση στην Αγορά (As-Is) των PPAs με Παραγωγή Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και το Μέλλον (To-Be)	15
3.1. Αποτύπωση Τωρινής Κατάστασης (As-Is)	15
3.2. Το Μέλλον στις Αγορές των PPAs με Παραγωγή Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά (To-Be)	17
4. Μεθοδολογία	19
4.1. Μεθοδολογική Προσέγγιση.....	19
4.2. Δεδομένα Εισόδου	19
4.2.1. Κόστος Κεφαλαίου (CAPEX)- Μεταβλητά Κόστη (OPEX).....	20
4.2.2. Λοιπές Παραδοχές	21
4.3. Μεθοδολογία Προσδιορισμού Εσόδων.....	21
4.3.1. Ανάπτυξη Μοντέλου Υπολογισμού Εσόδων	21
4.3.2. Μεθοδολογία Υπολογισμού Ωριαίων Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας.....	25
5.1. Ανάλυση Εσόδων	28
5.2. Χρηματοοικονομική Ανάλυση, Αξιολόγηση Εναλλακτικών Σεναρίων με την χρήση των δεικτών ΚΠΑ και IRR.....	29
5.3. Ανάλυση Ευαισθησίας	31

5.3.1. Ανάλυση Ευαισθησίας στην Τιμή Πώλησης της Ενέργειας μέσω PPA	31
5.3.2. Ανάλυση Ευαισθησίας στο Σταθερό Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία.	33
6. Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	36
6.1. Συμπεράσματα	36
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40

Διαγράμματα/Πίνακες

Διάγραμμα 1. Ανάλυση Ευαισθησίας για Σενάρια Α, Β σχετικά με την μεταβολή της τιμής του PPA.	32
Διάγραμμα 2. Ανάλυση Ευαισθησίας για Σενάρια Γ, Δ και Ε σχετικά με την μεταβολή της τιμής του PPA.	33
Διάγραμμα 3. Ανάλυση Ευαισθησίας για το Συνολικό Σταθερό Κόστος του Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία.	35
Πίνακας 1. Εκτιμήσεις κόστους επένδυσης και λειτουργίας ανά εξαταζόμενο σενάριο.	21
Πίνακας 2. Λοιπές Παραδοχές.	21
Πίνακας 3. Συνολικά Έσοδα Ανά Σενάριο.	28
Πίνακας 4. Αποτελέσματα ΚΠΑ και IRR για κάθε εναλλακτικό Σενάριο.....	29

Εικόνες

Εικόνα 1. Δομή Physical PPA (European Investment Bank, 2023).....	11
Εικόνα 2. Δομή Financial/Virtual PPA (European Investment Bank, 2023)....	12
Εικόνα 3. Duck Curve (J. Pei et. al, 2024).	14
Εικόνα 4. Απεικόνιση ανάπτυξης της αγοράς των PPAs ανά μορφή ΑΠΕ και έτος.	16
Εικόνα 5. Παράδειγμα μίας τυπικής ημέρας για τον υπολογισμό των εσόδων κάθε εναλλακτικού σεναρίου.	22
Εικόνα 6. Εκτιμώμενα έσοδα από Arbitrage (πηγή Καθ.Μπισκας).	27
Εικόνα 7. Υπόδειγμα Μεθόδου Υπολογισμού Ετήσιων Ωριαίων Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας.....	27
Εικόνα 8. Παράδειγμα υπολογισμού ΚΠΑ και EBA για κάθε εναλλακτικό Σενάριο.	29

1. Εισαγωγή

Η συνεχόμενη ενσωμάτωση υψηλού ποσοστού Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε κάθε Ευρωπαϊκό ηλεκτρικό σύστημα έχει μεταβάλει ολοκληρωτικά την τιμολόγηση αλλά και τον τρόπο λειτουργίας των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αυξημένη διείσδυση των μεταβλητών ΑΠΕ, κυρίως ηλιακής και αιολικής ενέργειας, ευνοεί την στοχαστικότητα προσφοράς και ενισχύει την περαιτέρω μεταβλητότητα των τιμών πώλησης (χονδρικής) ηλεκτρικής ενέργειας (Cevik, 2022). Επίσης, την ίδια στιγμή, η απελευθέρωση των ενεργειακών αγορών και η ενίσχυση του ανταγωνισμού μετατρέπουν την εκτίμηση, πρόβλεψη των εσόδων των ενεργειακών παραγωγών αλλά και την πρόβλεψη του αντίστοιχου κόστους αγοράς ενέργειας για τους καταναλωτές, σε ένα πολύπλοκο και δύσκολο εγχείρημα (European Investment Bank, 2023).

Όλα τα παραπάνω, αναδεικνύουν τα PPAs ως βασικό μηχανισμό σταθεροποίησης των τιμών, και των ταμειακών ροών για παραγωγούς και αγοραστές και τις μετατρέπουν σε ένα βασικό εργαλείο αντιστάθμισης κινδύνου μέσα σε ένα πολύ έντονα μεταβαλλόμενο περιβάλλον (European Investment Bank, 2023).

Τα PPAs δίνουν την δυνατότητα στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας να διασφαλίσουν μακροχρόνια έσοδα αλλά και την χρηματοοικονομική βιωσιμότητα των έργων τους παρά το σημαντικό επενδυτικό κόστος.

Επίσης, οι συμβάσεις αυτές δίνουν τη δυνατότητα σε προμηθευτές και καταναλωτές ενέργειας, ειδικά στους καταναλωτές με υψηλή κατανάλωση ενέργειας (π.χ. βιομηχανικούς), να σταθεροποιήσουν και να προβλέψουν τα έσοδα τους ή αντίστοιχα το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και να εναρμονιστούν πλήρως από στρατηγικής σκοπιάς με τους ευρωπαϊκούς στόχους πράσινης ενέργειας και ενεργειακής μετάβασης (Stanitsas, 2023).

Παρόλα αυτά, η αποτελεσματικότητα των PPAs εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το είδος της σύμβασης, τις κινήσεις της αγοράς, το προφίλ παραγωγής και κατανάλωσης, τους μηχανισμούς τιμολόγησης αλλά και την ρευστότητα του συστήματος (Stanitsas, 2023).

Επιπλέον, η ταυτόχρονη εξέλιξη της τεχνολογίας των Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας (Battery Energy Storage Systems-BESS) δίνει νέες δυνατότητες αξιολόγησης και διαχείρισης των διαφόρων κινδύνων που προαναφέρθηκαν για παραγωγούς και αγοραστές ενέργειας.

Η αποθήκευση ενέργειας, βοηθάει στην μείωση της συμφόρησης της ενέργειας, στη βελτιστοποίηση της αγοράς ενέργειας και την εξομάλυνση μεταξύ των

διαφόρων προφίλ αγοραστών και παραγωγών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ενώ συνεισφέρει και στη δημιουργία νέων καινοτόμων μορφών PPAs (Yang et. all, 2024).

Όμως, την τωρινή περίοδο εμφανίζεται μία μείωση της ζήτησης για σύναψη συμβάσεων PPA και κυρίως συμβάσεων με μεγάλη διάρκεια. Αυτή η μείωση της ζήτησης για σύναψη συμβάσεων μορφής PPA εντοπίζεται ακόμα περισσότερο σε αυτά που αφορούν παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά.

Αυτό προκύπτει λόγω των συνεχών αρνητικών τιμών αγοράς ενέργειας στην αγορά επόμενης ημέρας (Day-Ahead Market, DAM) αλλά και λόγω της αβεβαιότητας που υπάρχει στην αγορά και δυσκολεύει την λήψη απόφασης για συμφωνίες με πολυετή διάρκεια (EnergyPress, 2025).

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει λοιπόν στο πως θα μπορούσαν οι αγορές PPAs με παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά να αυξήσουν ξανά τη ζήτηση τους, να γίνουν δηλαδή πιο ελκυστικά ειδικά σε μακροχρόνιες συμφωνίες, πως θα μπορούσαν να επηρεαστούν λιγότερο από τις μεταβολές στις αγορές και ποιες μορφές PPAs με τη χρήση ή χωρίς τη χρήση μπαταρίας μπορούν να εδραιωθούν στις τωρινές αγορές και να φέρουν ελκυστικές χρηματοοικονομικές αποδόσεις για τους παραγωγούς.

Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται διάφορα σενάρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα παράλληλα με τη διάθεση και πώληση αυτής της ενέργειας στις αγορές αλλά και σε διάφορα προφίλ μη οικιακών αγοραστών ενέργειας μέσω διαφορετικών μορφών PPA.

Σε ορισμένα από τα υπό εξέταση σενάρια ενσωματώνονται και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με στόχο να αποτιμηθεί η πρόσθετη αξία που μπορούν να προσφέρουν στο συνολικό ενεργειακό σύστημα και στον παραγωγό αλλά και η συνεισφορά στην αύξηση της ζήτησης στις αγορές των PPAs.

Τα παραπάνω αποσκοπούν στο να αξιολογηθεί η συνολική νέα χρηματοοικονομική απόδοση που προσφέρεται από ένα τέτοιο σύστημα Φωτοβολταϊκών με μπαταρία και η πώληση μέρους ή εξ' ολοκλήρου της παραγόμενης ενέργειας μέσω PPA.

Μέσω χρηματοοικονομικής ανάλυσης και αξιολόγησης αναδεικνύονται τα πιο ελκυστικά σενάρια σύναψης PPA με παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά ενώ παράλληλα διερευνάται πως οι συμβάσεις αυτές, πέρα από τη θεωρητική τους τεκμηρίωση, λειτουργούν και στην πράξη ως αποτελεσματικό εργαλείο αντιστάθμισης κινδύνου και εξομάλυνσης τιμών στις ενεργειακές αγορές.

Συγκεκριμένα η εργασία:

- Υλοποιεί βιβλιογραφική επισκόπηση προκειμένου να αναλύσει τις βασικές κατηγορίες και χαρακτηριστικά των PPAs ενώ στο πλαίσιο της

επισκόπησης αυτής γίνεται και μια πρώτη εισαγωγή στις μορφές των PPAs που περιλαμβάνουν Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία.

- Αποτυπώνει μέσω βιβλιογραφικής επισκόπησης την τωρινή και την πιθανή μελλοντική κατάσταση στις αγορές των PPAs με παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και τις πιθανές τεχνικές αντιστάθμισης των υπάρχοντων κινδύνων.
- Με βάση τα παραπάνω, αναλύει και εξηγεί το τεχνοοικονομικό μοντέλο που αναπτύχθηκε προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση των διαφόρων πιθανών σεναρίων πώλησης της ενέργειας με την σύναψη μακροχρόνιων PPAs.
- Υλοποιεί ωριαία ανάλυση σε βάθος εικοσαετίας για όλα τα πιθανά σενάρια και ανάλυση ευαισθησίας για κρίσιμες παραμέτρους όπως η τιμή, το είδος του PPA, το προφίλ του παραγωγού (Φωτοβολταϊκά με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας) και το Κόστος Κεφαλαίου, προκειμένου να γίνει σύγκριση των εναλλακτικών και να αναδειχθούν πιθανές ελκυστικές μορφές των PPAs για τους παραγωγούς και τους αγοραστές με σκοπό την αύξηση της ζήτησης και την βελτίωση των χρηματοοικονομικών αποδόσεων για τους παραγωγούς.
- Καταλήγει σε χρήσιμα συμπεράσματα και προτάσεις σχετικά με τις πιο ελκυστικές περιπτώσεις και μορφές συστημάτων παραγωγής και πώλησης ενέργειας από Φωτοβολταϊκά με την σύναψη μοντέρνων και ευέλικτων PPA που θα οδηγήσουν σε αντιστάθμιση των υπάρχοντων κινδύνων, σε εξομάλυνση και βελτίωση των αγορών και θα επαναφέρουν τους παραγωγούς ενέργειας από Φωτοβολταϊκά σε ισχυρή θέση στις αγορές «πράσινων» PPAs.

Έτσι λοιπόν, στο Κεφάλαιο 2, υλοποιείται βιβλιογραφική επισκόπηση με σκοπό την ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών και μορφών των PPAs ενώ στο Κεφάλαιο 3, γίνεται η θεωρητική αποτύπωση της τωρινής κατάστασης στις αγορές των PPAs με παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά αλλά και αναλύεται το πως αναμένεται το μέλλον στις αγορές αυτές με τη χρήση επιστημονικών πηγών.

Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται και αναλύονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και οι παραδοχές που πάρθηκαν προκειμένου να αναπτυχθεί το τεχνοοικονομικό μοντέλο ανάλυσης εναλλακτικών σεναρίων και να εξαχθούν ορθά συμπεράσματα ενώ επίσης γίνεται επεξήγηση κάθε εναλλακτικού σεναρίου για το πως λειτουργεί στις αγορές προκειμένου να προχωρήσει η οικονομική ανάλυση και η σύγκριση των εναλλακτικών.

Στο Κεφάλαιο 5, υλοποιούνται αναλύσεις ευαισθησίας σε κρίσιμους παράγοντες της ανάλυσης για όλα τα Σενάρια προκειμένου να υπάρχει πιο σφαιρική αντίληψη του κάθε Σεναρίου και να τεκμηριωθεί με πιο σαφή και

ξεκάθαρο τρόπο το πια Σενάρια μπορούν να λύσουν τα πρόβλημα της ζήτησης στις αγορές των PPAs με παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 με βάση όλα τα παραπάνω κεφάλαια, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για το πως αναμένεται και πρέπει να προχωρήσουν οι αγορές των PPAs με παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά και γίνονται συγκεκριμένες προτάσεις σχετικά με τα σενάρια/μοντέλα που πρέπει να ακολουθήσουν/υλοποιήσουν οι παραγωγοί προκειμένου να ενισχύσουν τη θέση τους στις αγορές των PPAs και να ξανά αποτελέσουν ελκυστική και βασική επιλογή για τους αγοραστές που αναζητούν τρόπους αντιστάθμισης των κινδύνων των αγορών ενέργειας.

2. Συμβάσεις Αγοροπωλησίας Ενέργειας/PPAs: Ορισμός, οι διάφορες μορφές τους και η χρησιμότητά τους στις ενεργειακές αγορές

2.1. Συμβάσεις Αγοροπωλησίας Ενέργειας/PPAs

Οι συμβάσεις αγοροπωλησίας ενέργειας αποτελούν συμφωνίες δύο μερών, του παραγωγού/πωλητή της ηλεκτρικής ενέργειας και του αγοραστή αυτής. Μέσω της διμερούς αυτής συμφωνίας ορίζονται οι όροι αγοροπωλησίας μιας συγκεκριμένης ποσότητας ενέργειας σε μια συγκεκριμένη η διαμορφούμενη τιμή (European Investment Bank, 2023).

Οι συγκεκριμένες συμφωνίες αυτές διαδραματίζουν πρωταρχικό ρόλο στις αγορές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας καθώς μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στο πολύ σημαντικό ζήτημα της διακύμανσης των τιμών πώλησης ενέργειας στην χονδρική αγορά και να βοηθήσουν τους παραγωγούς να σταθεροποιήσουν και να προβλέψουν τα έσοδα τους καθόλη τη διάρκεια ή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα της ζωής του έργου τους βοηθώντας τους μεταξύ άλλων και στην εξασφάλιση καλύτερων χρηματοδοτήσεων για τα έργα αυτά (Stanitsas, 2023).

Έτσι, εστιάζοντας στα εμπορικά PPA μορφής Pay-as-Produced, αυτές χωρίζονται σε δύο μεγάλες διαφορετικές γενικές κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω και αναλύονται περαιτέρω στα επόμενα υποκεφάλαια:

- Τις διμερείς συμβάσεις αγοροπωλησίας ενέργειας με φυσική παράδοση (Physical PPAs) όπου ο παραγωγός και ο αγοραστής της ενέργειας συνάπτουν ένα συμβόλαιο και ο αγοραστής πληρώνει στον παραγωγό την συμφωνημένη τιμή για την συμφωνημένη ποσότητα που λαμβάνει στην επίσης συμφωνημένη χρονική στιγμή, διάρκεια (European Investment Bank, 2023).
- Τις εικονικές ή χρηματοοικονομικές συμβάσεις αγοροπωλησίας ενέργειας (Financial/Virtual PPAs) όπου εκεί δεν υπάρχει φυσική παράδοση και συνήθως ο αγοραστής και ο τελικός αγοραστής της ενέργειας δεν δραστηριοποιούνται στην ίδια αγορά (EPA, 2025).

2.2. Συμβάσεις Αγοροπωλησίας Ενέργειας με Φυσική Παράδοση (Physical PPAs)

Το physical PPA αποτελεί μία σύμβαση που συνεισφέρει τόσο στην αγορά και πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και στην παροχή των ανάλογων

εγγυήσεων προέλευσης «πράσινης» ενέργειας για την πλευρά του αγοραστή από την πλευρά του παραγωγού.

Στα φυσικά PPAs, όπως προαναφέρθηκε, καθορίζονται όλα τα εμπορικά σημεία και οι αντίστοιχοι όροι του συμβολαίου από τις δύο πλευρές όπως τιμή, χρονική διάρκεια, χρονικές περίοδοι παράδοσης, όροι πληρωμών, όροι λύσης συνεργασίας και πιθανές ποινές σε περίπτωση παράδοσης λανθασμένης ποσότητας ενέργειας, ενώ αγοραστής και πωλητής πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο ηλεκτρικό δίκτυο (EPA, 2025).

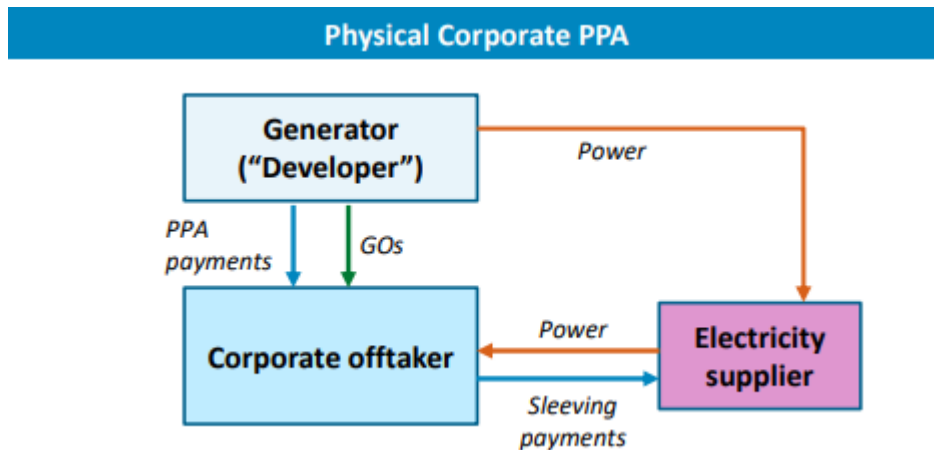
Παράλληλα, ο αγοραστής της ενέργειας συνάπτει ένα συμβόλαιο με έναν τρίτο οργανισμό (συνήθως οργανισμός κοινής ωφέλειας) που αναλαμβάνει την διαδικασία παράδοσης της ενέργειας από τον παραγωγό στον αγοραστή αλλά αναλαμβάνει να διαχειριστεί και τους πιθανούς κινδύνους, κυρίως, δηλαδή να εξισορροπήσει την παραγωγή και τη ζήτηση μεταξύ του παραγωγού και του τελικού αγοραστή της ενέργειας, όπου σε αυτή την περίπτωση το PPA αποκαλείται Sleeved Physical PPA (European Investment Bank, 2023).

2.2.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Physical PPAs

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μορφής PPA είναι καταρχάς οικονομικά καθώς μπορεί μια τέτοια συμφωνία να εγγυηθεί ικανοποιητικά μακροχρόνια έσοδα στον παραγωγό αλλά και μια τιμή ανταγωνιστική και πιθανώς χαμηλότερη από την τιμή αγοράς επόμενης μέρας (Day-Ahead-Market) κατά περιόδους για τον αγοραστή προστατεύοντας και τις 2 πλευρές από τις διακυμάνσεις των αγορών.

Επίσης, ευνοεί τη δημιουργία νέων έργων στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, επιτρέπει στον πελάτη να προ-αγοράσει μεγάλο όγκο ενέργειας μέσα από μία μόνο συμφωνία, να διαπραγματευτεί αυτός την τιμή και την διάρκεια της σύμβασης με βάση τις δικές τους προβλέψεις για τιμές των αγορών και τις δικές του ανάγκες ενώ παράλληλα, δίνεται και η δυνατότητα απόκτησης των πολύ σημαντικών για τις εταιρίες και τις εκθέσεις βιωσιμότητάς τους, εγγυήσεων προέλευσης (πράσινης) ενέργειας (EPA, 2025).

Αντίστοιχα, το βασικό μειονέκτημα/περιορισμός των Physical PPAs είναι ότι και ο αγοραστής και ο παραγωγός πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο ηλεκτρικό δίκτυο προκειμένου να μπορεί να παραδοθεί είτε απευθείας είτε μέσω του οργανισμού κοινής ωφέλειας (sleeved physical PPA) και να χρησιμοποιηθεί η συμφωνημένη ποσότητα ενέργειας.



Εικόνα 1. Δομή Physical PPA (European Investment Bank, 2023).

2.3. Συμβάσεις Αγοροπωλησίας Ενέργειας Χωρίς Φυσική Παράδοση (Financial/Virtual PPAs)

Το Financial/Virtual PPA είναι μια ευρύτερη μορφή σύμβασης αγοροπωλησίας ενέργειας όπου δεν υπάρχει η υποχρέωση της παράδοσης της ενέργειας που συμφωνείται προς αγορά κατά τη διάρκεια του PPA. Αυτό συμβαίνει διότι, το Financial/Virtual PPA είναι στην ουσία μια χρηματοοικονομική συμφωνία μεταξύ του παραγωγού/πωλητή της ενέργειας και του αγοραστή αυτής, χωρίς να έχουν την υποχρέωση να ανήκουν στο ίδιο ηλεκτρικό δίκτυο, με σκοπό την αντιστάθμιση του ρίσκου των ενεργειακών αγορών και την αντιμετώπιση του φαινομένου της έντονης μεταβλητότητας των τιμών της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (US Environmental Protection Agency, 2025).

Πιο συγκεκριμένα, κάνοντας μια συνοπτική παρουσίαση του πως ένα Financial PPA λειτουργεί, ο πωλητής και ο αγοραστής συνάπτουν ένα συμβόλαιο επί της διαφοράς (Contract for difference-CfD) όπου συμφωνούν και προκαθορίζουν μία συγκεκριμένη τιμή αγοράς της ενέργειας καθόλη τη διάρκεια της σύμβασης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.

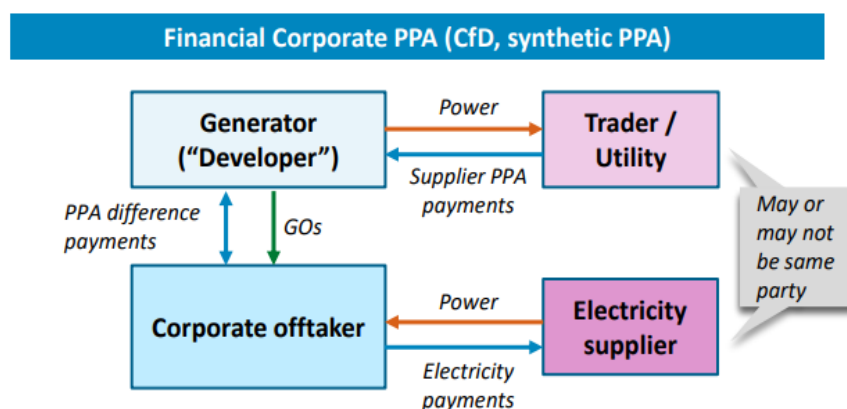
Με βάση αυτή την τιμή και το συμβόλαιο που έχουν συνάψει οι δύο πλευρές, ο πωλητής πουλάει την παραγόμενη ενέργεια στην δικιά του χονδρεμπορική αγορά ενέργειας και αποζημιώνεται, με βάση την τιμή που εκείνη την στιγμή επικρατεί στην δικιά του αγορά επόμενης ημέρας (Day-Ahead Market-DAM).

Αντίστοιχα, ο πελάτης/αγοραστής της ενέργειας, αγοράζει την συμφωνημένη ποσότητα ενέργειας από την δικιά του χονδρεμπορική αγορά με βάση την τιμή της DAM που πωλείται εκείνη την ώρα η ηλεκτρική ενέργεια.

Αφού λοιπόν, ολοκληρωθεί αυτό το πρώτο, βασικό, βήμα της συμφωνίας προχωράνε και οι δύο πλευρές στο δεύτερο εξίσου σημαντικό βήμα το οποίο είναι η αποστολή των εγγυήσεων προέλευσης παραγωγής πράσινης ενέργειας και ο έλεγχος και η αποζημίωση της κάθε πλευράς σε περίπτωση που η

προσυμφωνημένη τιμή ήταν διαφορετική σε μία από τις δύο ή και στις δύο χονδρεμπορικές αγορές (US Environmental Protection Agency, 2025).

Έτσι, στην περίπτωση που ο πωλητής πούλησε την ενέργεια σε τιμή χαμηλότερη από την συμφωνημένη, ο αγοραστής οφείλει να αποζημιώσει τον πωλητή για την διαφορά αυτή μεταξύ συμφωνημένης τιμής και πραγματικής τιμής πώλησης της ενέργειας επί την ποσότητα πώλησης της ενέργειας. Αντίστοιχα, η ίδια διαδικασία ακολουθείται και από την πλευρά του αγοραστή όπου σε περίπτωση που αγόρασε την συμφωνημένη ποσότητα ενέργειας σε τιμή υψηλότερη από την συμφωνημένη μέσω της διμερούς σύμβασης, ο πωλητής οφείλει να τον αποζημιώσει για τη διαφορά αυτή. Η όλη διαδικασία και πάλι, συνήθως υλοποιείται με τη βοήθεια ενός ενδιαμέσου ενδιαφερόμενου μέρους (π.χ. οργανισμός κοινής ωφέλειας) όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 2. (US Environmental Protection Agency, 2025).



Εικόνα 2. Δομή Financial/Virtual PPA (European Investment Bank, 2023).

2.3.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Financial/Virtual PPAs

Τα θετικά αυτής της μορφής PPA είναι καταρχάς, και πάλι το γεγονός ότι μπορούν και οι δύο πλευρές να εξασφαλίσουν προβλεψιμότητα και σταθερότητα σχετικά με τα έσοδα τους ή αντίστοιχα με το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον, άλλα οφέλη των Financial/Virtual PPAs είναι η ευελιξία που δίνεται στα ενδιαφερόμενα μέρη για έρευνα και αγορά/πώληση πράσινης ενέργειας από/σε άλλες αγορές καθώς δεν υπάρχει το «αγκάθι» της φυσικής παράδοσης, η απόκτηση και πάλι των δικαιωμάτων προέλευσης ενέργειας και η ικανότητα αγοράς πολύ μεγάλης ποσότητας ενέργειας για έναν οργανισμό, μέσω μόνο μίας συναλλαγής.

Ενώ, και το γεγονός ότι ο αγοραστής της ενέργειας δεν έχει αντιμετωπίζει κανένα ρίσκο σχετικά με τη λειτουργία του έργου παραγωγής της ενέργειας αλλά και με το αν θα λάβει την συμφωνημένη ποσότητα ενέργειας από αυτό

καθώς δεν εμπλέκεται άμεσα αποτελεί ένα ακόμη πλεονέκτημα των Financial/Virtual PPAs.

Αντίστοιχα, οι προκλήσεις που παρουσιάζονται είναι κυρίως η πολυπλοκότητα που στη διαπραγμάτευση και σύναψη ενός τέτοιου συμβολαίου και η υποχρέωση του πωλητή να αναζητήσει για πελάτες με επενδυτική πιστοληπτική ικανότητα και μεγάλα ηλεκτρικά φορτία.

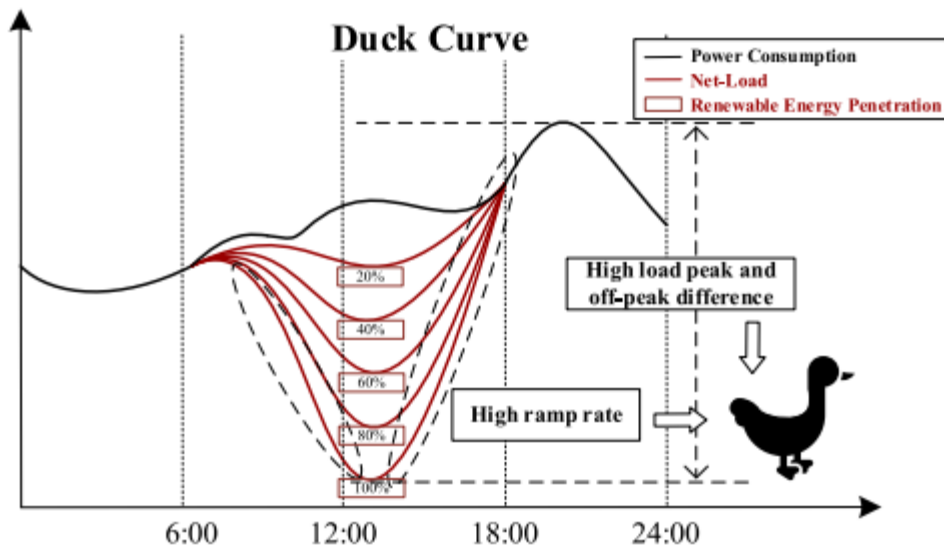
Επίσης, ανάλογα με την συμφωνημένη τιμή και λόγω της μεταβαλότητας των τιμών στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί σε μία ή περισσότερες χρονικές περιόδους, κάποια από τις δύο πλευρές να ζημιωθεί αρκετά οικονομικά λόγω κακής πρόβλεψης ή διαπραγμάτευσης της προκαθορισμένης τιμής αγοράς/πώλησης της ενέργειας κατά την περίοδο επίτευξης της συμφωνίας (US Environmental Protection Agency, 2025).

2.4. PPAs και Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας :Hybrid PPA- Μια νέα, μοντέρνα και ελκυστική μορφή PPA

Μια νέα επιλογή για τους παραγωγούς Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας προκειμένου να γίνουν πιο ανταγωνιστικοί και παράλληλα με βάση τις τιμές και τις ανάγκες της εποχής στον τομέα των ενεργειακών αγορών, να διατηρηθούν ως οικονομικά βιώσιμες επενδυτικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, είναι η τάση λειτουργίας υβριδικών σταθμών των συστημάτων αυτών με Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία.

Τα συστήματα αυτά, μειώνουν την αβεβαιότητα για τους επενδυτές και τους αγοραστές ενέργειας και ενισχύουν την στρατηγική κάθε παραγωγού για άμεση συμμετοχή στις αγορές μέσω της μπαταρίας (P.T. Kyrimlidou et al., 2024).

Σε αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η ελληνική, με υψηλή διείσδυση φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου οι τιμές επηρεάζονται ιδιαίτερα από την μεταβολή της παραγωγής ενέργειας λόγω μεταβλητών όπως ο καιρός και οι ώρες ηλιοφάνειας και αναγκαστικά ακολουθούν το «duck curve» φαινόμενο όπου όπως απεικονίζει και η Εικόνα 3 διαγραμματικά δημιουργεί το χαρακτηριστικό σχήμα της πάπιας κατά τη διάρκεια μίας τυπικής μέρας στην καμπύλη καθαρού φορτίου καθώς υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των χρονικών στιγμών αιχμής της παραγωγής από ΑΠΕ και των χρονικών στιγμών αιχμής της ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος (J. Pei et. al, 2024), η λειτουργία υβριδικών σταθμών ΑΠΕ αποτελεί μια πολύ μοντέρνα και ελκυστική επιλογή (G. Gousis et al., 2025).



Εικόνα 3. Duck Curve (J. Pei et. al, 2024).

Πάνω σε αυτό το πλαίσιο και την τάση για λειτουργία υβριδικών σταθμών των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μέσω συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρία, δημιουργήθηκε μια νέα μορφή διμερούς σύμβασης αγοροπωλησίας ενέργειας (PPA), το υβριδικό/Hybrid PPA.

Μέσω του Hybrid PPA, μπορούν να ενσωματωθούν πολλαπλές τεχνολογίες παραγωγής της προς πώληση ενέργειας όπως αιολικά με φωτοβολταϊκά, αιολικά με σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και έργα παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά που διαθέτουν και σύστημα αποθήκευσης με μπαταρία το οποίο είναι και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και έρευνας (Stanitsas et.al., 2024).

Καθώς τα Hybrid PPAs αποτελούν ειδική υποκατηγορία, η δομή τους και η πολυπλοκότητάς τους εξαρτάται από το αν θα είναι με φυσική ή όχι παράδοση (Physical ή Financial PPA) η συμφωνία για την πώλησης/παράδοση της ενέργειας και λειτουργούν στις αγορές σαν μηχανισμοί αντιστάθμισης κινδύνου, ενίσχυσης της βιωσιμότητας και απόδοσης του κάθε έργου και μειώνουν ακόμα περισσότερο το ρίσκο για τα ενδιαφερόμενα μέρη ενώ δίνουν στον παραγωγό και την δυνατότητα να διαπραγματευτεί καλύτερους χρηματοοικονομικούς όρους (Stanitsas et.al., 2024).

3. Η Τωρινή Κατάσταση στην Αγορά (As-Is) των PPAs με Παραγωγή Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και το Μέλλον (To-Be)

3.1. Αποτύπωση Τωρινής Κατάστασης (As-Is)

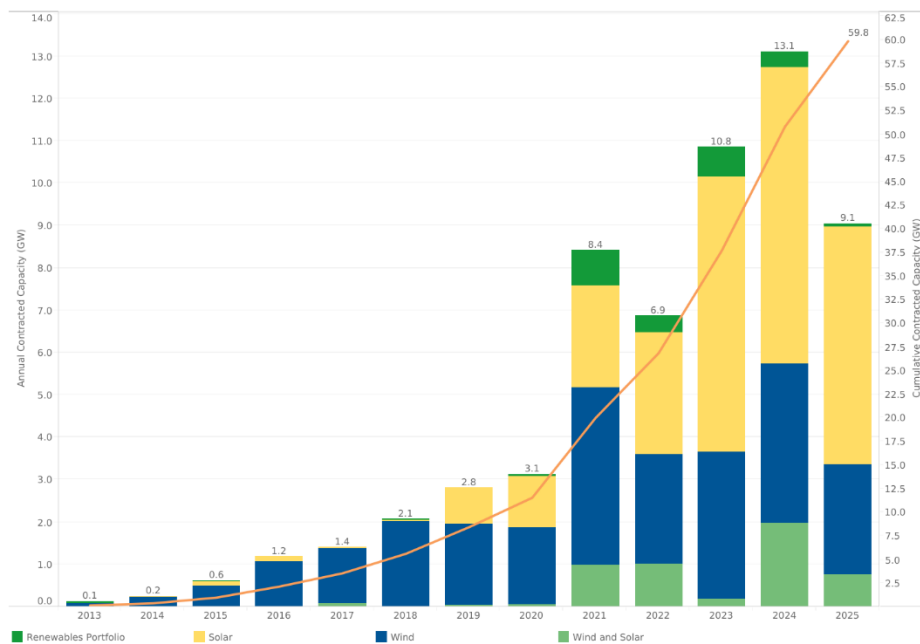
Έχοντας γίνει αναφορά στις βασικές μορφές των συμβάσεων αγοροπωλησίας ενέργειας και το τρόπο που αυτές λειτουργούν μαζί με τα θετικά και τα αρνητικά τους, σε αυτό το κεφάλαιο συνοπτικά πραγματοποιείται ανάλυση της τωρινής κατάστασης στην αγορά των συμβάσεων μορφής PPA με παραγωγή από φωτοβολταϊκά, προκειμένου να γίνει σαφής η υφιστάμενη κατάσταση και να καταγραφούν τα αρνητικά και τα θετικά στην συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Με σκοπό την αξιολόγηση διαφόρων σεναρίων και εναλλακτικών για την βελτίωση της αγοράς και τη βελτιστοποίηση των όρων πώλησης και αγοράς ενέργειας από φωτοβολταϊκά μέσω PPA για πωλητές και αγοραστές (χρονική διάρκεια, τιμή/μονάδα παραγόμενης ενέργειας, καλύτερη εξυπηρέτηση ζήτησης κ.α.).

Ξεκινώντας με την τωρινή κατάσταση στην αγορά των PPAs με παραγωγή από Φωτοβολταϊκά, παρατηρείται μείωση σχετικά με την ζήτηση που υπάρχει για αυτές, ενώ συρρικνώνεται και η χρονική διάρκεια των περισσότερων συμβάσεων που υπογράφονται αυτή την περίοδο (EnergyPress, 2025).

Πιο συγκεκριμένα, η αυξητική τάση εμφάνισης αρνητικών τιμών στην αγορά επόμενης ημέρας (DAM) αποτελεί τον πρωταρχικό λόγο που αυτή τη στιγμή η ζήτηση για μακροχρόνια PPA εκλείπουν στην αγορά και η ζήτηση περιορίζεται σε συμβάσεις βραχυχρόνιες (3-5 έτη).

Όπως αποτυπώνεται και στην Εικόνα 4, η ζήτηση για PPAs με παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά το 2025 περιορίστηκε στα 5.6 GW από τα 7 GW του προηγούμενου έτους (2024) παρουσιάζοντας δηλαδή ετήσια μείωση ζήτησης της τάξεως του 25%. Ενώ, συγκριτικά και με το 2023 όπου η ζήτηση για PPAs με ισχύς από Φωτοβολταϊκά ανήλθε στα 6.5 GW η μείωση στη ζήτηση υπολογίζεται στο 16% (EU Platform for Corporate Renewable Energy Sourcing, 2025).



Εικόνα 4. Απεικόνιση ανάπτυξης της αγοράς των PPAs ανά μορφή ΑΠΕ και έτος.

Αυτό συμβαίνει διότι, η προαναφερθέντα αυξητική τάση σχετικά με τις αρνητικές τιμές αυτόματα ισοδυναμεί με υψηλό ρίσκο για τον αγοραστή ενέργειας ώστε να δεσμευτεί σε συγκεκριμένη τιμή αγοράς για μεγάλη ποσότητα και σε μεγάλη διάρκεια υπογράφοντας ένα PPA.

Καθώς, ο αγοραστής δε μπορεί να υλοποιήσει μακροχρόνια πρόβλεψη σχετικά με την εξέλιξη των τιμών στην αγορά επόμενης ημέρας (DAM) και να αντιληφθεί με βεβαιότητα το πως θα προχωρήσει η συγκεκριμένη αγορά σε βάθος 10-20 ετών.

Συνεπώς, αδυνατεί να διαπραγματευτεί και να συνάψει συμβάσεις μεγάλης διάρκειας με τιμές που θα φαντάζουν ασφαλής, συμφέρουσες και θα συνάδουν με την μελλοντική αναμενόμενη εξέλιξη των αγορών.

Τέλος, γίνεται σαφές, όσον αφορά τα έργα παραγωγής πράσινης ενέργειας από φωτοβολταϊκά ότι οι αγοραστές ενδιαφέρονται μόνο για έργα με ύπαρξη Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία καθώς με βάση τα πρώτα ιστορικά στοιχεία που υπάρχουν στις αγορές αλλά και τις προβλέψεις για το μέλλον, η ύπαρξη μπαταριών στα συστήματα παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά αποτελεί αναγκαία και ικανή στρατηγική αντιστάθμισης του υπάρχοντος κινδύνου που επικρατεί στις αγορές αλλά και μια πιθανή άμεση λύση για να βελτιωθεί η κατάσταση σχετικά με τους όρους υπογραφής συμβάσεων παραγωγής ενέργειας και να αυξηθεί ξανά η ζήτηση στις αγορές των PPAs (EnergyPress, 2025).

3.2. Το Μέλλον στις Αγορές των PPAs με Παραγωγή Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά (To-Be)

Η αποτύπωση και αντίληψη της τωρινής κατάστασης στις αγορές των PPAs, βοηθάει σε μεγάλο βαθμό στην ερμηνεία της υφιστάμενης τάσης που επικρατεί στην αγορά την συγκεκριμένη χρονική περίοδο, στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτής και συνεισφέρει σε μια πρόβλεψη για το πως θα κινηθούν οι αγορές στο βραχυπρόθεσμο μέλλον.

Έχοντας πλέον, όλη αυτή την πληροφορία και την σαφή αποτύπωση του τοπίου των αγορών PPAs, το επόμενο βήμα είναι η απεικόνιση του βραχυπρόθεσμου και μακροχρόνιου μέλλοντος των αγορών, των τάσεων των αγορών αυτών (market trends) και των τεχνολογιών που θα συνεισφέρουν στην βελτίωση της εικόνας των αγορών (emerging technologies).

Όλα τα παραπάνω μπορούν να συνεισφέρουν, αντισταθμίζοντας κινδύνους και οδηγώντας τις αγορές των PPAs με παραγωγή από Φωτοβολταϊκά σε νέα αύξηση της ζήτησης που αποτελεί το τωρινό βασικό πρόβλημα και εντοπίστηκε κατά την αποτύπωση της τωρινής κατάστασης.

Η τάση λειτουργίας υβριδικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά με την ένταξη συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρία φαίνεται πως είναι η πιο πιθανή λύση για την βελτίωση των αγορών και αποτελεί την βασική τεχνολογική επιλογή για τους παραγωγούς προκειμένου να μειωθεί η στοχαστικότητα και να βελτιστοποιηθεί η συμμετοχής τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

Η υψηλού επιπέδου και βαθμού ικανότητα πρόβλεψης της παραγωγής και ο συνδυασμός αυτής με την αποθήκευση μετατρέπει και θα μετατρέψει ακόμα περισσότερο στο μέλλον τα φωτοβολταϊκά συστήματα από μεταβλητές μονάδες παραγωγής σε πλήρως διαχειρίσιμα ενεργειακά περιουσιακά στοιχεία.

Παρέχοντας ικανότητα εγγυημένης και ελεγχόμενης «πράσινης» ενέργειας καθώς με την ενσωμάτωση τεχνολογίας αποθήκευσης εξασφαλίζεται μείωση κινδύνου (αντιστάθμιση λόγω αποθήκευσης), σταθερότητα στο σύστημα και πραγματική αλλαγή στο τρόπο που λειτουργούν τα φωτοβολταϊκά μέσα στις αγορές ενέργειας (G. Gousis et al., 2025).

Επιπλέον, το μεγαλύτερο μερίδιο των επενδυτών σε φωτοβολταϊκά δεν επενδύουν με ίδια κεφάλαια αλλά βασίζονται στην υλοποίηση ενός ελκυστικού πλάνου έργου (Project Plan) το οποίο παρουσιάζουν στις τράπεζες και σε λοιπά δανειοδοτικά σχήματα προκειμένου να λάβουν χρηματοδότηση με ελκυστικούς όρους (π.χ. δανειακό επιτόκιο).

Για να επιτευχθεί αυτό, οι δανειοδότες απαιτούν τουλάχιστον το 70% της παραγωγής ενέργειας να είναι εξασφαλισμένο ότι θα πωληθεί μέσω συμφωνιών μορφής PPA.

Όστε, να υπάρχουν σε μεγάλο βαθμό εγγυημένα έσοδα, μια προϋπόθεση που αν δεν ικανοποιηθεί το έργο πρέπει να κατασκευαστεί με επένδυση ιδίων κεφαλαίων ή να παγώσει μέχρι νεοτέρας, δηλαδή μέχρι να υπογραφούν αυτά τα προαπαιτούμενα PPAs (Energy Press, 2025).

Έτσι λοιπόν, η εκ νέου ακμή των αγορών των PPAs κρίνεται αναγκαία και για χρηματοδοτικούς λόγους κάτι το οποίο εναρμονίζεται πλήρως με την ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας καθώς αυτά κρίνονται απαραίτητα για την εξασφάλιση της τραπεζιμότητας και οικονομικής βιωσιμότητας των έργων παραγωγής ενέργειας με φωτοβολταϊκά μέσω συμφωνιών υπογραφής μακροχρόνιων PPAs.

Η αποθήκευση σαν τεχνολογία ωφελεί πολλαπλά τους παραγωγούς επιτρέποντας τη μετατόπιση μέρους της παραγόμενης ενέργειας, βοηθάει στην μείωση των περικοπών και άρα στην μείωση της τάσης των αρνητικών τιμών που επικρατεί στις αγορές την τωρινή περίοδο, και συνεισφέρει στην συμμετοχή των φωτοβολταϊκών σε επιπλέον τμήματα της αγοράς όπως οι αγορές εξισορρόπησης και εφεδρειών αυξάνοντας περαιτέρω τα έσοδα τους (G. Gousis et al., 2025).

4. Μεθοδολογία

4.1. Μεθοδολογική Προσέγγιση

Λαμβάνοντας υπόψιν λοιπόν, όλα τα παραπάνω δεδομένα σχετικά με:

- τα PPAs και τις μορφές αυτών,
- τη συνεργατικότητα κάποιων συγκεκριμένων μορφών με τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας,
- την αποτύπωση της τωρινής κατάστασης (As-Is) στην αγορά των PPAs με παραγωγή από φωτοβολταϊκά,
- το πως αναμένεται μέσω θεωρητικής τεκμηρίωσης και βιβλιογραφικής επισκόπησης να προχωρήσουν οι αγορές των PPAs στο μέλλον για να αυξηθεί ξανά η ζήτηση στις αγορές των PPAs με παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά (To-Be),
- τις τεχνικές, στρατηγικές αντιστάθμισης ρίσκου όπως τα Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία, που θα συνεισφέρουν στην πιθανή βελτίωση της κατάστασης και στην αύξηση της ζήτησης,

αποφασίστηκε να υλοποιηθεί χρηματοοικονομική ανάλυση, η οποία αφορά συστήματα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, με σκοπό την εξέταση της ενδεχόμενης πώλησης μέρους ή όλης της παραγωγής αυτής μέσω σύναψης PPA.

Η ανάλυση (εσόδων, παραγωγής κλπ.) θα παρουσιάζεται σε ωριαία βάση και βάθος εικοσαετίας, προκειμένου να ερευνηθούν και να αναδειχθούν και σε πρακτικό πλαίσιο πέρα από θεωρητικό οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις αυτές.

Επιπλέον, ερευνάται το πως μπορούν να αποτελέσουν ξανά τα PPAs ελκυστική μακροχρόνια επιλογή πώλησης/αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και να γίνει εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων και προτάσεων για τις μορφές PPA και τους τρόπους με τους οποίους θα επιτευχθεί ο στόχος επαναφοράς των αγορών σε υψηλά επίπεδα ζήτησης.

4.2. Δεδομένα Εισόδου

Για την υλοποίηση της ανάλυσης και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων πραγματοποιήθηκε αναζήτηση, έρευνα για την εύρεση των απαραίτητων επιστημονικά τεκμηριωμένων δεδομένων που κρίθηκαν αναγκαία για την εκπόνηση της εργασίας.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και εφαρμόστηκαν διάφοροι δείκτες για την εκπόνηση της χρηματοοικονομικής ανάλυσης, ενώ υπήρξαν κάποιες, αναγκαίες για την υλοποίησης της ανάλυσης, παραδοχές.

Τέλος, προκειμένου να γίνει η ωριαία ανάλυση σε βάθος είκοσι ετών αντλήθηκαν δεδομένα πραγματικής παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 10 MW όπου ήταν η παραδοχή και συλλέχθηκαν οι ωριαίες αυτές παραγωγές σε βάθος ενός έτους μέσω του PVGIS, (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools), ενός εργαλείου της Ευρωπαϊκής Ένωσης που παρέχει πραγματικά δεδομένα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά για οποιοδήποτε κράτος μέλος της ΕΕ.

4.2.1. Κόστος Κεφαλαίου (CAPEX)- Μεταβλητά Κόστη (OPEX)

Ξεκινώντας με το Κόστος Κεφαλαίου, αναζητήθηκαν και βρέθηκαν τα δεδομένα κόστους για το Φωτοβολταϊκό πάρκο.

Συνεπώς, σύμφωνα με τον IRENA το κόστος εγκατάστασης ανά MW ανέρχεται σε 621.000 € (IRENA, 2024) άρα το συνολικό κόστος εγκατάστασης για το Φωτοβολταϊκό πάρκο ανέρχεται στα 6.210.000 €.

Παράλληλα, το μεταβλητό ετήσιο κόστος (OPEX) ανά 1 MW θεωρήθηκε στις 22.000 € πάλι με βάση επιστημονικό άρθρο (Bicer et.all, 2018) συνεπώς στις 220.000 € συνολικά για το εξεταζόμενο Φωτοβολταϊκό πάρκο.

Επιπλέον, για τα σενάρια στα οποία αξιολογείται η προστιθέμενη αξία της μπαταρίας στο σύστημα, αντλήθηκαν τα αντίστοιχα δεδομένα όπου και με βάση τις αναγκαίες για την ανάλυση παραδοχές που θα παρουσιαστούν παρακάτω παραμετροποιήθηκαν ανάλογα.

Έτσι λοιπόν το συνολικό σταθερό κόστος επένδυσης ανέρχεται στις 125.000 € ανά MWh (EMBER, 2025) όπου με βάση τις παραδοχές για τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας δημιουργεί ένα σταθερό κόστος εγκατάστασης 2.500.000 €. Επιπλέον ,προστίθεται στο σταθερό κόστος της μπαταρίας, το κόστος αντικατάστασης εξοπλισμού στα 10 έτη όπου ανέρχεται στις 70.000 € ανά MWh δηλαδή στο 1.190.000 € συνολικά για κάθε σχετική εναλλακτική επιλογή (Miliarakis et.all, 2025).

Σχετικά με τα μεταβλητά κόστη ανά έτος, αυτά προκύπτουν από έρευνα της LAZARD και υπολογίζονται στις 5900 €/MWh (LAZARD, 2024) δηλαδή στα 100.300 € ανά έτος στη συγκεκριμένη ανάλυση για κάθε εναλλακτική.

Τέλος, τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας για κάθε επιλογή παρουσιάζονται και μέσω του παρακάτω Πίνακα:

Εναλλακτικές	Κόστη για ΦΒ χωρίς Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας	Κόστη για ΦΒ με Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας
Κόστος Επένδυσης	6.210.000 €	10.134.600 €
Κόστος Λειτουργίας	220.000 €	320.300 €

Πίνακας 1. Εκτιμήσεις κόστους επένδυσης και λειτουργίας ανά εναλλακτική επιλογή.

4.2.2. Λοιπές Παραδοχές

Οι λοιπές αναγκαίες παραδοχές για την υλοποίηση της ανάλυσης και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων παρουσιάζονται μέσω του παρακάτω πίνακα:

Χωρητικότητα Μπαταρίας	20 MWh
Βαθμός Απόδοσης Μπαταρίας	90%
Διάρκεια Μπαταρίας	4 ώρες
Τύπος Μπαταρίας	Lithium-Ion
Τύπος PPA	Pay-as-Produced
Πολλαπλασιαστής Εσόδων από πώληση σε άλλες αγορές λόγω μπαταρίας με βάση παραδοχή και αναφορά των αγορών	1,5
Επιτόκιο Προεξόφλησης	5%
Πληθωρισμός	2%
Φόρος Κερδών	22%

Πίνακας 2. Λοιπές Παραδοχές.

4.3. Μεθοδολογία Προσδιορισμού Εσόδων

4.3.1. Ανάπτυξη Μοντέλου Υπολογισμού Εσόδων

Με βάση τη μεθοδολογία, τα δεδομένα και τις παραδοχές που παρουσιάστηκαν, υλοποιήθηκε η τεχνοοικονομική ανάλυση πέντε

διαφορετικών σεναρίων μέσω της ανάπτυξης και χρήσης ενός υπολογιστικού μοντέλου. Τα πέντε εναλλακτικά σενάρια αξιολογήθηκαν για περίοδο 20 ετών με αρχικό έτος το 2027.

Το μοντέλο πραγματοποίησε τον υπολογισμό των ετησίων και συνολικών εσόδων κάθε εξεταζόμενου σεναρίου λαμβάνοντας υπόψη:

1. τη διαστασιολόγηση του Φωτοβολταϊκού Πάρκου και του συστήματος αποθήκευσης
2. την ωριαία καταγραφή/αποτύπωση της παραγόμενης ενέργειας με σκοπό είτε την πώληση αυτής στην επιλεγμένη αγορά, είτε την αποθήκευση της για πώληση σε μεταγενέστερη χρονική στιγμή.

Η Εικόνα 6 απεικονίζει ενδεικτικά για μια πλήρη ημέρα (24ωρών) τον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου για τον υπολογισμό των ωριαίων εσόδων.

2027																
	60	90		10	MW	17,0		20	MWh	Multiplier for Intraday, FC R & Afr	A-Baseline-PV	F-Baseline-PV+BESS	B-Virtual PPA (no BESS)- Pay as produced	Δ-PV+ BESS+ Virtual PPA - Pay as produced	E-Hybrid PPA	DAM 2027
			per kWh		MWh	MWh	90,0%	85,0%	efficiency	1,5			60	60	€/MWh	
1	1	0									0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,00	85,1
2	2	0									0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,00	82,6
3	3	0									0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,00	79,4
4	4	0									0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,00	68,9
5	5	0									0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,00	67,5
6	6	0									0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,00	67,9
7	7	0			1,0						75,5 €	75,5 €	60,0 €	60,0 €	90,00	75,5
8	8	252			2,5						206,3 €	206,3 €	151,2 €	151,2 €	226,79	81,9
9	9	456			4,5						232,5 €	232,5 €	270,2 €	270,2 €	405,29	91,9
10	10	572			5,7						215,1 €	215,1 €	243,9 €	243,9 €	514,94	97,5
11	11	638			6,4						5,1 €	5,1 €	382,9 €	382,9 €	574,34	0,8
12	12	657			6,6	6,6					2,3 €	0,0 €	394,3 €	-2,3 €	589,12	0,4
13	13	549			5,5	5,5					8,1 €	0,0 €	229,1 €	-8,1 €	485,58	1,5
14	14	128			1,3	1,3					2,7 €	0,0 €	77,0 €	-2,7 €	112,71	2,1
15	15	239			2,4	2,4					123,8 €	0,0 €	143,7 €	-123,8 €	91,69	51,7
16	16	4			0,0	0,0		92,8%			3,3 €	0,0 €	2,6 €	-3,3 €	0,56	77,0
17	17	0									0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,00	77,4
18	18	0				6,6					0,0 €	673,4 €	0,0 €	673,4 €	591,46	68,3
19	19	0				5,5					0,0 €	589,5 €	0,0 €	589,5 €	493,68	71,6
20	20	0				1,3					0,0 €	141,3 €	0,0 €	141,3 €	115,45	73,4
21	21	0				2,4					0,0 €	301,6 €	0,0 €	301,6 €	215,50	84,0
22	22	0				0,0					0,0 €	5,2 €	0,0 €	5,2 €	3,90	80,3
23	23	0									0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,00	82,0
24	24	0									0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,00	78,7

Εικόνα 5. Παράδειγμα μίας τυπικής ημέρας για τον υπολογισμό των εσόδων κάθε εναλλακτικού σεναρίου.

Ενώ παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά ο επιλεγμένος τρόπος λειτουργίας κάθε εναλλακτικού σεναρίου:

Σενάριο A: Σενάριο Βάσης 1 (Baseline 1) παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και πώλησης αυτής στην αγοράς επόμενης ημέρας (Day-Ahead Market/DAM).

Στο Σενάριο A, ο παραγωγός δεν δεσμεύεται με κάποιο PPA, ενώ πουλάει την παραγόμενη ενέργεια στις αγορές και αποζημιώνεται με βάση τις τιμές του χρηματιστηρίου ενέργειας και συγκεκριμένα τις αγορές επόμενης ημέρας (Day-Ahead Market/DAM). Επίσης, επιβαρύνεται με 10% μείωση στα ετήσια έσοδα του λόγω των περικοπών που επικρατούν στις αγορές την τωρινή εποχή.

Σενάριο B: Σενάριο παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και πώλησης αυτής μέσω Pay-as-Produced Virtual PPA.

Στο Σενάριο Β, ο παραγωγός δεσμεύεται με διμερή σύμβαση πώλησης ενέργειας και συγκεκριμένα μέσω ενός εικοσαετούς Pay-as-Produced Virtual PPA, όπου προβλέπεται η πώληση όλης της παραγόμενης ενέργειας σε έναν συγκεκριμένο πελάτη. Η αποζημίωση του PPA πραγματοποιείται στη βάση μια προσυμφωνημένης τιμής (60 €/MWh).

Σενάριο Γ: Σενάριο Βάσης 2 (Baseline 2) παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά ,αποθήκευση ενέργειας μέσω συστήματος μπαταρίας και πώλησης αυτής στην αγοράς επόμενης ημέρας (Day-Ahead Market/DAM),ή στις άλλες αγορές λόγω μπαταρίας (Εφεδρείες, εξισορρόπηση).

Στο Σενάριο Γ, ο παραγωγός δεν δεσμεύεται με κάποιο PPA. Στο σενάριο αυτό το μοντέλο λειτουργεί ως εξής:

- Από την πρώτη ώρα παραγωγής ενέργειας μέχρι και τις 11 π.μ. ο παραγωγός πουλάει την ενέργεια κατευθείαν στις αγορές.
- Από τις 12 μ.μ. και έως τις 4μ.μ. ,όπου η ωριαία τιμή αγοράς της ενέργειας είναι αρκετά χαμηλή (ή και μηδενική/αρνητική) λόγω υψηλής προσφοράς και χαμηλής ζήτησης, ο παραγωγός αποθηκεύει την παραγόμενη ενέργεια και την πουλάει τις ώρες αιχμής όπου υπάρχει μεγάλη ανάγκη στις αγορές επόμενης ημέρας (DAM) για την κάλυψη της ζήτησης (7-11 μ.μ.) και η ωριαία τιμή αγοράς ενέργειας στο χρηματιστήριο ενέργειας είναι υψηλότερη (έσοδα μέσω arbitrage). Επισημαίνεται ότι ο Ο παραγωγός λαμβάνει επιπρόσθετα έσοδα από τη συμμετοχή του στις αγορές εξισορρόπησης, και εφεδρειών αναλόγως την ανάγκη.

Σενάριο Δ: Σενάριο παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά, αποθήκευση ενέργειας μέσω συστήματος μπαταρίας και πώλησης αυτής είτε μέσω Pay-as-Produced Virtual PPA είτε στην αγορά επόμενης ημέρας ή στις άλλες αγορές λόγω μπαταρίας (Εφεδρείες, εξισορρόπηση).

Στο Σενάριο Δ, ο παραγωγός δεσμεύεται με Pay-as-Produced (Virtual) PPA διάρκειας 20 ετών, όπου προβλέπεται η πώληση όλης της παραγόμενης ενέργειας σε έναν συγκεκριμένο πελάτη με τιμή αποζημίωση της τάξεως των 60 €/MWh.

Στο Σενάριο Δ, ο παραγωγός:

- Από την πρώτη ώρα παραγωγής ενέργειας μέχρι και τις 11 π.μ. πουλάει την ενέργεια κατευθείαν στον αγοραστή που έχει συνάψει το Virtual PPA.
- Από τις 12 μ.μ. έως και τις 5 ή 6 μ.μ. αναλόγως την περίοδο παραγωγής, όπου η ωριαία τιμή αγοράς της ενέργειας είναι αρκετά χαμηλή (ή και

μηδενική/αρνητική) λόγω υψηλής προσφοράς και χαμηλής ζήτησης, αγοράζει ενέργεια από το σύστημα και την πουλάει στον αγοραστή που έχει συνάψει το Virtual PPA. Ταυτόχρονα, αποθηκεύει την παραγόμενη ενέργεια.

- Στη συνέχεια πουλάει την αποθηκευμένη παραγόμενη ενέργεια τις ώρες αιχμής, όπου υπάρχει μεγάλη ανάγκη στις αγορές επόμενης ημέρας (DAM) για την κάλυψη της ζήτησης (7-11 μ.μ.) και η ωριαία τιμή αγοράς ενέργειας στο χρηματιστήριο ενέργειας είναι υψηλότερη (Έσοδα μέσω arbitrage). Επισημαίνεται ότι ο παραγωγός λαμβάνει επιπρόσθετα έσοδα από τη συμμετοχή του στις αγορές εξισορρόπησης, και εφεδρειών αναλόγως την ανάγκη.

Σενάριο E: Σενάριο παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά, αποθήκευση ενέργειας μέσω συστήματος μπαταρίας και πώλησης αυτής αποκλειστικά μέσω Pay-as-Produced Hybrid (Virtual) PPA.

Στο Σενάριο E, ο παραγωγός δεσμεύεται με Pay-as-Produced Hybrid (Virtual) PPA διάρκειας 20 ετών, έχοντας την υποχρέωση να πουλάει όλη την παραγόμενη ενέργεια σε έναν συγκεκριμένο πελάτη με προσυμφωνημένη τιμή αποζημίωσης.

Στο Σενάριο E, ο παραγωγός:

- Από την πρώτη ώρα παραγωγής ενέργειας μέχρι και την τελευταία πουλάει την ενέργεια στον αγοραστή που έχει συνάψει το Hybrid PPA.
- Κατά τις ώρες αιχμής της παραγωγής ενέργειας (12 μ.μ. – 3 μ.μ.) από τα Φωτοβολταϊκά, αγοράζει ενέργεια από το σύστημα ίση με αυτήν που παράγει προκειμένου να την διαθέσει στον αγοραστή του PPA και να τηρήσει την συμφωνία του Pay-as-Produced Hybrid PPA.
- Παράλληλα, αποθηκεύει τη δική του παραγόμενη ενέργεια (μεταξύ 12 μ.μ. - 3 μ.μ.) με σκοπό τη διάθεση της στον ίδιο αγοραστή τις ώρες αιχμής, όταν και υπάρχει μεγάλη ανάγκη στις αγορές για την κάλυψη της ζήτησης (7 μ.μ. - 11 μ.μ.) και η ωριαία τιμή αγοράς ενέργειας στο χρηματιστήριο ενέργειας είναι υψηλότερη, έναντι μιας προσυμφωνημένης τιμής συνήθως χαμηλότερης από την ωριαία τιμή αγοράς ενέργειας που επικρατεί στις αγορές εκείνη την χρονική στιγμή.

Επιπρόσθετα, ο παραγωγός εγγυάται στον αγοραστή που θέλει όλη την δυνατή παραγόμενη ενέργεια (Pay-as-Produced) ότι λόγω της μπαταρίας που διαθέτει στο σύστημα του θα διασφαλιστεί η τροφοδοσία πράσινης ενέργειας σε σταθερή τιμή.

Αντιλαμβανόμενα και τα 2 μέρη την επιπρόσθετη αξία της συμφωνίας αυτής προσυμφωνούν σε μία τιμή αγοράς της ενέργειας μεγαλύτερη από ότι σε ένα κλασσικό PPA.

Για την συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή αυτή είναι τα 90 €/MWh.

4.3.2. Μεθοδολογία Υπολογισμού Ωριαίων Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας

Προχωρώντας στον υπολογισμό των ωριαίων και ετήσιων εσόδων κρίθηκε αναγκαία η αναζήτηση πηγής πρόβλεψης και υπολογισμού των τιμών αγοράς επόμενης ημέρας (Day-Ahead Market) έως το 2045. Για τον υπολογισμό αυτό λοιπόν χρησιμοποιήθηκε η παρουσίαση της 11^{ης} Σεπτεμβρίου 2025 στη ΔΕΘ από τον καθηγητή Παντελή Μπίσκα του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης κατά την ημερίδα της PAAEY με τίτλο «Συμμετοχή των μονάδων αποθήκευσης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» (Biskas, 2025) και συγκεκριμένα τις ετήσιες προβλέψεις του για τα έσοδα από arbitrage όπως παρουσιάζονται και στην Εικόνα 6.

Με βάση λοιπόν, τις προβλέψεις αυτές για τα έτη 2027 έως 2046 όπου γίνεται πρόβλεψη μέσων τιμών για τα χρονικά διαστήματα 12 μ.μ. έως 3 μ.μ. και 6 μ.μ. έως 9 μ.μ. ανά ημέρα και πρόβλεψη της μέσης τιμής εκκαθάρισης ανά ημέρα αλλά και τα δεδομένα των ωριαίων τιμών για το έτος 2024 στην αγορά επόμενης ημέρας (DAM) από το ελληνικό χρηματιστήριο ενέργειας (HENEX) πραγματοποιήθηκε ωριαία πρόβλεψη τιμών για κάθε διαφορετική χρονική στιγμή (ώρα) μέχρι το 2046.

Πιο συγκεκριμένα, έχοντας σαν δεδομένες τις τιμές του 2024 και προβλέψεις για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και το σύνολο της ημέρας κάθε χρόνου από το 2027 και μετά, μέσω τεχνικής απομείωσης αναζητήθηκαν οι ετήσιοι συντελεστές (αναζήτηση στόχου) οι οποίοι θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με τις τιμές του 2024 ανά ώρα προκειμένου να επιβεβαιώνονται οι προβλέψεις του Κ. Μπίσκα.

Για παράδειγμα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7 (Υπόδειγμα Μεθόδου Υπολογισμού Ετήσιων Ωριαίων Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας) ο υπολογισμός για το 2027 γίνεται ως εξής:

Για το χρονικό διάστημα 12 μ.μ. - 3 μ.μ.:

- αναζητείται ο συντελεστής (D2) όπου αν πολλαπλασιαστεί με τον μέσο όρο των ωριαίων τιμών του μέσα στο χρονικό διάστημα αυτό, θα δώσει την μέση τιμή πρόβλεψης από την ανάλυση του κ. Μπίσκα (π.χ. 39,458 €/MWh για το 2027).
- Έχοντας πλέον την τιμή του συντελεστή (π.χ. 66% για το 2027), πολλαπλασιάζεται η κάθε ωριαία τιμή με αυτόν και υπολογίζεται η κάθε νέα ωριαία τιμή στο χρονικό διάστημα αυτό για το μελλοντικό

έτος (στην εικόνα 2027) και αντίστοιχα για κάθε επόμενο έτος υπολογίζοντας με την ίδια λογική τον ανάλογο συντελεστή.

Για το χρονικό διάστημα 6 μ.μ.- 9 μ.μ.:

- αναζητείται ο συντελεστής (D3) όπου αν πολλαπλασιαστεί με τον μέσο όρο των ωριαίων τιμών του μέσα στο χρονικό διάστημα αυτό, θα δώσει την μέση τιμή πρόβλεψης από την ανάλυση του κ. Μπίσκα (π.χ.113,596 €/MWh για το 2027).
- Έχοντας πλέον την τιμή του συντελεστή (π.χ 73% για το 2027), πολλαπλασιάζεται η κάθε ωριαία τιμή με αυτόν και υπολογίζεται η κάθε νέα ωριαία τιμή στο χρονικό διάστημα αυτό για το μελλοντικό έτος (στην εικόνα 2027) και αντίστοιχα για κάθε επόμενο έτος υπολογίζοντας με την ίδια λογική τον ανάλογο συντελεστή.

Για τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές μιας τυπικής ημέρας:

- αναζητείται ο συντελεστής (D1) όπου αν πολλαπλασιαστεί με τον μέσο όρο των ωριαίων τιμών στο σύνολο του έτους, θα δώσει την μέση τιμή πρόβλεψης από την ανάλυση του κ. Μπίσκα (π.χ.77,785 €/MWh για το 2027).
- Έχοντας πλέον την τιμή του συντελεστή (π.χ. 79% για το 2027), πολλαπλασιάζεται η κάθε ωριαία τιμή που δεν ανήκει στα χρονικά διαστήματα 12 μ.μ. - 3 μ.μ. και 6 μ.μ. -9 μ.μ. με αυτόν και υπολογίζεται η κάθε νέα ωριαία τιμή για το μελλοντικό έτος (στην εικόνα 2027) και αντίστοιχα για κάθε επόμενο έτος υπολογίζοντας με την ίδια λογική τον ανάλογο συντελεστή.

Προσδοκία για έσοδα από arbitrage

Έτος	Τιμή εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας [€/MWh]	Μέση τιμή εκκαθάρισης ωρών 12-15 [€/MWh]	Μέση τιμή εκκαθάρισης ωρών 18-21 [€/MWh]	Διαφορά μέσων τιμών [€/MWh]
08/2024 - 07/2025	111,972	61,556	179,975	118,419
2027	77,785	39,458	113,596	74,138
2028	85,718	41,997	123,739	81,742
2029	91,848	41,979	130,046	88,067
2030	93,276	42,295	129,772	87,477
2031	81,938	35,149	114,354	79,205
2032	82,400	34,203	116,042	81,839
2033	81,726	32,865	114,615	81,750
2034	81,074	35,237	112,397	77,160
2035	80,659	38,711	115,000	76,289
2036	81,216	38,780	116,376	77,596
2037	81,222	37,378	115,627	78,249
2038	81,087	39,980	115,090	75,110
2039	80,888	39,851	115,176	75,325
2040	81,664	40,213	115,994	75,781
2041	81,034	37,379	114,092	76,713
2042	81,431	40,945	115,274	74,329
2043	81,295	40,409	114,788	74,379
2044	81,548	40,218	116,087	75,869
2045	81,036	37,926	114,116	76,190
2046	81,048	37,946	114,139	76,193

Εικόνα 6. Εκτιμώμενα έσοδα από Arbitrage (πηγή Biskas, 2025).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
365																							
370																							
371																							
372																							
373																							
374																							
375																							
376																							
377																							
378																							
379																							
380																							
381																							
382																							
383																							
384																							
385																							
386																							
387																							
388																							
389																							
390																							
391																							
392																							
393																							
394																							
395																							
396																							
397																							
398																							
399																							

Εικόνα 7. Υπόδειγμα Μεθόδου Υπολογισμού Ετήσιων Ωριαίων Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας.

5. Ανάλυση και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

5.1. Ανάλυση Εσόδων

Υλοποιώντας λοιπόν την 20ετή ωριαία ανάλυση στα πέντε αυτά εναλλακτικά σενάρια και λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις προαναφερόμενες παραμέτρους και πηγές άντλησης δεδομένων υπολογίσαμε ,καταρχάς, τα έσοδα σε βάθος εικοσαετίας για αυτές τις πέντε εναλλακτικές επιλογές προκειμένου να εξάγουμε τα πρώτα χρήσιμα συμπεράσματα.

Έτσι λοιπόν, όπως απεικονίζεται και στον παρακάτω πίνακα υψηλότερα έσοδα, με πολύ μικρή διαφορά από την δεύτερη θέση, έχει το **Σενάριο Γ**, δηλαδή το Σενάριο βάσης 2 με έσοδα 33,5 εκατ. €, ενώ δεύτερο πιο ελκυστικό σενάριο με βάση τα έσοδα και μόνο εμφανίζεται το **Σενάριο Ε** με έσοδα 32,1 εκατ. €, στην τρίτη θέση το **Σενάριο Δ** με 24,7 εκατ. €, ενώ στην τέταρτη και πέμπτη θέση αντίστοιχα έρχονται τα δύο σενάρια που δεν περιλαμβάνουν μπαταρία στο σύστημα, δηλαδή τα **Σενάρια Β και Α** με έσοδα 18 εκατ. € και 16 εκατ. € αντίστοιχα το καθένα.

Σενάριο	Έσοδα
A	16.342.635,73 €
B	18.438.677,40 €
Γ	33.487.920,80 €
Δ	24.790.391,22 €
E	32.126.232,41 €

Πίνακας 3. Συνολικά Έσοδα Ανά Σενάριο.

Με βάση λοιπόν τον υπολογισμό των εσόδων, και προτού προχωρήσει η ανάλυση στον υπολογισμό άλλων χρηματοοικονομικών δεικτών για την περαιτέρω αξιολόγηση του κάθε επενδυτικού σεναρίου, παρατηρείται ήδη ότι τα Σενάρια με Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας φέρνουν μεγαλύτερα έσοδα στον παραγωγό σε σχέση με τα Σενάρια που δεν περιλαμβάνουν Σύστημα Αποθήκευσης.

Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της ευκαμψίας του συστήματος χάρη στο Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας. Το σύστημα αποθήκευσης, δίνει στον παραγωγό επιπλέον επιλογές για την πώληση της παραγόμενης ενέργειας προκειμένου να μεγιστοποιήσει τα έσοδα του.

Με βάση όλα τα παραπάνω, εξάγονται πολύ χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την ελκυστικότητα της κάθε εναλλακτικής επιλογής και αναδεικνύονται τα σενάρια εκείνα που μπορούν να συμβάλλουν στην επίλυση του προβλήματος και να επαναφέρουν την υψηλή ζήτηση για PPA με παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά.

Πιο συγκεκριμένα, ξεκινώντας από την σύγκριση του **Σεναρίου Α** με το **Σενάριο Β** όπου και στα δύο δεν υπάρχει η προσθήκη Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας στο σύστημα βλέπουμε πως το Α παρουσιάζει μη ελκυστικό IRR με 5% σαφώς επηρεασμένο από περικοπές και τις χαμηλές τιμές ενέργειας που επικρατούν κατά τις ώρες παραγωγικής αιχμής των φωτοβολταϊκών.

Στο Β, λόγω της συμφωνίας πώλησης ενέργειας μέσω του PPA, το IRR βελτιώνεται (αύξηση στο 7%) κυρίως λόγω του ότι ο παραγωγός δεν έχει να αντιμετωπίσει και την απώλεια εσόδων λόγω των περικοπών και έχει μια συγκεκριμένη τιμή πώλησης καθόλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, το πρόβλημα/ζήτημα στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα χωρίς μπαταρία είναι πως λόγω της περιορισμένης σε χρονική διάρκεια ανά μέρα παραγωγής ενέργειας, των χαμηλών τιμών που επικρατούν τις περισσότερες από αυτές τις ώρες στις αγορές, και το γεγονός ότι μεγάλη ανάγκη για ενέργεια από το σύστημα εντοπίζεται σε ώρες που δεν υπάρχει καθόλου ή αρκετή παραγωγή από Φωτοβολταϊκά, οι αγοραστές στρέφονται σε άλλες λύσεις και δεν ενδιαφέρονται για σύναψη PPA (Σενάριο Β) με παραγωγούς ενέργειας από Φωτοβολταϊκά χωρίς Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας.

Εδώ λοιπόν, με βάση την παραπάνω αξιολόγηση των πρώτων σεναρίων και την τάση της αγοράς, συνεχίζεται η αξιολόγηση με βάση τα χρηματοοικονομικά αποτελέσματα/ μεγέθη των **Σεναρίων Γ, Δ και Ε** όπου υπάρχει Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία στο σύστημα Παραγωγής Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και αναζητούνται μέσω σύγκρισης οι πιο ελκυστικές επιλογές για τους παραγωγούς εν συναρτήσει και των αναγκών των αγοραστών της ηλεκτρικής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά.

Πιο Συγκεκριμένα, το **Σενάριο Γ** (Σενάριο Βάσης 2) όπου ακόμα δεν γίνεται αξιολόγηση πώλησης της ενέργειας, όλης ή μέρους αυτής μέσω PPA, παρουσιάζει έναν Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης 9,4% και Συνολική Καθαρή Παρούσα Αξία 3,9 εκατ. €, αποτελέσματα αρκετά ελκυστικά.

Προχωρώντας στα **Σενάρια Δ και Ε** όπου αποτελούν και τα κυρία Σενάρια που χρήζουν ανάλυσης και αξιολόγησης προκειμένου να ερευνηθούν και να προταθούν πιθανές λύσεις στο πρόβλημα των αγορών PPA αυτή την περίοδο, βλέπουμε ότι το **Σενάριο Δ** έχει Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης 4,6% και Συνολική Καθαρή Παρούσα Αξία -311 χιλ. € ενώ το **Σενάριο Ε** παρουσιάζει

Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης 8,5% και Συνολική Καθαρή Παρούσα Αξία 3,2 εκατ. €.

Συνεπώς, το **Σενάριο Ε** αποτελεί την χρηματοοικονομικά αρκετά ελκυστική επιλογή για τον Παραγωγό Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά με Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία, ενώ παράλληλα δίνει και παραπάνω οφέλη στον αγοραστή της ενέργειας τα οποία θα αναφερθούν πιο αναλυτικά στο Κεφάλαιο 6.

5.3. Ανάλυση Ευαισθησίας

Προχωρώντας με την ανάλυση και την αξιολόγηση όλων των Σεναρίων προκειμένου να γίνει διατύπωση τεκμηριωμένων συμπερασμάτων και προτάσεων για την πιθανή επίλυση του προβλήματος που υπάρχει στην αγορά των PPA με παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά, υλοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας στους πιο κρίσιμους παράγοντες των σεναρίων. Αποσκοπώντας, στη περαιτέρω σύγκριση των σεναρίων και στην αποκάλυψη πιθανών αδυναμιών ή δυνατών σημείων κάθε εναλλακτικού σεναρίου.

Η ανάλυση ευαισθησίας θα αποδείξει κυρίως το πόσο ανθεκτικό και πιθανώς πιο ελκυστικό είναι κάθε σενάριο στις διάφορες μεταβολές των κρίσιμων παραγόντων αλλά και πως η πιθανή μεταβολή αυτών των παραγόντων μπορεί να αλλάξει την σειρά ελκυστικότητας των Σεναρίων.

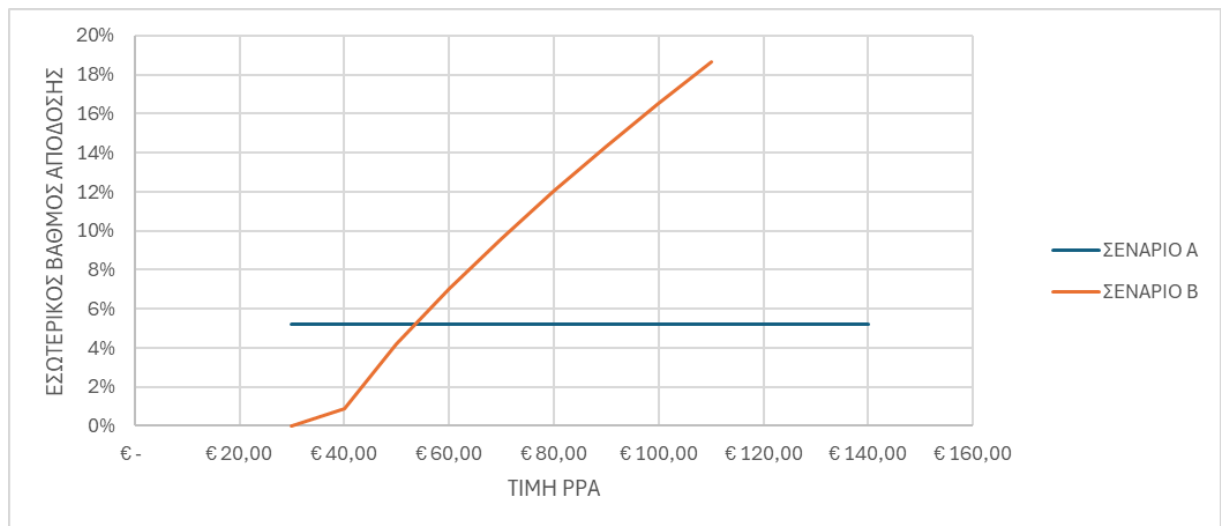
5.3.1. Ανάλυση Ευαισθησίας στην Τιμή Πώλησης της Ενέργειας μέσω PPA

Πιο συγκεκριμένα, η υλοποίηση της Ανάλυσης Ευαισθησίας δεν θα μπορούσε να ξεκινάει από κάποιον άλλο πιο κρίσιμο παράγοντα από την τιμή πώλησης της ενέργειας μέσω Διμερούς Σύμβασης μορφής PPA.

Έτσι, οι δύο πρώτες αναλύσεις ευαισθησίας που έγιναν αφορούσαν τη σύγκριση του Σεναρίου Α (Σενάριο βάσης 1) με το Σενάριο Β και αντίστοιχα του Σεναρίου Γ (Σενάριο βάσης 2) με τα Σενάρια Δ και Ε για το πως οι πιθανές μεταβολές της αρχικής τιμής πώλησης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας που είχαμε θεωρήσει σαν τιμή εισόδου για κάθε διαφορετικό PPA Σενάριο επηρεάζουν τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης κάθε Σεναρίου (IRR). Προκειμένου, να γίνει έλεγχος σχετικά με τις τιμές πώλησης για κάθε Σενάριο και να αποτυπωθεί το πότε το καθένα είναι ελκυστικό για τον Παραγωγό ώστε να δημιουργηθούν ολοκληρωμένα και ασφαλή συμπεράσματα και προτάσεις.

Σχετικά με τα Σενάρια Α και Β τα οποία παρότι έχουν συμπληρωματικό ρόλο στην ανάλυση, βοηθούν στο να αναδειχθεί η προστιθέμενη αξία της μπαταρίας σε ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας, παρατηρείτε ότι με βάση και το Διάγραμμα 1:

- Στο Σενάριο A ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης δεν μεταβάλλεται (5%), καθώς δεν γίνεται πώληση ενέργειας μέσω PPA και συνεπώς δεν αυξομειώνεται ο κρίσιμος παράγοντας.
- Στο Σενάριο B, γίνεται αντιληπτό ότι, αρχίζει και αποτελεί μια πιο ελκυστική επιλογή για διμερείς συμφωνίες αγοροπωλησίας ενέργειας για τιμές μεγαλύτερες, ίσες των 60 €/MWh.



Διάγραμμα 1. Ανάλυση Ευαισθησίας για Σενάρια A, B σχετικά με την μεταβολή της τιμής του PPA.

Με το ίδιο σκεπτικό, υλοποιήθηκε και Ανάλυση Ευαισθησίας για τα Σενάρια Γ (Σενάριο Βάσης 2), Δ και Ε, τα οποία έχουν σαν κοινό στοιχείο την ύπαρξη Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία.

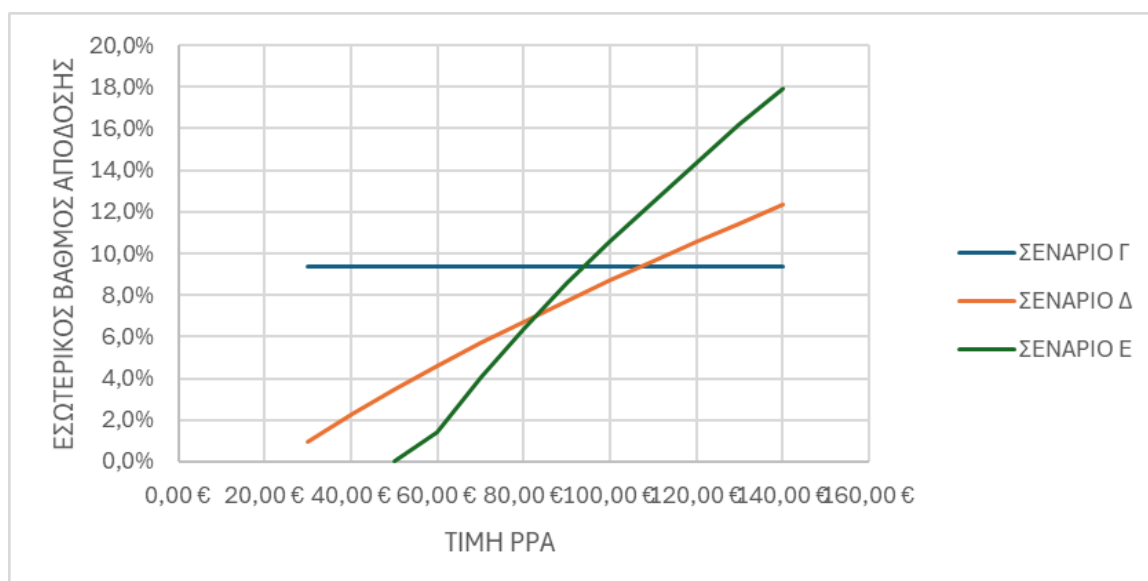
Η ανάλυση ευαισθησίας στα Σενάρια αυτά βοηθάει να αποσαφηνιστεί το πότε και για ποιες τιμές πώλησης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας καθένα από αυτά αποτελεί ελκυστική επιλογή για τον επενδυτή παραγωγό ώστε να εξετάσει την εναλλακτική πώλησης της ενέργειας, όλης ή μέρους αυτής μέσω μακροχρόνιου PPA έναντι της πώλησης αυτής μόνο στις αγορές επόμενης ημέρας, εφεδρειών και εξισορρόπησης.

Έτσι λοιπόν, όπως απεικονίζεται και στο Διάγραμμα 2, παρατηρούμε ότι :

- Στο Σενάριο Γ, υπάρχει ένας σταθερός εσωτερικός βαθμός απόδοσης 9,4% καθώς δεν επηρεάζεται από τον κρίσιμο παράγοντα της τιμής που μεταβάλλεται.
- Προχωρώντας στο Σενάριο Δ, η πώληση μέρους της παραγόμενης ενέργειας μέσω Virtual PPA και της υπολειπόμενης στις αγορές επόμενης μέρας (Day-Ahead Market), εφεδρειών και εξισορρόπησης

αποτελεί πιο ελκυστική επιλογή συγκριτικά με το Σενάριο Γ για τιμές πώλησης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας άνω των 110 €/MWh. Όμως, η τιμή αυτή είναι αρκετά υψηλή με βάση τα τωρινά δεδομένα στις αγορές και σίγουρα όχι ελκυστική για να συμφωνήσει κάποιος αγοραστής.

- Κλείνοντας με το Σενάριο Ε και με βάση τα ευρήματα στο Διάγραμμα 2 βλέπουμε ότι, το σημείο τομής του Ε με το Σενάριο Γ, βρίσκεται μεταξύ των 90 €/MWh και 100 €/MWh. Έτσι, παρατηρείται ότι, η αρχική τιμή που δόθηκε στο Σενάριο Ε κατά την ωριαία εικοσαετή ανάλυση μας, βρίσκεται πολύ κοντά στο σημείο τομής των δύο σεναρίων καθιστώντας το Σενάριο Ε, μια πιο ελκυστική επιλογή για τιμές πώλησης άνω των 100 €/MWh. Αυτή η τιμή (100 €/MWh) αλλά ακόμα και λίγο υψηλότερες αποτελούν λογικές τιμές για το αυτό που προσφέρει ο παραγωγός στον αγοραστή. Καθώς, όπως έχει ήδη αναφερθεί, το Σενάριο Ε είναι ιδιαίτερα μοντέρνο, ελκυστικό και καλύπτει πολλές από τις ανάγκες του μέσου αγοραστή ενέργειας (μη οικιακού) την τωρινή εποχή, κάτι το οποίο θα αναλυθεί και εξηγηθεί πλήρως και στο κεφάλαιο 6.



Διάγραμμα 2. Ανάλυση Ευαισθησίας για Σενάρια Γ, Δ και Ε σχετικά με την μεταβολή της τιμής του PPA.

5.3.2. Ανάλυση Ευαισθησίας στο Σταθερό Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία.

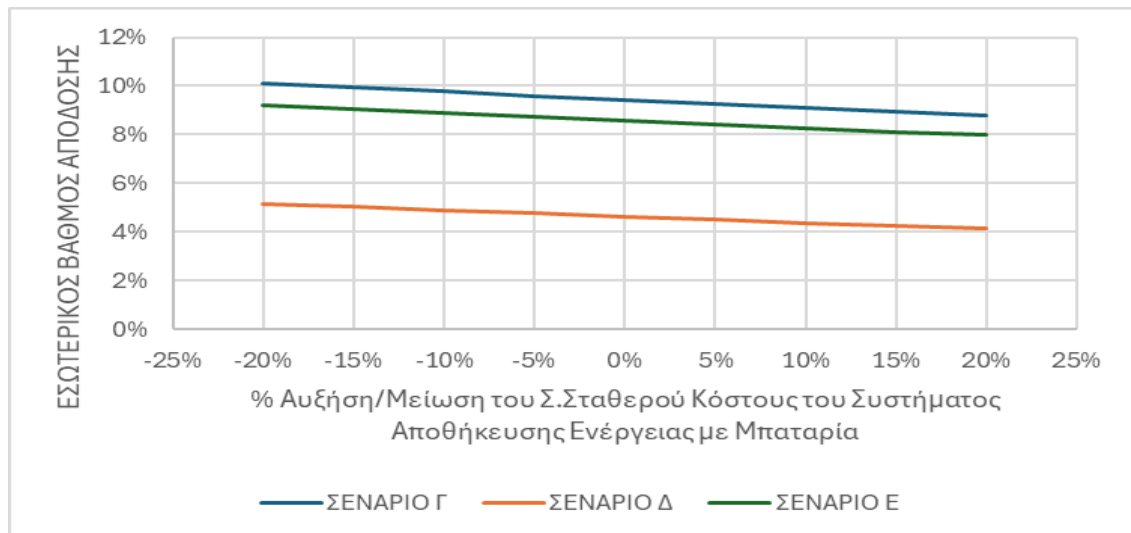
Στη συνέχεια, εστιάζοντας στα πιο σημαντικά για την ανάλυση μας σενάρια, δηλαδή αυτά που διαθέτουν μπαταρία στο σύστημα, υλοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας σε έναν δεύτερο κρίσιμο παράγοντα της ανάλυσης μας που είναι

το Σταθερό Κόστος Εγκατάστασης (Capex) του Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία.

Ο έλεγχος της ανθεκτικότητας των σεναρίων αυτών σε πιθανές αυξήσεις του κόστους των μπαταριών και η πρόβλεψη καλύτερης απόδοσης για κάθε Σενάριο σε περίπτωση μείωσης του κόστους των μπαταριών λόγω προόδου της καμπύλης εκμάθησης της τεχνολογίας, είναι μείζονος σημασίας για την εξαγωγή χρησιμων συμπερασμάτων και υλοποίηση προτάσεων για το μέλλον των αγορών των PPA στα φωτοβολταϊκά.

Έτσι λοιπόν υλοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας για μείωση ή αύξηση του Κόστους Επένδυσης μέχρι και 20% και με βάση και το Διάγραμμα 3, βλέπουμε ότι :

- ✓ Σε πιθανές μειώσεις του κόστους εγκατάστασης των μπαταριών ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης κάθε Σεναρίου αυτόματα αυξάνεται και παρατηρούμε πως παρότι πάντα το Σενάριο Γ παραμένει πρώτο έχοντας την πιο υψηλή απόδοση (δεν περιλαμβάνει πώληση ενέργειας μέσω PPA), η καμπύλη του Σεναρίου Ε ακολουθεί αυτή του Σεναρίου Γ και αυξάνει εξίσου την απόδοση του φτάνοντας ακόμα και στο 9,2% έναντι του 10,1% του Σεναρίου Γ. Αντίστοιχα, το Σενάριο Δ παρουσιάζει αύξηση του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης σε πιθανή μείωση του Κόστους Εγκατάστασης όμως η καμπύλη του δεν ξεπερνάει ούτε πλησιάζει αυτή του Σεναρίου Ε καθώς η απόδοση του ακόμα και σε 20% μείωση του Κόστους Εγκατάστασης δεν ξεπερνάει το 5,2%.
- ✓ Αντίστοιχη είναι και η εικόνα σε πιθανές αυξήσεις του κόστους εγκατάστασης μπαταριών μέχρι και 20%, όπου το Σενάριο Ε παρότι όπως και τα Γ, Δ παρουσιάζουν πιο χαμηλούς Εσωτερικούς Βαθμούς Απόδοσης εμφανίζει τιμές από 8,4% έως και 8% στις αντίστοιχες αυξήσεις του κόστους εγκατάστασης παρουσιάζοντας ανθεκτικότητα σε πιθανές αρνητικές μεταβολές στις αγορές μπαταριών. Ενώ, όπως φαίνεται και διαγραμματικά η καμπύλη του Σεναρίου Ε σε όλες τις πιθανές αρνητικές διακυμάνσεις/αλλαγές του κόστους εγκατάστασης των μπαταριών μέχρι και 20 % ακολουθεί κοντινή και παρόμοια πορεία με το Σενάριο Γ το οποίο στις αντίστοιχες αρνητικές μεταβολές του Κόστους Εγκατάστασης μπαταριών εμφανίζει εσωτερικό βαθμό απόδοσης από 9,3% έως 8,8%. Σχετικά με το Σενάριο Δ, φαίνεται και από την πορεία της καμπύλης του ότι και στις αρνητικές μεταβολές παρουσιάζει χαμηλότερες αποδόσεις και δεν μπορεί να ανταγωνιστεί το Σενάριο Ε.



Διάγραμμα 3. Ανάλυση Ευαισθησίας για το Συνολικό Σταθερό Κόστος του Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

6.1. Συμπεράσματα

Η εκπόνηση της ανάλυσης που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια δύναται να οδηγήσει στη διαμόρφωση συγκεκριμένων προτάσεων για την απρόσκοπτη προώθηση των PPAs.

Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώνεται ότι τα Σενάρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά που δεν περιλαμβάνουν Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία παρότι παρουσιάζουν ελκυστικές αποδόσεις για τους επενδυτές δεν αποτελούν ελκυστικές επιλογές για τους αγοραστές πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας.

Διότι, οι αγοραστές δεν επιθυμούν να συνάψουν πολυετή PPA με παραγωγούς φωτοβολταϊκής ενέργειας, φοβούμενοι κυρίως να δεσμευτούν σε συγκεκριμένες τιμές και όρους σε ένα περιβάλλον αυξημένης αβεβαιότητας.

Η αβεβαιότητα αυτή εντείνεται λόγω της εμφάνισης «αρνητικών τιμών» και από συνθήκες χαμηλής ζήτησης και υπερπροσφοράς κατά τις ώρες αιχμής παραγωγής των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Κατά συνέπεια, η απόκλιση μεταξύ της καμπύλης προσφοράς και ζήτησης φορτίου, που παρουσιάστηκε και νωρίτερα (Εικόνα 3) αποτελεί άλλον έναν ανασταλτικό παράγοντα που μειώνει το ενδιαφέρον των αγοραστών για μακροχρόνια PPAs με παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

Σε σαφή αντίθεση με τα ανωτέρω σενάρια, με βάση την βιβλιογραφική επισκόπηση που εκπονήθηκε αλλά και το τεχνοοικονομικό μοντέλο ανάλυσης που αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση κάθε πιθανού σεναρίου, φαίνεται πως τα σενάρια που περιλαμβάνουν Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρία, εκμεταλλευόμενα την προστιθέμενη αξία που δίνει στο σύστημα η μπαταρία μέσω της ικανότητας μετατόπισης της παραγόμενης ενέργειας σε ώρες μεγαλύτερης αιχμής μπορούν να δώσουν νέες επιλογές στους παραγωγούς.

Με το τρόπο αυτό, οι παραγωγοί μπορούν να επιλέξουν το μοντέλο λειτουργίας που επιθυμούν προκειμένου να συμβάλλουν στην αύξηση της ζήτησης για μακροχρόνια PPAs και/ ή να αυξήσουν τα έσοδα τους.

Έτσι λοιπόν, εστιάζοντας στα σενάρια Δ και Ε, λαμβάνοντας υπόψη μεταξύ άλλων τον τρόπο λειτουργίας, τις ανάγκες της αγοράς, την πρόβλεψη σχετικά με τα έσοδα τους σε βάθος είκοσι (20) ετών, τις χρηματοοικονομικές αποδόσεις και τη διακύμανση των αποδόσεων λόγω των πιο κρίσιμων παραμέτρων, συμπεραίνουμε τα ακόλουθα:

Σενάριο Δ:

Το Σενάριο Δ, το οποίο αφορά σενάριο πώλησης μέρους της παραγόμενης ενέργειας μέσω Pay-As-Produced Virtual PPA και εκμετάλλευσης του συστήματος αποθήκευσης, αποτελεί μια εναλλακτική επιλογή με οριακά ικανοποιητικές χρηματοοικονομικές αποδόσεις.

- Προσφέρει μεγάλη ευελιξία στον παραγωγό, καθώς μπορεί να έχει πολλές διαφορετικές πηγές εσόδων και να μην εξαρτάται σε απόλυτο βαθμό από τις διακυμάνσεις των χονδρεμπορικών αγορών είτε από έναν συγκεκριμένο αγοραστή.
- Δεν προβλέπει μετατόπιση του παραγόμενου φορτίου τις ώρες αιχμής για την κάλυψη προφίλ του αγοραστή, αλλά μόνο για τη δημιουργία μίας επιπλέον πηγής εσόδων (arbitrage) από την πώληση της ενέργειας στην αγορά επόμενης ημέρας.
- Για ελκυστικές χρηματοοικονομικές αποδόσεις η τιμή πώλησης ανά MWh πρέπει να γίνεται σε τιμές υψηλές, εκτός των τωρινών δεδομένων της αγοράς.
- Δεν αντιμετωπίζει το βασικό πρόβλημα που προκύπτει για τους πιθανούς αγοραστές, καθώς δεν εκμεταλλεύεται το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας προς όφελος τους και συνεπώς προς όφελος των αγορών των PPAs.
- Συνεπώς, δεν αναμένεται να συνεισφέρει στην αύξηση της ζήτησης για σύναψη νέων PPAs με παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά.

Σενάριο E:

- Το Σενάριο E, όπου αφορά Σενάριο παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά, αποθήκευση ενέργειας μέσω συστήματος μπαταρίας και πώλησης αυτής αποκλειστικά μέσω ενός Pay-as-Produced Hybrid (Virtual) PPA, παρουσιάζει πιο ελκυστικές χρηματοοικονομικές αποδόσεις και υψηλότερα έσοδα σε σχέση με το Σενάριο Δ.
- Τα χρηματοοικονομικά αποτελέσματα του Σεναρίου E βρίσκονται πολύ κοντά στο Σενάριο Γ (Σενάριο Βάσης 2) όπου κατά τη διάρκεια της ανάλυσης μας αναδείχθηκε ως ένα αρκετά ελκυστικό σενάριο για τον παραγωγό, αγνοώντας το πρόβλημα της ζήτησης στις αγορές των PPAs.
- Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ Σεναρίου Δ και Σεναρίου E εντοπίζεται στην προτεινόμενη τιμή πώλησης της ενέργειας μέσω PPA καθώς στο Σενάριο E είναι 50% πιο αυξημένη σε σχέση με το Σενάριο Δ (60 €/MWh στο Δ, 90 €/MWh στο E) κάτι το οποίο όμως είναι απόλυτα πραγματικό και λογικό. Καθώς, σε αντίθεση με το Σενάριο Δ εδώ ο παραγωγός εκμεταλλεύεται το σύστημα αποθήκευσης προς όφελος του αγοραστή μετατοπίζοντας το παραγόμενο φορτίο τις ώρες αιχμής προκειμένου να καλύψει σε μεγαλύτερο βαθμό το προφίλ κατανάλωσης του. Συνεπώς, προσφέροντας υψηλότερης ποιότητας υπηρεσίες στον αγοραστή χρεώνει και με υψηλότερη τιμή κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας.

- Το Σενάριο E, με το τρόπο λειτουργίας του, συνεισφέρει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της ζήτησης στις αγορές των PPAs με παραγωγή από φωτοβολταϊκά και δίνει άμεση λύση.

Συνεπώς, στο Σενάριο E το μοντέλο λειτουργίας του παραγωγού και προσφοράς ενέργειας στον αγοραστή εγγυάται ικανότητα κάλυψης των ενεργειακών του αναγκών του σε μεγαλύτερο βαθμό και για μεγαλύτερο μέρος της ημέρας και επιπλέον εγγυήσεις προέλευσης πράσινης ενέργειας.

Αυτό επιτυγχάνεται, μέσω προσφοράς όλης της παραγόμενης ενέργειας αλλά και εκμετάλλευσης της τεχνολογίας της αποθήκευσης, προκειμένου να καλύψει ενεργειακά τον αγοραστή κατά τις κλασσικές ώρες παραγωγής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού αλλά και κατά τις ώρες αιχμής μέσω της μετατόπισης μέρους της παραγόμενης ενέργειας στις ώρες αυτές.

6.2. Προτάσεις

Έχοντας πλέον την πλήρη εικόνα της αγοράς και τον εναλλακτικών σεναρίων μέσω της ανάλυσης και της εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων οδηγούμαστε στο γενικό συμπέρασμα/ πρόταση ότι υπάρχει μόνο ένα πλάνο το οποίο πρέπει να ακολουθηθεί και είναι το εξής:

1. Η κατασκευή μόνο υβριδικών νέων έργων δηλαδή έργων με την ύπαρξη φωτοβολταϊκού συστήματος και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρία.
2. Η μετατροπή των υφιστάμενων φωτοβολταϊκών πάρκων σε υβριδικά με την εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.
3. Η σύναψη, επίτευξη συμφωνιών της μορφής που προτείνεται στο Σενάριο E, με τους προτεινόμενους όρους τιμολόγησης και λειτουργίας που παρουσιάστηκαν.

Ο συνδυασμός των βημάτων 1,3 ή 2,3 θα οδηγήσει σε αντιμετώπιση του προβλήματος της ζήτησης στις αγορές PPAs με παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά και θα οδηγήσει τους παραγωγούς σε :

1. Υψηλά έσοδα.
2. Υψηλές χρηματοοικονομικές αποδόσεις.
3. Εύκολη και ευνοϊκή χρηματοδότηση από τράπεζες και επενδυτές.

Συνεπώς, το προτεινόμενο πλάνο αποτελεί μια αμοιβαία επωφελή κατάσταση για παραγωγούς και αγοραστές. Η προτεινόμενη δομή δύναται να προσφέρει ουσιαστική λύση στο πρόβλημα της ζήτησης που αντιμετωπίζουν οι αγορές των PPAs με παραγωγή από Φωτοβολταϊκά, οδηγώντας τις σε τροχιά ανάπτυξης και αναμενόμενη σταδιακή επάνοδο στα προηγούμενα υψηλά επίπεδα δραστηριότητας.

Μια τόσο θετική εξέλιξη, πέρα από την προσέλκυση επενδυτικών κεφαλαίων και την αύξηση των πιθανών ενδιαφερόμενων για σύναψη μακροχρόνιων PPAs με παραγωγή ενέργειας από Φωτοβολταϊκά, θα συμβάλει ισχυρά και στην επιτάχυνση της μετάβασης προς την επιθυμητή κλιματική ουδετερότητα, ισχυροποιώντας ακόμα περισσότερο την θέση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bicer et.all, 2018. s.l.: s.n.

Biskas, 2025. *Συμμετοχή των μονάδων αποθήκευσης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας*, s.l.: s.n.

Cevik, 2022. *Chasing the Sun and Catching the Wind :Energy Transition and Electricity Prices in Europe*, Europe: s.n.

EMBER, 2025. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://ember-energy.org/latest-insights/how-cheap-is-battery-storage/>

Energy Press, 2025. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://energypress.gr/news/hanoy-n-ti-lampsi-toys-ta-ppas-logoton-synehon-arnitikon-timon-stin-dam-periorizetai-i-zitisi>

EnergyPress, 2., 2025. *EnergyPress*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://energypress.gr/news/hanoy-n-ti-lampsi-toys-ta-ppas-logoton-synehon-arnitikon-timon-stin-dam-periorizetai-i-zitisi>
[Πρόσβαση 2 September 2025].

EPA, 2025. *Financial PPA*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.epa.gov/green-power-markets/financial-ppa>
[Πρόσβαση 30 November 2025].

EPA, 2025. *Physical PPA*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.epa.gov/green-power-markets/physical-ppa>

EU Platform for Corporate Renewable Energy Sourcing, 2025. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://resource-platform.eu/buyers-toolkit2/ppa-deal-tracker/>

European Investment Bank, 2023. *Commercial Power Purchase Agreements*, Europe: <https://advisory.eib.org/files/publications/attachments/commercial-power-purchase-agreements.pdf>.

G. Gousis et al., 2025. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://pdf.sciencedirectassets.com/271431/1-s2.0-S0960148125X00240/1-s2.0-S0960148125022955/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEDQaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIEmKwPDnZdR7P9Z3FYeUp97u4eTg29%2FPhYOOeX8lrX7PAiAsN55N2kf7lx224VjUy%2BohIKT6e9XT%2B%2F%2FP3B>

IRENA, 2024. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.irena.org/>

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2023.pdf](#)

IRENA, 2024. *RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2024*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Jul/IRENA_TEC_RPGC_in_2024_2025.pdf

J. Pei et al., 2024. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://pdf.sciencedirectassets.com/271098/1-s2.0-S0196890424X00278/1-s2.0-S0196890424013839/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEDQaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIa2JxPD59oc9DglJ%2F7%2BnT1P5RraBOuzRyUowuLCQURYEAiAWIUqJCB4luLvD2%2Fds1rBC3T5plZ%2F6gDejKDZQ>

LAZARD, 2024. *LEVELIZED COST OF ENERGY+*, s.l.: s.n.

Miliarakis et.al, 2025. *Assessing the economic feasibility of Li-ion batteries storage systems for electricity arbitrage: A case study of the Greek energy market*, s.l.: s.n.

National Renewable Energy Laboratory, 2017. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://docs.nrel.gov/docs/fy10osti/46932.pdf>

P.T. Kyrimlidou et al., 2024. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://pdf.sciencedirectassets.com/308669/1-s2.0-S2352467724X00028/1-s2.0-S2352467724001796/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEDUaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQCULAqRY7LihMIXPHGaO0V3K25y65SksUcuDmk4O3fGUwlhAL9fo0GMb%2BK%2BScziOYRIYcYR7NmcvjQ6psEOxbGQ>

Stanitsas et.al., 2024. *Navigating the Nexus: Stakeholder Engagement in Hybrid Renewable Energy Power Purchase Agreements (PPAs) for Sustainable Development*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/17/7381>

Stanitsas, M., 2023. *Sustainable Energy Strategies for Power Purchase Agreements*, Zurich: MDPI Sustainability.

US Environmental Protection Agency, 2025. *Financial PPA*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.epa.gov/green-power-markets/financial-ppa>

US Environmental Protection Agency, 2025. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.epa.gov/green-power-markets/financial-ppa>

Yang et. all, 2024. *Mitigating long-term financial risk for large customers via a hybrid procurement strategy considering power purchase agreements*, Europe: Haolin Yang et. all..

