



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73, Ζωγράφου – 210-7723655 – epminfo@power.ece.ntua.gr

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΑΡΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΩΝ
ΔΙΜΕΡΩΝ ΡΡAs»**

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Βίκτωρα Γρίσπου

Επιβλέπων

Σταύρος Παπαθανασίου, Καθηγητής, Σχολή Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος, 2023

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον αναθέτη και επιβλέποντα της διπλωματική μου εργασίας τον κύριο Σταύρο Παπαθανασίου, Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα αλλά και για την συνεχή στήριξη και καθοδήγησή του, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησής του.

Επίσης, ευχαριστώ τον διδάκτορα της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κύριο Γεώργιο Ψαρρό για την πολύτιμη βοήθειά του στην κατανόηση του θεωρητικού υποβάθρου του προβλήματος και για τον χρόνο που αφιέρωσε στην επίλυση των αποριών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για την υποστήριξη και την κατανόησή τους σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου

Αθήνα, Οκτώβριος 2023,

Βίκτωρας Γρίσπος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό να αναδείξει ένα σχετικά νέο φαινόμενο στην ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, τις διμερείς συμβάσεις αγοραπωλησίας ενέργειας (PPAs- Power Purchase Agreements), τυπικά μεταξύ ενός παραγωγού και ενός προμηθευτή ή καταναλωτή. Στόχος είναι παρέχει στον αναγνώστη μια συγκεντρωτική εικόνα για τις διαφορετικές πτυχές που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στα συμβόλαια αυτά, με εστίαση στη δομή, τους κινδύνους, τις τιμολογιακές στρατηγικές και τις τεχνολογικές καινοτομίες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη διαπραγμάτευση και την εφαρμογή τους.

Το 1^ο κεφάλαιο προσφέρει μια εισαγωγική ανάλυση στα PPAs, αποδίδοντας έμφαση στις βασικές τους πτυχές, τις θεμελιώδεις κατηγοριοποιήσεις και τα επιχειρηματικά μοντέλα που αντιπροσωπεύουν.

Το 2^ο κεφάλαιο πραγματεύεται με τους κινδύνους που σχετίζονται με τα PPAs, τις διάφορες δομές παράδοσης ενέργειας και τις συνήθειες τιμολογιακές πρακτικές. Επιπλέον, εξετάζεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες (Battery Energy Storage Systems-BESS) στις συμφωνίες αυτές.

Στο 3^ο κεφάλαιο, υλοποιείται μια αριθμητική εφαρμογή τόσο για απλές εγκαταστάσεις τεχνολογιών ΑΠΕ όσο και για υβριδικές εγκαταστάσεις, παρουσιάζοντας διεξοδικά τη διαδικασία υπολογισμού, τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα και παραμέτρους, καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που εξήχθησαν.

Τέλος, στο 4^ο κεφάλαιο διατυπώνονται τα κύρια συμπεράσματα της έρευνας, προσφέροντας επίσης προτάσεις για μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας στον εν λόγω τομέα.

Συνολικά, η εργασία φωτίζει τις πολυδιάστατες πτυχές των PPAs, αποτελώντας έναν ολοκληρωμένο οδηγό για τους ενδιαφερόμενους φορείς στην ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Λέξεις Κλειδιά: Power Purchases Agreements, Συμβόλαια PPAs, Εμπορικά PPAs, Εταιρικά PPAs, Μοντέλα PPAs, PPAs με φυσική παράδοση (Physical), PPAs χωρίς φυσική παράδοση (Financial/Virtual/Synthetic), Κίνδυνοι PPAs, Δομές παράδοσης των PPAs, Μέθοδοι τιμολόγησης των PPAs, Υβριδικά PPAs.

Table of Contents

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ PPAs	6
1.1 Γενικά	6
1.2 PPAs-Γενικά	7
1.3 Βασικές πτυχές-όροι	8
1.4 Θεμελιώδης Κατηγοριοποιήσεις	10
1.4.1 Νέος ή υφιστάμενος σταθμός παραγωγής	10
1.4.2 Παραλήπτης/Αγοραστής του PPA	11
1.4.3 Τεχνολογία παραγόμενης ενέργειας	13
1.4.4 Ομαδοποιημένα ή μη PPAs	13
1.5 Επιχειρηματικά μοντέλα εταιρικών Ανανεώσιμων PPAs	15
1.5.1 Μοντέλα πίσω από τον μετρητή (Behind the meter)	15
1.5.2 Εξ 'αποστάσεως μοντέλα PPAs (Off-site PPAs)	16
1.5.3 Παραλλαγές των εξ 'αποστάσεως μοντέλων PPAs (Off-site variants of PPAs)	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°	23
Κίνδυνοι, δομές παράδοσης και τιμολόγησης των PPAs	23
2.1 Η έννοια του κινδύνου στα PPAs	23
2.2 Συνήθεις δομές παράδοσης ενέργειας	27
2.2.1 Πληρωμή αναλόγως το προφίλ παραγωγής (Pay-as-Produced, PaP)	27
2.2.2 Πληρωμή αναλόγως τη συμφωνία (Pay-as-Contracted)	29
2.2.3 Πληρωμή αναλόγως τη ζήτηση (Pay-as-Consumed)	32
2.3 Συνήθεις Μέθοδοι Τιμολόγησης	32
2.3.1 Σταθερής Τιμής	32
2.3.2 Κυμαινόμενης Τιμής (Floating/Variable Price)	34
2.3.3 Υβριδικές μέθοδοι (Hybrid structures)	37
2.3.4 Μέθοδος μηχανισμού ανάκτησης (Clawback)	38
2.4 Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας Μπαταρίας και PPA	39
2.4.1 Εισαγωγή στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες	39
2.4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές	42
2.4.3 PPAs με αποθήκευση	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°	50
Αριθμητική εφαρμογή υβριδικών PPAs	50
3.1 Επιλεγμένη μορφή, δεδομένα και διαδικασία υπολογισμού	50
3.1.1 Επιλεγμένη μορφή PPA	50
3.1.2 Επιλογή Δεδομένων και παραμέτρων	52
3.1.3 Διαδικασία υπολογισμού	58
3.2 Αποτελέσματα	68
3.2.1 Ποσοτικά Αποτελέσματα	68
3.2.2 Οικονομικά αποτελέσματα	76
Κεφαλαίο 4°	85

Συμπεράσματα-Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	85
Βιβλιογραφία	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΡΡAs

1.1 Γενικά

Σε ένα κόσμο αντιμέτωπο με την πρωτοφανή απειλή της κλιματικής αλλαγής, ο κλιματικός νόμος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), θέτει ως βασικό στόχο σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο, τη κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Ενδιάμεσος σταθμός είναι και οι στόχοι μέχρι το 2030, όπου η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 55% σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα του 1990. Με δεδομένο ότι ο ενεργειακός τομέας είναι υπεύθυνος για περισσότερο από το 75% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ, ενώ περισσότερο από το 40% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια, προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων για ηλεκτροπαραγωγή παγκοσμίως, η εξάπλωση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) σε διαφορετικούς τομείς της οικονομίας, αποτελεί θεμελιώδη λίθο για την επίτευξη των ενεργειακών και κλιματικών στόχων της ΕΕ. Αυτό γίνεται φανερό και από την Ευρωπαϊκή οδηγία για τις ΑΠΕ (2009/28/EC) αλλά και την αναθεώρηση της (2018/2001/EU), με την τελευταία να διαμορφώνει ως στόχο το μερίδιο των ΑΠΕ στην ενεργειακή κατανάλωση να είναι τουλάχιστον 32%. Σήμερα (2023), βρίσκεται σε ισχύ η προσωρινή συμφωνία για διείσδυση των ΑΠΕ στο τελικό μείγμα της κατανάλωσης σε επίπεδο που να υπερβαίνει το 42.5%, με απώτερο στόχο το 45% [1,2].

Σε αυτό το πλαίσιο, πολλές επιχειρήσεις, από τη σκοπιά του καταναλωτή, επιδιώκουν την μείωση του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος αλλά και του ενεργειακού τους κόστους, θέτοντας ολοένα και αυστηρότερους στόχους βιωσιμότητας. Παρόλο που η μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης είναι η προφανέστερη μέθοδος ελάττωσης του περιβαλλοντικού τους αντικτύπου, εντούτοις δεν είναι ευκολότερη, καθώς προσπαθούν, παράλληλα, να διατηρήσουν ανεπηρέαστες τις λειτουργικές τους δραστηριότητες. Μια από τις πιο προσιτές λύσεις που υιοθετείται είναι η κάλυψη μέρους των ενεργειακών του απαιτήσεων (ηλεκτρισμός, θέρμανση, ψύξη, μεταφορές) με ενέργεια παραγόμενη από ΑΠΕ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της ανερχόμενης τάσης αποτελεί και η παγκόσμια πρωτοβουλία RE100, δηλαδή ομάδας εταιρειών με ετήσια κατανάλωση μεγαλύτερης των 440 TWh σε ετήσια βάση, η οποία έχει δεσμευτεί στη κατανάλωση 100% ανανεώσιμης ενέργειας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, είχε γίνει αντιληπτή η τεράστια σημασία της ανάπτυξης των ΑΠΕ και ο ρόλος που θα διαδραμάτιζαν στην ενεργειακή μετάβαση. Ωστόσο, παρά την ανάγκη σταδιακής αντικατάστασης των συμβατικών μονάδων παραγωγής από τις τεχνολογικά ώριμες ΑΠΕ, σημαντικό εμπόδιο για την εξάπλωση τους αποτελούσαν τα υψηλά κόστη επένδυσης. Στο πλαίσιο αυτό, για την επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης, η ενσωμάτωση των ΑΠΕ έγινε αντικείμενο ενεργειακής πολιτικής πριν από σχεδόν 3 δεκαετίες. Προηγμένες χώρες της ΕΕ, όπως η Δανία το 1992, η Ισπανία το 1998 και η Γερμανία το 2000, δρομολόγησαν μέτρα ενεργειακής πολιτικής που περιλάμβαναν εκτεταμένη χρηματοδοτική στήριξη με στόχο την επέκταση των τεχνολογιών αυτών. Ένα από τα σημαντικότερα μέτρα αποτέλεσε και το σχήμα επιδότησης Feed-in tariff (FiT), το οποίο αποδείχτηκε ιδιαίτερα επιτυχές, αφού έδωσε ισχυρή ώθηση στη εξάπλωση αλλά και την αναβάθμιση των τεχνολογιών αυτών, καθώς έγινε ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή από πολλούς επενδυτές, καθιστώντας το την

επικρατέστερη μορφή εγγυήσεων για τις ΑΠΕ. Με ένα σχήμα FiT, οι επενδυτές των σταθμών ΑΠΕ λαμβάνουν μια σταθερή τιμή ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας (ευνοϊκότερη των τιμών της αγοράς) για ορισμένη χρονική περίοδο (συνήθως 15-20 έτη). Από τη μεριά του επενδυτή, το κόστος επένδυσης έχει ανακτηθεί μέχρι την λήξη του FiT. Η χρηματοδότηση των FiT μπορεί να προέλθει είτε μέσω φορολογικών εσόδων (δημόσιος προϋπολογισμός) είτε μέσω συμμετεχόντων της αγοράς (πχ προμηθευτές), οι οποίοι τελικά μετακυλούν το κόστος αυτό στους καταναλωτές. Άλλα σημαντικά μέτρα υποστήριξης για την διάδοση των ΑΠΕ αποτελούν το σχήμα Feed-in premium (FiP), οι υποχρεώσεις ποσοστώσεων (Quota Obligations) και το σχήμα δημοπρασιών (tender/auction scheme).

1.2 PPAs-Γενικά

Τα τελευταία χρόνια, οι σταθμοί ΑΠΕ από οικονομικής σκοπιάς, γίνονται ολοένα και περισσότερο ανταγωνιστικοί συγκριτικά με τους συμβατικούς σταθμούς ορυκτών καυσίμων. Ενδεικτικά, για την δεκαετία 2010-2021, το παγκόσμιο σταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE-Levelized Cost of Electricity) για τους νέους σταθμούς φωτοβολταϊκών μεγάλης κλίμακας (utility scale) μειώθηκε κατά 88% ενώ για τα χερσαία αιολικά 68% και για τα πλωτά αιολικά κατά 60%. Καθώς, οι ΑΠΕ αρχίζουν να καταλαμβάνουν μεγαλύτερο μέρος του ενεργειακού μείγματος μιας χώρας, σχήματα επιδοτήσεων όπως το FiT αρχίζουν να καταργούνται, καθώς η εφαρμογή τους είναι λιγότερο συμβατή με τις αρχές της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας. Με άλλα λόγια, πρόκειται για ένα μέτρο που δεν είναι αγορά-κεντρικό (market oriented) καθώς δεν προωθεί τον άμεσο ανταγωνισμό μεταξύ των παραγωγών ενέργειας και ταυτόχρονα δεν συμβαδίζει με τα σήματα των τιμών της χονδρικής αγοράς. Μάλιστα, ενδέχεται να προκαλέσει στρέβλωση ή ακόμα και ανοδική ώθηση των τιμών αυτών.

Επομένως, από τη μια μεριά της αγοράς, οι επενδυτές των έργων ΑΠΕ αναζητούν, πλέον, εναλλακτικούς οικονομικούς μηχανισμούς προκειμένου να εξασφαλίσουν την βιωσιμότητας της επένδυσης τους ενώ από την άλλη μεριά, πολλές εταιρείες επιδιώκουν τη προμήθεια σημαντικού μέρους «πράσινης ενέργειας» για την τήρηση των δεσμεύσεων και την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας που έχουν θέσει, στο πλαίσιο της κοινωνικής εταιρικής τους ευθύνης (corporate social responsibility-CSR). Στη διεπαφή των 2 αυτών μερών, βρίσκεται ένα PPA (Power Purchase Agreement).

Ένα PPA είναι μια σύμβαση αγοράς (ή πώλησης) ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ δυο αντισυμβαλλόμενων μερών: Ενός πωλητή (seller) και ενός αγοραστή/παραλήπτη (buyer/offtaker). Πρόκειται ουσιαστικά για ένα συμβόλαιο με προκαθορισμένους όρους που στοχεύει στη δημιουργία μιας «δίκαιης» και «ελεγχόμενου κινδύνου» συμφωνίας, για αγοραπωλησία ηλεκτρικής ενέργειας εκτός της χονδρικής αγοράς. Αναλόγως την επιθυμία των 2 μελών, η συμφωνία μπορεί να περιλαμβάνει και εγγυήσεις προέλευσης ή προϊόντα της αγοράς διαθεσιμότητας ισχύος (capacity market). Συνήθως έχει μακροχρόνια διάρκεια (10-20 έτη) χωρίς όμως να αποκλείονται βραχυχρόνιοι ορίζοντες. Ως κύρια μέλη (primary actors) της συμφωνίας ορίζονται οι 2 ενδιαφερόμενοι (αγοραστής και πωλητής) ενώ συχνά περιλαμβάνονται δευτερεύοντα μέλη (secondary actors) στη διαπραγμάτευση με διαφορετικούς ρόλους, τα οποία, αναλόγως το ρυθμιστικό και κανονιστικό πλαίσιο της χώρας, ενδέχεται να είναι υπογράφωντες του PPA. Συγκεκριμένα [3]:

Πωλητής: Ένας ή περισσότεροι παραγωγοί, επενδυτές ή άλλες οντότητες που έχουν αναλάβει την ανάπτυξη ή την λειτουργία ενός ή περισσότερων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και δύναται να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στον αγοραστή από την στιγμή έναρξης ισχύος του PPA.

Αγοραστής: Μια ή περισσότερες εταιρίες, επιχειρήσεις, οργανισμοί, νοικοκυριά ή κυβερνητικοί φορείς που δρουν ως αποδέκτες της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχει ο πωλητής.

Δευτερεύοντα μέλη: Η κυβέρνηση, η ρυθμιστική αρχή ενέργειας, οι καταναλωτές, οι εταιρίες μεταφοράς και διανομής, οι δανειστές, η κατασκευαστική εταιρεία, ο διαχειριστής του σταθμού παραγωγής, ο προμηθευτής καυσίμων και ο διαχειριστής του συστήματος.

1.3 Βασικές πτυχές-όροι

Ένα PPA καθορίζει όλες τις συμβατικές πτυχές που αφορούν την αγοραπωλησία της ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως, σε χώρες όπως η Αμερική, ένας αγοραστής αναζητά προσκλήσεις ενδιαφέροντος και περιγράφει τα κριτήρια για έναν PPA μέσω μιας ανταγωνιστικής πρόσκλησης ή μιας πρόσκλησης υποβολής προτάσεων (Request for Proposal-RFP). Οι όροι RFP πρέπει να αντιπροσωπεύουν τις ελάχιστες απαιτήσεις του αγοραστή, να καθορίζουν τη βασική γραμμή για την ανταπόκριση των εν δυνάμει πωλητών και να αποτελούν το σημείο εκκίνησης για τις διαπραγματεύσεις του έργου. Τα RFP πρέπει να είναι περιγραφικά των απαιτήσεων, διατηρώντας παράλληλα επαρκή ευελιξία για να εξασφαλίσουν μια επιτυχημένη διαδικασία [4].

Τα PPA αποτελούν εκ φύσεως πολύπλοκες συμβάσεις και ως εκ τούτου η διαπραγμάτευση τους αποτελεί σημαντική πρόκληση ακόμη και όταν όλα τα μέρη ακολουθούν τις βέλτιστες νομικές πρακτικές. Η ανάγκη για ισορροπημένες και σαφείς συμβάσεις είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι οι συμβάσεις PPA καλύπτουν συχνά έργα δεκαετιών, στα οποία θα μπορούσαν να συμμετέχουν πολλοί επενδυτές, χρηματοδότες ή αγοραστές. Οι συμβάσεις αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να συντάσσονται προσεκτικά ώστε να διασφαλίζεται ότι 1) τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις των μερών καθορίζονται σαφώς, 2) οι κίνδυνοι του έργου κατανέμονται σωστά μεταξύ των μερών και 3) οι όροι και οι προϋποθέσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένης της τιμολόγησης και της παράδοσης) δηλώνονται ρητά. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τις βασικές συμβατικές πτυχές που περιλαμβάνονται συνήθως σε έναν PPA[5,6,7].

Βασικές συμβατικές πτυχές ενός PPA	
Αντικείμενο προς Συμφωνία	Τα περισσότερα ανανεώσιμα PPA συνδυάζουν την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας με τη παροχή εγγυήσεων προέλευσης που σχετίζονται με την παραγωγή του εκάστοτε έργου ΑΠΕ. Αναλόγως τη χώρα και τον σταθμό παραγωγής, η συμφωνία μπορεί να περιλαμβάνει προϊόντα της αγοράς διαθεσιμότητας ισχύος ή λεπτομέρειες για την αξιοποίηση του σταθμού σε βοηθητικές υπηρεσίες (ancillary services).
Τιμή	Καθορίζεται η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, των εγγυήσεων προέλευσης, των προϊόντων της αγοράς διαθεσιμότητας ισχύος αλλά και των επικουρικών υπηρεσιών που παρέχει ο σταθμός παραγωγής.
Διάρκεια συμβολαίου	Η χρονική περίοδος για την οποία η σύμβαση βρίσκεται σε ισχύ.
Εμπορική Δομή/Δομή Παράδοσης	Καθορίζεται η συνολική ποσότητα της ενέργειας προς παράδοση, οι μέγιστες και οι ελάχιστες

	υποχρεώσεις παράδοσης καθώς και ο χρονικός ορίζοντας των παραδόσεων αυτών (πχ ωριαίος).
Εγγυήσεις Παραγωγής	Αφορούν τις εγγυήσεις του πωλητή σχετικά με την ημερομηνία έναρξης εμπορικής λειτουργίας του σταθμού καθώς και το ελάχιστο επίπεδο διαθεσιμότητας και απόδοσης που θα επιτύχει.
Λειτουργικές Δεσμεύσεις	Αφορά τις νομικές υποχρεώσεις αγοραστή και πωλητή σε λειτουργικά ζητήματα του σταθμού. Προγραμματισμένες συντηρήσεις, έκτακτες βλάβες και επισκευές, εντάσσονται στη κατηγορία αυτή.
Πληρωμή/Τιμολόγηση	Περιλαμβάνει όλες τις λεπτομέρειες όπως είναι η μέθοδος και η συχνότητα πληρωμών, ο κύκλος και η παράδοση των τιμολογίων, τη καταληκτική ημερομηνία πληρωμών, τις εκτελεσμένες πληρωμές αλλά και τυχόν όρους καθυστέρησης εξόφλησης για τυχόν ασυνέπειες του αγοραστή.
Κυρώσεις μη συμμόρφωσης	Περιλαμβάνει το πλαίσιο των χρεώσεων στις περιπτώσεις μη τήρησης των υποχρεώσεων που έχουν αναλάβει οι δυο μεριές. Συνήθη παραδείγματα από τη μεριά του πωλητή αποτελούν οι ρευστοποιημένες ζημιές καθυστέρησης (Liquidated delay damages) για τη καθυστέρησης έναρξης λειτουργίας του έργου ή μείωση της συμφωνηθείσας τιμής πώλησης (tariff abatement) για μη αναμενόμενη λειτουργική του απόδοση.
Ανάθεση/Μεταβίβαση	Από τη μεριά του πωλητή, η δυνατότητα, υπό προϋποθέσεις, ανάθεσης του συμβολαίου σε άλλη οντότητα, η οποία διαθέτει ευχέρεια τήρησης όλων των αρχικών όρων και δεσμεύσεων, ενδέχεται να περιλαμβάνεται στους όρους του ΡΡΑ.
Καταμέτρηση	Η ρήτρα αυτή περιέχει πληροφορίες σχετικά με την εγκατάσταση, τη μέτρηση και την ανάγνωση της παραγόμενης ποσότητας ενέργειας.
Ασφάλιση	Η συγκεκριμένη διάταξη απαιτεί το ένα ή και τα δυο μέρη της συμφωνίας να διαθέτουν επαρκή ασφαλιστική κάλυψη για όλη τη διάρκεια του ΡΡΑ και να παρέχουν αποδεικτικά στοιχεία για το ασφαλιστήριο τους.
Πωλήσεις σε Τρίτους	Η ύπαρξη όρου που να δίνει τη δυνατότητα στο πωλητή να διαθέσει μέρος της ενέργειας του σταθμού του σε τρίτους, μπορεί να ενισχύσει την εμπορική βιωσιμότητα του έργου και παράλληλα να του παράσχει ένα εναλλακτικό μέσο αντιστάθμισης του κινδύνου που αντιμετωπίζει στην αρχική συμφωνία.
Αλλαγές Νομοθεσίας/Κανονισμών	Ενδεχόμενες αλλαγές στη νομοθεσία ή τους κανονισμούς ενδέχεται να επηρεάσουν αμφοτέρωτα κύρια μέλη της συμφωνίας (πχ αδυναμία τήρησης δεσμεύσεων, διαμόρφωση ευνοϊκότερης/δυσμενέστερης κατάστασης για κάποιο μέλος, κλπ) και ως εκ τούτου θα πρέπει να ορίζεται ένας μηχανισμός προσαρμογής του συμβολαίου για τέτοιες περιπτώσεις.

Ανωτέρα Βία	Η ρήτρα ανωτέρας βίας αναφέρεται στην αδυναμία τήρησης των όρων και των υποχρεώσεων που πηγάζουν από τη συμφωνία, λόγω απροσδόκητων συνθηκών που είναι εκτός της διαχειριστικής ευχέρειας του αγοραστή ή του πωλητή (πχ περικοπές παραγωγής από τον διαχειριστή του δικτύου, ακραία καιρικά φαινόμενα, πόλεμοι κλπ)
Τερματισμός της συμφωνίας	Το PPA οφείλει να ορίζει τις αιτίες που ενεργοποιούν τη πρόωγη λήξη της συμφωνίας (πχ επανειλημμένη αδυναμία τήρησης δεσμεύσεων) όπως επίσης και τις υποχρεώσεις των δυο μελών που ανακύπτουν από αυτή.
Λήξη διάρκειας συμβολαίου	Όρος που καθορίζει τις δυνατότητες του αγοραστή μετά το πέρας της χρονικής διάρκειας του συμβολαίου. Τέτοιες είναι η δυνατότητα αγοράς του πάρκου ή ανανέωσης της υπάρχουσας σύμβασης.

Πίνακας 1: Βασικές συμβατικές πτυχές ενός PPA

1.4 Θεμελιώδης Κατηγοριοποιήσεις

1.4.1 Νέος ή υφιστάμενος σταθμός παραγωγής

A) Greenfield PPA: Η διαπραγμάτευση αγοραπωλησίας ενέργειας αφορά σταθμό παραγωγής που δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί/κατασκευαστεί και επομένως η συμφωνία των δυο συμβαλλόμενων μερών αποτελεί «κλειδί» για την χρηματοδότηση της επένδυσης. Το Greenfield PPA συνάδει με την αρχή της προσθετικότητας (additionality), δηλαδή έχει ως αποτέλεσμα τη προσθήκη νέας εγκατεστημένης ισχύς ΑΠΕ στο δίκτυο. Έργα που συμβαδίζουν με τη συγκεκριμένη αρχή έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα τις πραγματικές και επικυρωμένες μειώσεις εκπομπών ρύπων ή την αποφυγή εκπομπών ρύπων για τους καταναλωτές, λόγω της αύξησης της παραγωγής από ΑΠΕ. Για τη δημιουργία του νέου σταθμού παραγωγής, οι υποψήφιοι πωλητές ενός PPA σπανίως επιθυμούν ή έχουν τη δυνατότητα να χρηματοδοτήσουν το 100% του κόστους επένδυσης, δίχως τη συμβολή των δανειστών. Προκειμένου να καταστεί ένα έργο αποδοτικό (bankable), δηλαδή να γίνει αποδεκτό προς χρηματοδότηση από τους δανειστές (χρηματοπιστωτικά ή αναπτυξιακά ιδρύματα, ιδιώτες κλπ) θα πρέπει η χρονική διάρκεια του PPA να είναι ικανή να διασφαλίσει την αποπληρωμή του δανείου, ενώ όπου αυτό δεν είναι εφικτό, θα πρέπει να παρέχεται ουσιαστική οικονομική ασφάλεια με τη μορφή εγγυήσεων. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το κίνητρο των υποψήφιων πωλητών να εξασφαλίσουν μακροπρόθεσμες, σταθερές και ορατές ταμειακές ροές, καθιστούν αυτό το τύπο του PPA μακροχρόνιο (>10 ετών).

B) Brownfield PPA: Η διαπραγμάτευση αγοραπωλησίας ενέργειας αφορά σταθμό παραγωγής που βρίσκεται ήδη σε λειτουργία. Σε αντίθεση με τα Greenfield PPA, υπάρχουν περιορισμοί όπως η τοποθεσία κατασκευής, η εγκατεστημένη ισχύ, η διάρκεια ζωής του έργου κλπ. Ιδιοκτήτες με σταθμούς ΑΠΕ οι οποίοι, μετά το πέρας του μέτρου κρατικής ενίσχυσης FiT ή της διάρκειας ζωής τους, αναζητούν

νέους τρόπους χρηματοδότησης για τη διατήρηση της σταθερότητας των ταμειακών ροών τους ή της ριζικής ανανέωσης του παραγωγικού τους εξοπλισμού (Repowering), εντάσσονται στη κατηγορία αυτή. Έτσι, τα PPAs αυτής της κατηγορίας συμβάλλουν στη καθυστέρηση παροπλισμού (Decommissioning) των μονάδων αυτών, προσφέροντας μια επιχειρηματικά

βιώσιμη λύση. Επειδή τα Brownfield PPAs «εμποδίζουν» την απενεργοποίηση εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στο σύστημα, γεγονός εξίσου σημαντικό με τη προσθήκη νέας ισχύος, θεωρείται ότι συνάδουν με μια μορφή προσθετικότητας, την μη- αφαιρεσιμότητα (anti-subtractability). Σημειώνεται επίσης, ότι οι χρονικοί ορίζοντες των συμβάσεων για υπάρχουσες εγκαταστάσεις παραγωγής, ενδέχεται να είναι μικρότεροι τους ενός έτους.

1.4.2 Παραλήπτης/Αγοραστής του PPA

Α) Εταιρικά (Corporate PPAs): Ο τελικός παραλήπτης είναι, συνήθως, μια ιδιωτική επιχείρηση που λειτουργεί ως τελικός καταναλωτής της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μεγαλύτεροι «παίκτες» της κατηγορίας αυτής παγκοσμίως είναι οι εταιρίες τεχνολογίας, τα κέντρα δεδομένων αλλά και οι βαριές βιομηχανίες όπως αυτές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και χημικές βιομηχανίες.

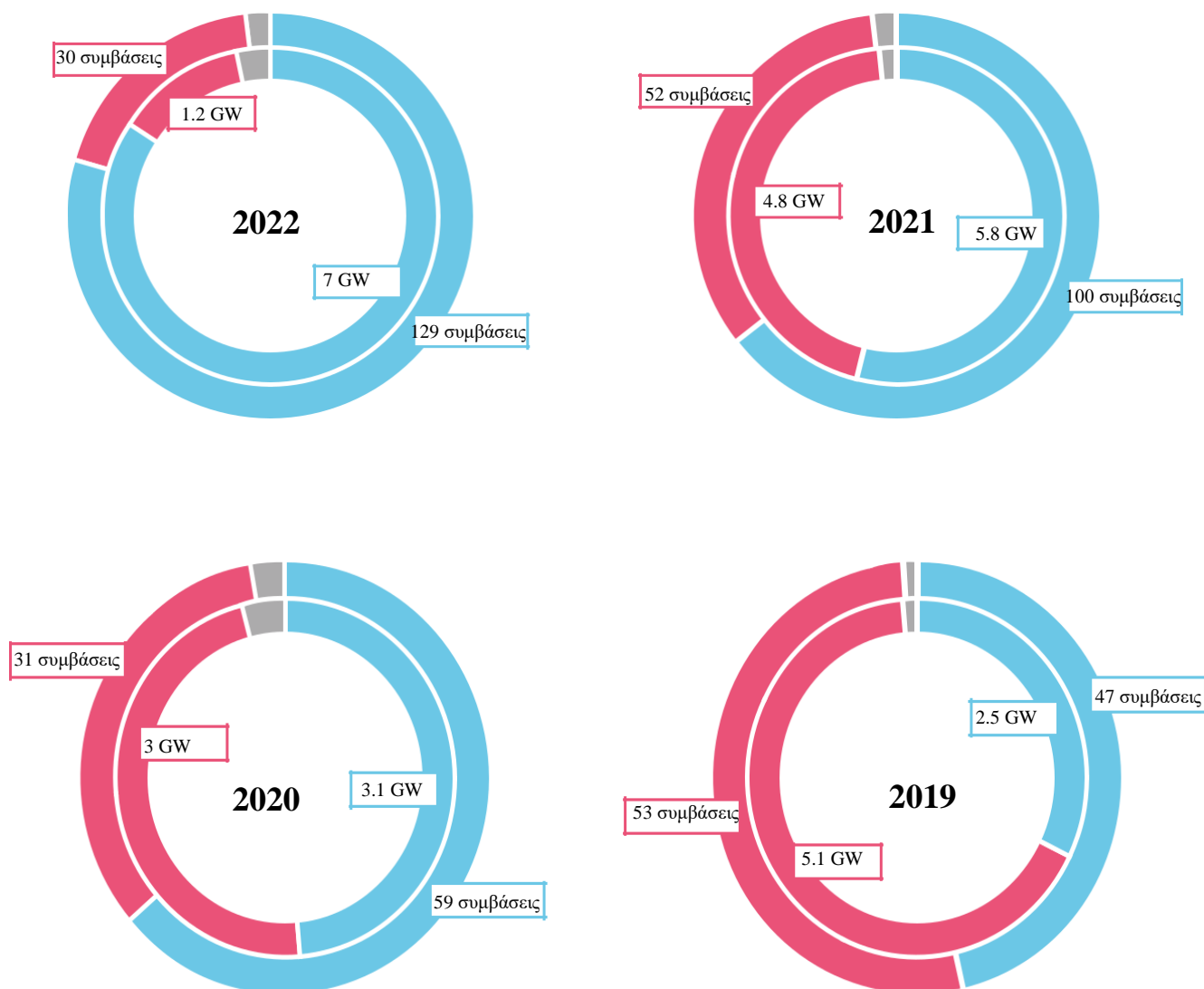
Β) Εμπορικά (Merchant/Utility PPAs): Ο τελικός παραλήπτης της ενέργειας είναι, συνήθως, μια ιδιωτική εταιρεία εμπορίας ή προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας ή και καθετοποιημένες εταιρείες (Utilities) με περισσότερους ρόλους (συνήθως διαθέτουν άδεια προμήθειας και παραγωγής). Utility PPAs αναφέρονται και τα συμβόλαια μεταξύ των καθετοποιημένων εταιρειών προς τους τελικούς καταναλωτές.

Γ) Κρατικά (Government PPAs): Ο τελικός παραλήπτης είναι, συνήθως, ένας κρατικός φορέας που προσφέρει είτε ένα ανταγωνιστικά καθορισμένο συμβόλαιο επί διαφορών (Contract for Differences-CFD) είτε ένα διοικητικά καθορισμένο συμβόλαιο FiT.

Δ) Κοινοτικά (Community PPAs): Ο τελικός παραλήπτης είναι, συνήθως, μια ενεργειακή κοινότητα.

Οι μεγάλη πλειοψηφία των PPAs που συνάπτονται στην Ευρώπη είναι εμπορικά και εταιρικά. Χαρακτηριστικά, για τη προηγούμενη τετραετία (2019-2022), ο αριθμός των συμβάσεων και η συμβολαιοποιημένη ισχύς που έχει δημοσιευθεί στην Ευρώπη για τις δυο αυτές βασικές κατηγορίες φαίνονται στην Εικόνα 1 [8].

■ Εταιρικά ■ Εμπορικά ■ Άγνωστα



Εικόνα 1: Ο αριθμός των συμβάσεων και η συμβολαιοποιημένη ισχύς για τα εταιρικά και εμπορικά PPAs στην Ευρώπη τη τελευταία τετραετία (2019-2022) [6].

Τον τελευταίο χρόνο περίπου 159 συμβάσεις συνολικής ισχύος 8.2 GW έλαβαν χώρα στην Ευρώπη με τη μεγάλη πλειοψηφία να αποτελούν τα εταιρικά PPAs. Σημειώνεται επίσης, ότι περίπου 65 συμβάσεις δεν έχουν αποκαλύψει τα χαρακτηριστικά της ποσότητας και του παραλήπτη της ενέργειας, με τις εκτιμήσεις όμως να δείχνουν ότι περίπου 9-9.5 GW έχουν συμβολαιοποιηθεί σε όλο το 2022. Τα εταιρικά PPAs σημειώνουν σταθερή άνοδο τα τελευταία χρόνια τόσο στον αριθμό τους όσο και στην συνολική ποσότητα ισχύος, σε αντίθεση με τα εμπορικά που υπέστησαν σημαντική μείωση το 2022. Παράγοντες της μείωσης των εμπορικών PPAs φαίνεται να είναι πολύ υψηλή μεταβλητότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, οι απαιτήσεις για περιθώριο και εγγυήσεις και η επακόλουθη μείωση της ρευστότητας.

1.4.3 Τεχνολογία παραγόμενης ενέργειας

A) **Ανανεώσιμα (Renewable-based PPAs):** Η παραχθείσα ενέργεια προέρχεται αποκλειστικά από σταθμούς ΑΠΕ, δηλαδή από σταθμούς:

- Αιολικών
- Φωτοβολταικών/Ηλιοθερμικών
- Υδροηλεκτρικών
- Γεωθερμίας
- Βιομάζας
- Αποθήκευσης

B) **Μη ανανεώσιμα (Non-Renewable based PPAs):** Η παραχθείσα ενέργεια προέρχεται αποκλειστικά από θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής, δηλαδή από σταθμούς:

- Φυσικού Αερίου
- Πετρελαίου
- Άνθρακα
- Πυρηνικοί

Τα ανανεώσιμα PPAs που δίνουν τη δυνατότητα στον αγοραστή να προμηθευτεί ενέργεια από 2 ή περισσότερες τεχνολογίες ΑΠΕ που περιλαμβάνονται στο χαρτοφυλάκιο του πωλητή, χαρακτηρίζονται ως PPAs χαρτοφυλακίου (Portfolio PPAs) ή πολλαπλών τεχνολογιών (multi-technology PPAs). Διευκρινίζεται επίσης ότι από τη κατηγορία των ανανεώσιμων, οι αιολικοί και ηλιακοί σταθμοί εντάσσονται στη κατηγορία των μη κατανεμόμενων μονάδων ΑΠΕ, δηλαδή εκείνων που διαθέτουν περιορισμένη δυνατότητα ρύθμισης της ισχύος τους, καθώς είναι εξαρτημένοι από τις καιρικές συνθήκες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα υβριδικά PPAs, τα οποία συνδυάζουν μια τεχνολογία αποθήκευσης, συνήθως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας (Battery Energy Storage System-BESS) με μια τεχνολογία μη κατανεμόμενων μονάδων ΑΠΕ (Αιολικά, Φωτοβολταικά ή Ηλιοθερμικά), προκειμένου να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις παράδοσης ενέργειας που θέτει ο αγοραστής στους όρους του PPA.

1.4.4 Ομαδοποιημένα ή μη PPAs

Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα αγαθά, η πληροφορία της προέλευσης παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος δεν είναι εφικτό να ενσωματωθεί σε αυτό, αφού λόγω της φύσης του δεν συσκευάζεται και δεν είναι εφικτό να φέρει σήμανση. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε ένας αξιόπιστος μηχανισμός εντοπισμού της προέλευσης της ενέργειας, ο οποίος προωθεί τη διαφάνεια σχετικά με το ενεργειακό μείγμα κατανάλωσης στις αγορές ηλεκτρισμού, και έχει ως κύριο στόχο την αύξηση της οικονομικής βιωσιμότητας των έργων ΑΠΕ και την ενίσχυση των επενδύσεων στον

συγκεκριμένο κλάδο. Πρόκειται για τις εγγυήσεις προέλευσης (Guarantee of Origins-GO's) όπως ονομάζονται στο Ευρωπαϊκό σύστημα ενεργειακών πιστοποιητικών (EECS-European Energy Certificate System) ή πιστοποιητικά ΑΠΕ (Renewable Energy Certificates-RECs) στο σύστημα της Βόρειας Αμερικής ή IRECs σε πολλές περιοχές στον υπόλοιπο κόσμο. Μια εγγύηση προέλευσης είναι ένα ηλεκτρονικό έγγραφο που έχει ως αποκλειστικό ρόλο να λειτουργεί σαν αποδεικτικό σε έναν τελικό καταναλωτή, ότι ένα δεδομένο μερίδιο ή ποσότητα ενέργειας προήλθε από ΑΠΕ ή από σταθμούς συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας, εκδίδεται αποκλειστικά μια εγγύηση προέλευσης και έχει τυπικό μέγεθος τη 1 MWh [9,10]. Σε κάθε πιστοποιητικό αποδίδεται μοναδικός αριθμός που χρησιμεύει στη διαδικασία ταυτοποίησης του από όλες τις αρμόδιες αρχές των χωρών της Ευρώπης, δίνοντας τη δυνατότητα και για διασυνοριακό εμπόριο, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα διπλής καταμέτρησης της ενέργειας. Επίσης, περιλαμβάνει λεπτομέρειες όπως τη κατηγορία του σταθμού (πχ Υδροηλεκτρικά, Αιολικά), την εγκατεστημένη του ισχύ, τη τοποθεσία του σταθμού, το διάστημα παραγωγής της ενέργειας, εάν αφορά τη παραγωγή ηλεκτρισμού, θέρμανσης, ψύξης ή αερίου (συμπεριλαμβανομένου και του υδρογόνου), εάν η εγκατάσταση έχει λάβει επενδυτική ενίσχυση ή έχει επωφεληθεί από εθνικό καθεστώς στήριξης και το είδος του καθεστώτος αυτού, την ημερομηνία και χώρα έκδοσης καθώς και την ημερομηνία που ο σταθμός ξεκίνησε τη λειτουργία του. Η χρήση των εγγυήσεων προέλευσης στην Ευρώπη, ρυθμίζεται από την Ευρωπαϊκή οδηγία για τις ΑΠΕ (2018/2001) η οποία στοχεύει στην ανάπτυξη του μεριδίου των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της Ευρώπης, την προώθηση της διαφάνειας και της επιλογής καταναλώσεως στις ενεργειακές αγορές. Η αξιοποίηση (ανάκληση) των εγγυήσεων προέλευσης έχει ιδιαίτερη σημασία για του αγοραστές των PPAs (Προμηθευτές και Εμπορικούς ή Βιομηχανικούς Καταναλωτές) για τους ακόλουθους λόγους :

- Μειώνουν τις έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (SCOPE 2 Emissions) και επιτυγχάνουν στόχους βιωσιμότητας για τους οποίους έχουν δεσμευτεί στο πλαίσιο της εταιρικής κοινωνικής τους ευθύνης.
- Συμβαδίζουν με τα περιβαλλοντικά πρότυπα και συμμορφώνονται με τους κανονισμούς και τη νομοθεσία σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.
- Δηλώνουν έμπρακτα τη στήριξη τους στην επέκταση μιας ή περισσότερων μορφών «πράσινης» ενέργειας.
- Διαμορφώνουν μια περιβαλλοντικά φιλική εικόνα στον κοινωνικό τους περίγυρο (προς του πελάτες, τους κοινωνικούς τους εταίρους και τους επενδυτές τους).
- Διευκολύνονται στη διαφήμιση και προώθηση νέων ελκυστικών προϊόντων και υπηρεσιών (πχ τιμολόγια πράσινης ενέργειας) .

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό η σημασία που έχουν οι εγγυήσεις προέλευσης σαν στοιχείο διαπραγμάτευσης εντός των PPAs. Όταν η πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ συνοδεύεται με τη μεταβίβαση των αντίστοιχων εγγυήσεων προέλευσης, τότε η συμφωνία αποκαλείται ομαδοποιημένη (Bundled PPA) ενώ διαφορετικά μη ομαδοποιημένη (unbundled PPA).

Η τιμή των εγγυήσεων προέλευσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων, η τεχνολογία, η χώρα προέλευσης και η ζήτηση. Ιστορικά, οι τιμές των εγγυήσεων προέλευσης ακολουθούσαν καθοδική πορεία μέχρι το 2020 λόγω της αύξησης της παραγωγής ΑΠΕ. Για παράδειγμα, οι τιμές των εγγυήσεων προέλευσης που προήλθαν από αιολική παραγωγή στη Γερμανία μειώθηκαν από περίπου 5 €/ MWh το 2010, φτάνοντας το 1 €/MWh για το 2020. Ωστόσο η κατάσταση άλλαξε το 2021, όπου σημειώθηκε μεγάλη άνοδος σε όλη την Ευρώπη. Σημαντικό τμήμα αυτής της ανόδου αποδίδεται στο έλλειμα υδροηλεκτρικής παραγωγής, την έντονη ζήτηση

από μεγάλους καταναλωτές για την επίτευξη των στόχων για τις εκπομπές τους, αλλά και από παραγωγούς ΑΠΕ, οι οποίοι δεσμεύτηκαν στην πώληση της προγραμματισμένης παραγωγής τους 1 με 2 έτη πριν την πραγματική τους παραγωγή και στη συνέχεια έσπευσαν να καλύψουν το έλλειμμα με των εγγυήσεων που δεν μπόρεσαν να εκδώσουν οι ίδιοι. Στις αρχές του 2023, οι εγγυήσεις προέλευσης στην Ευρώπη έφτασαν τα 7 €/ MWh [11].

1.5 Επιχειρηματικά μοντέλα εταιρικών Ανανεώσιμων PPAs

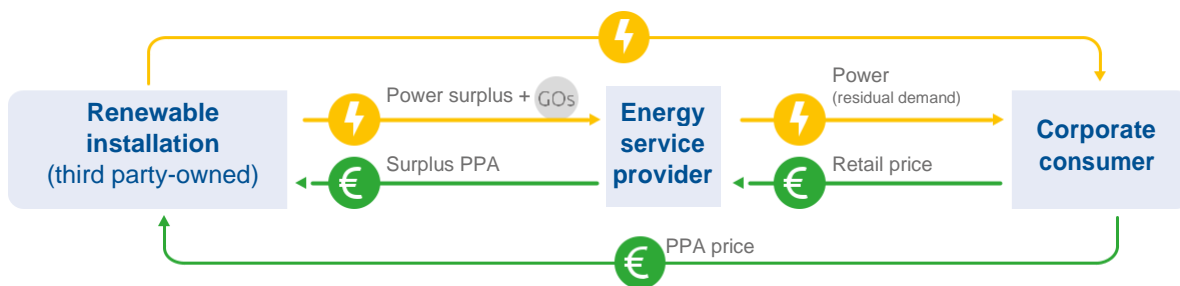
1.5.1 Μοντέλα πίσω από τον μετρητή (Behind the meter)

Με τα συγκεκριμένα μοντέλα επιτυγχάνεται απευθείας ηλεκτρική διασύνδεση του σταθμού παραγωγής του πωλητή και των εγκαταστάσεων του καταναλωτή. Ένα βασικό πλεονέκτημα των δομών αυτών η πιθανή αποφυγή σύνδεσης του έργου με το δίκτυο που συνεπάγεται την αποφυγή των μη εμπορικών χρεώσεων ή χρεώσεων προς τρίτους (non-commodity/third party charges) όπως είναι οι χρεώσεις για τη χρήση του δικτύου μεταφοράς/διανομής, η κάλυψη του κόστους επιδοτήσεων των ΑΠΕ, κλπ. Επίσης, ο καταναλωτής δεν υποχρεώνεται να γίνει αυτοπαραγωγός, καθώς ενδέχεται να μην διαθέτει την απαραίτητη τεχνογνωσία για τη κατασκευή και τη συντήρηση του σταθμού παραγωγής αλλά ούτε και το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης και συνεπώς, τα PPAs πίσω από τον μετρητή αποτελούν ευκολότερη λύση μείωσης του ανθρακικού του αποτυπώματος αλλά και του ενεργειακού του κόστους. Προσπατιούμενο για αυτές τις δομές είναι η εγγύτητα των εγκαταστάσεων παραγωγού και καταναλωτή, ενώ περιοριστικός παράγοντας του μεγέθους του έργου αποτελεί, συχνά, ο διαθέσιμος χώρος προς αξιοποίηση. Επίσης, με δεδομένο ότι το προφίλ κατανάλωσης είναι απίθανο να συμβαδίζει με τη παραγωγή του έργου, ο αγοραστής μπορεί να αποκτήσει πλήρη αυτονομία και να παρακάμψει τη χρήση εξωτερικού προμηθευτή, μόνο στη περίπτωση εγκατάστασης συστήματος αποθήκευσης (μπαταρία).

Στην εγκατάσταση του Καταναλωτή (Onsite)

Ο σταθμός παραγωγής βρίσκεται στην ίδια τοποθεσία με τις εγκαταστάσεις του καταναλωτή. Το προφίλ κατανάλωσης του αγοραστή είναι εκείνο που καθορίζει το μέγεθος της εγκατάστασης αλλά και τις επιμέρους παραμέτρους του PPA. Συνήθως, η εγκατάσταση ΑΠΕ διαστασιολογείται ώστε να επιτυγχάνει πολύ υψηλή ή σχεδόν 100% κάλυψη των ιδιοκαταναλώσεων του αγοραστή. Για την κάλυψη της υπολειπόμενης ζήτησης, ο αγοραστής διατηρεί ενεργό το συμβόλαιο προμήθειας ενέργειας με έναν πάροχο υπηρεσιών ενέργειας, ενώ για τη πλεονασματική παραγωγή, ο πωλητής δύναται να συνάψει ξεχωριστό PPA (Surplus PPA) με τον ίδιο ή διαφορετικό πάροχο υπηρεσιών ενέργειας σε περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμο ένα σημείο σύνδεσης του έργου με το δίκτυο μεταφοράς ή διανομής. Επιπλέον, επισημαίνονται 2 σημαντικά στοιχεία της συγκεκριμένης διαμόρφωσης [12]:

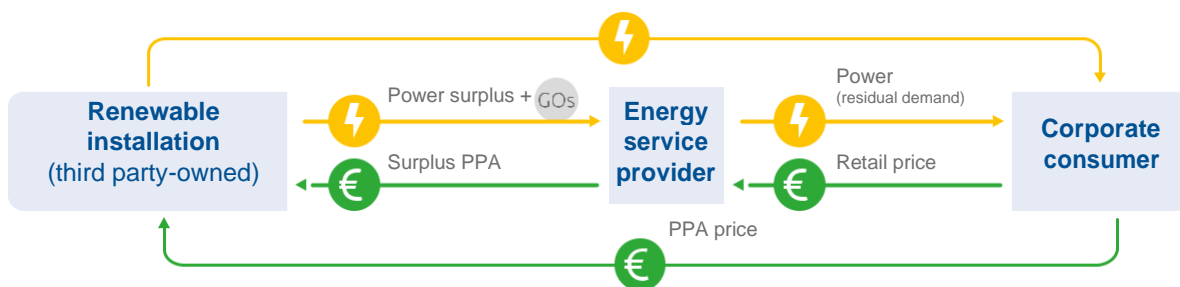
- Η κάλυψη των ιδιοκαταναλώσεων προσμετράται σαν μέθοδος μείωσης των άμεσων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (SCOPE 1 emissions)
- Η περίσσεια ενέργειας που εξέρχεται στο δίκτυο και καταμετράται, (σε αντίθεση με τη ποσότητα ενέργειας πίσω από το μετρητή), δίνει τη δυνατότητα έκδοσης εγγυήσεων προέλευσης στον πωλητή.



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου PPA πίσω από τον μετρητή (στην εγκατάσταση του καταναλωτή)

Ιδιωτικού Καλωδίου (Private-Wire PPA)

Ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται σε γειτονική έκταση ή σε κοντινή απόσταση (<10km) από το σημείο κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας και συνδέεται με εκείνον μέσω ενός ιδιωτικού καλωδίου κατασκευασμένο για τον σκοπό αυτό. Όπως και στα PPAs on-site, για τη διαχείριση του πλεονάσματος της ενέργειας, ενδέχεται να χρειαστεί μια ξεχωριστή σύνδεση στο δίκτυο ή εναλλακτικά, εφόσον είναι εφικτό, η διοχέτευση της ενέργειας αυτής θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μέσω της σύνδεσης των εγκαταστάσεων του καταναλωτή με το δίκτυο. Το κόστος του ιδιωτικού καλωδίου και τυχόν κόστη σύνδεσης του σταθμού στο δίκτυο, συνυπολογίζονται στα συνολικά κόστη του έργου και ενσωματώνονται στη τελική τιμή του PPA.



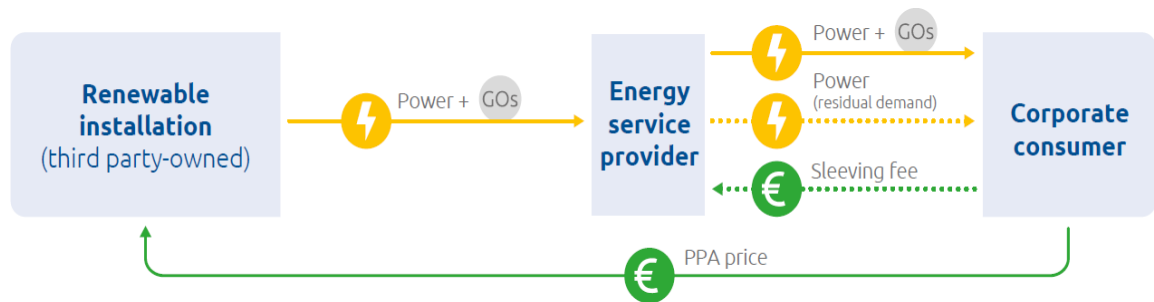
Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου PPA πίσω από τον μετρητή (ιδιωτικού καλωδίου)

1.5.2 Εξ' αποστάσεως μοντέλα PPAs (Off-site PPAs)

Πρόκειται για μοντέλα μπροστά από τον μετρητή (in front of the meter) της εγκατάστασης του καταναλωτή, δηλαδή η παραγωγή δεν βρίσκεται πλησίον της κατανάλωσης, όπως συνέβαινε στην περίπτωση των on-site PPAs. Το γεγονός αυτό παρέχει πρόσθετη ευελιξία και για τα δυο μέλη: 1) ο πωλητής μπορεί να επιλέξει μια τοποθεσία με ιδανικότερες συνθήκες παραγωγής 2) ο αγοραστής μπορεί να επιλέξει έναν υφιστάμενο λειτουργικό σταθμό, ενώ στη περίπτωση επιλογής νέου σταθμού, δεν περιορίζεται από τη διαθεσιμότητα χώρου της δικής του ιδιοκτησίας. Η ανάπτυξη μεγαλύτερων έργων ΑΠΕ οδηγεί σε οικονομίες κλίμακας που επιδρούν θετικά, τόσο στο κόστος παραγωγής, όσο και στις ποσότητες ενέργειας που μπορεί να εξασφαλίσει ο αγοραστής για τη συνολική του κατανάλωση. Εντούτοις, δεν είναι εφικτή η αποφυγή των μη εμπορικών χρεώσεων, λόγω της αναγκαιότητας σύνδεσης του σταθμού και του καταναλωτή με το δίκτυο.

PPAs με φυσική παράδοση (physical PPAs)

Για τη διευκόλυνση του συγκεκριμένου PPA, ο αγοραστής συνάπτει μια πρόσθετη συμφωνία (Back to back PPA) με μια οντότητα που διαθέτει άδεια προμήθειας. Αυτή η Back-to-back συμφωνία αντικατοπτρίζει το αρχικό PPA, καθώς περιλαμβάνει την πλειονότητα των διατάξεων του με σκοπό να διασφαλίζεται το ενδεχόμενο μη ύπαρξης σύγκρουσης/διαφωνίας αλλά και η αποφυγή δημιουργίας πρόσθετου κινδύνου μέσω του συμβολαίου αυτού. Ο πωλητής παραδίδει στον αγοραστή την ενέργεια σε ένα προσυμφωνημένο σημείο παράδοσης (συνήθως το σημείο μέτρησης του σταθμού). Ο αγοραστής στο ίδιο σημείο μεταπωλεί άμεσα την ενέργεια στο προμηθευτή και στη συνέχεια ακολουθεί η διοχέτευση της (sleaving) στο δίκτυο και η μεταφορά της στις εγκαταστάσεις του καταναλωτή. Εκεί, τελικός κάτοχος της ενέργειας και των δικαιωμάτων της γίνεται ο αγοραστής.



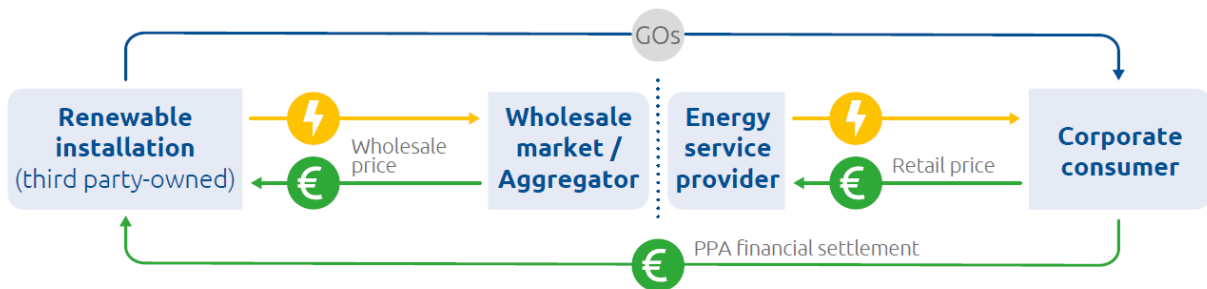
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου PPA με φυσική παράδοση

Πρακτικά ο ρόλος του προμηθευτή είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς λόγω της ιδιότητας του σαν μέλος με ευθύνη εξισορρόπησης (Balance responsible party), ασκεί υπηρεσία εξισορρόπησης (balancing service) δηλαδή διαχειρίζεται την ακριβή χρονική αντιστοίχιση των ποσοτήτων παραγωγής και ζήτησης σε οποιαδήποτε δεδομένη χρονική στιγμή. Επομένως, στις περιπτώσεις που προβλέπεται έλλειμα/πλεόνασμα της παραγωγής σε σχέση με τη κατανάλωση, ο προμηθευτής συμπληρώνει ή αφαιρεί ενέργεια μέσω κατάλληλη διαχείρισης των χαρτοφυλακίων του (balancing group management) και της συμμετοχής του στη χονδρική αγορά ενέργειας. Πρόσθετες υπηρεσίες εντός του PPA αφορούν τις ημερήσιες δηλώσεις προγραμμάτων φυσικής παράδοσης, τη παράδοση των εγγυήσεων προέλευσης, τις υπηρεσίες πρόβλεψης της παραγωγής και λογιστικές υπηρεσίες. Για την υπηρεσία εξισορρόπησης και όλες τις πρόσθετες υπηρεσίες, ο προμηθευτής αμείβεται από τον αγοραστή με ένα τέλος διαμεσολάβησης (sleaving fee).

Η τελική τιμή στη οποία παραλαμβάνει τη ενέργεια ο αγοραστής είναι η συμφωνημένη τιμή του PPA προσαυξημένη με το τέλος διαμεσολάβησης και τις χρεώσεις δικτύου. Σημειώνεται ότι για τη πραγματοποίηση μιας δομής φυσικής παράδοσης, τα 2 μέλη της συμφωνίας πρέπει, κατά κανόνα, να ανήκουν στην ίδια αγορά ηλεκτρισμού (ίδια ζώνη προσφοράς) με εξαίρεση τις περιπτώσεις εξασφάλισης μακροχρόνιας χωρητικότητας σε μια διασύνδεση

PPAs χωρίς φυσική παράδοση (non-physical PPAs)

Τα συγκεκριμένα PPAs αποκαλούνται εικονικά (virtual), οικονομικά (financial) ή συνθετικά (synthetic). Ένα εικονικό PPA είναι σχεδιασμένο για να διαχωρίζει τη φυσική ροή ενέργειας από την οικονομική ροή, καθώς δεν πραγματοποιείται φυσική μεταφορά της ενέργειας από τις εγκαταστάσεις του πωλητή σε εκείνες του αγοραστή, γεγονός που προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία σε σχέση με τα PPAs φυσικής παράδοσης. Πρόκειται για ένα χρηματοπιστωτικό μέσο βασισμένο στη λογική του συμβολαίου επί της διαφοράς (CfD). Αρχικά, οι δυο μεριές συμφωνούν σε μια σταθερή προκαθορισμένη τιμή «strike» για τη πώληση της ενέργειας και σε μια τιμή ή δείκτη αναφοράς της αγοράς (market-based reference price or index) καθ' όλη τη διάρκεια του PPA. Για κάθε διάστημα διακανονισμού (settlement period), εάν η τιμή αναφοράς είναι μεγαλύτερη από τη «strike», ο πωλητής καταβάλλει τη διαφορά (delta) στον αγοραστή, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει όταν η τιμή αναφοράς είναι χαμηλότερη από τη «strike». Αποτέλεσμα της συμφωνίας είναι ο αγοραστής να χρεώνεται και ο πωλητής να πιστώνεται πάντα τη τιμή «strike» για κάθε συμφωνημένη μονάδα ποσότητας ενέργειας. Περιοδικά, (συνήθως σε μηνιαία ή τριμηνιαία βάση) γίνεται η εκκαθάριση των οφειλόμενων ποσών των 2 μερών και εκτελείται η πληρωμή από τη μεριά με τη μεγαλύτερη οφειλή.



Εικόνα 5: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου PPA χωρίς φυσική παράδοση

Τα συνθετικά PPAs, αποτελούν μια μέθοδο/μηχανισμό οικονομικής αντιστάθμισης (financial hedge) του κινδύνου τιμής (price risk), αφού ο παραγωγός καταφέρνει, σε κάθε περίπτωση, να εξασφαλίσει σταθερά έσοδα, ενώ ο καταναλωτής εξασφαλίζει σταθερό κόστος, ανεξαρτήτως των συνθηκών της χονδρικής αγοράς ηλεκτρισμού. Προϋπόθεση για την εφαρμογή του εικονικού PPA, είναι ο παραγωγός να διαθέτει την παραγόμενη ενέργεια του στην χονδρική αγορά άμεσης παράδοσης, λαμβάνοντας την αντίστοιχη τιμή (Wholesale Price) είτε απευθείας, είτε μέσω μιας οντότητας που του παρέχει πρόσβαση (πχ μέσω ενός Φορέα Σωρευτικής Εκπροσώπησης). Από την άλλη μεριά, ο αγοραστής οφείλει να διατηρεί μια τυπική σύμβαση προμήθειας ενέργειας, με προμηθευτή της επιλογής του. Αξίζει να αναφερθεί ότι η τιμή λιανικής (retail price) στην οποία εκτίθεται ο καταναλωτής βάση του συμβολαίου του, ενδέχεται να μην εμφανίζει πλήρη συσχέτιση με τις τιμές της χονδρικής αγοράς, καθιστώντας τη συγκεκριμένο μέθοδο αντιστάθμισης κινδύνου λιγότερο αποτελεσματική.

Στην Ευρώπη, σε αντίθεση με την Αμερική, με βάση τα διεθνή πρότυπα χρηματοοικονομικής αναφοράς (IFRS) τα εικονικά PPAs συνήθως εμπίπτουν στη κατηγορία των χρηματοοικονομικών παραγώγων, λόγω των ακόλουθων χαρακτηριστικών τους:

A) Η αξία των συμβολαίων αυτών μεταβάλλεται σύμφωνα με τις μεταβολές μιας υποκείμενης τιμής ή δείκτη αναφοράς της αγοράς.

B) Δεν απαιτούν αρχικό κόστος επένδυσης.

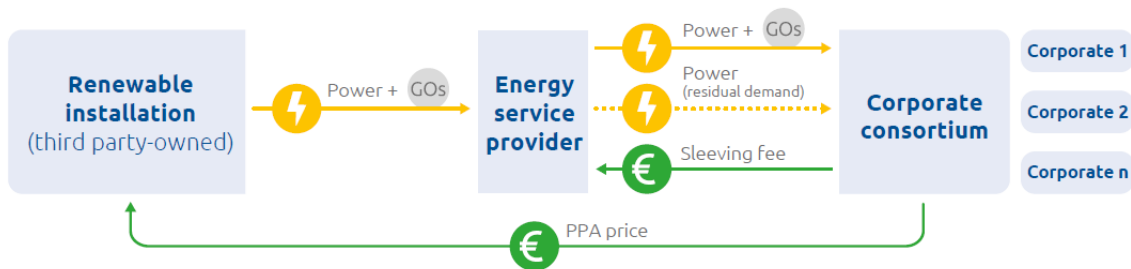
Γ) Η εκκαθάριση πραγματοποιείται σε μελλοντική ημερομηνία.

Τα συμβόλαια παραγώγων απαιτούν λογιστική βάση της τρέχουσας αξίας (mark to market accounting) δηλαδή οι εταιρείες οφείλουν να αναφέρουν/δηλώνουν τις μεταβολές στην αξία τέτοιων συμβολαίων σύμφωνα με την επικρατούσα τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε φορά που παρουσιάζουν τον οικονομικό του ισολογισμό. Κάθε αύξηση ή μείωση της αξίας του PPA θα πρέπει να λογίζεται σαν κέρδος ή ζημία. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντική πρόκληση, καθώς η «δίκαιη» αξία (fair value) του PPA θα βασίζεται στις μελλοντικές τιμές ενέργειας και εφόσον η διάρκεια του συμβολαίου είναι μεγάλη και το περιβάλλον των αγορών είναι διαρκώς μεταβαλλόμενο, τα οικονομικά αποτελέσματα των εταιρειών πιθανόν να εμφανίζουν, περιοδικά, μεγάλες διακυμάνσεις. Παρόλο που τυχόν κέρδη ή ζημίες θα αποτυπωθούν μόνο γραπτώς, ο υποψήφιος αγοραστής θα χρειαστεί να αξιολογήσει τις πιθανές λογιστικές επιπλοκές που ανακύπτουν από ενδεχόμενη σύναψη τέτοιων συμβολαίων.

1.5.3 Παραλλαγές των εξ 'αποστάσεως μοντέλων PPAs (Off-site variants of PPAs)

PPAs με πολλαπλούς αγοραστές (Multi buyer PPAs)

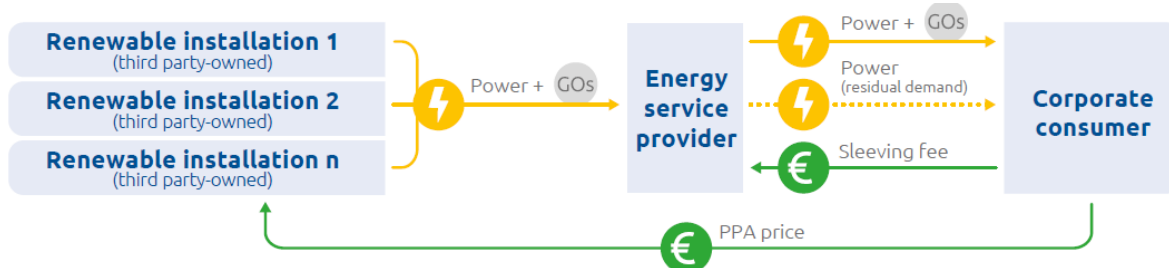
Πολλοί καταναλωτές δύναται να σχηματίσουν μια κοινοπραξία αγοραστών (**Consortium of buyers**) ώστε να εισέλθουν σε σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με μοναδικό πωλητή (συνήθως μεγάλο παραγωγό). Η υλοποίηση της δομής αυτής μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη δημιουργία πολλών ταυτόσημων συμβάσεων, μια για κάθε αγοραστή με τον πωλητή. Ιδανικά, οι αγοραστές προέρχονται από διαφορετικούς τομείς οικονομικής δραστηριότητας προκειμένου οι ανταγωνιστές του ίδιου κλάδου να μην εισέρχονται σε κοινές συμφωνίες προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας. Από τη μεριά του πωλητή, η σύναψη συμφωνίας με κοινοπραξία αγοραστών του δίνει τη δυνατότητα διάθεσης μεγαλύτερου μέρους της παραγωγής του και παράλληλα μειώνει το πιστωτικό κίνδυνο που αντιμετωπίζει χάρη στη διαφοροποίηση που προσφέρει η σύνθεση των συμβαλλόμενων αγοραστών. Από τη μεριά της κοινοπραξίας, η συνένωση πολλών αγοραστών ενισχύει τη διαπραγματευτική τους ισχύ και τους βοηθά να επωφεληθούν από τις οικονομίες κλίμακας, να ξεπεράσουν διαδικαστικά εμπόδια αλλά και να επιμερίσουν τυχόν κόστη. Ωστόσο, σημαντικό μειονέκτημα της δομής αυτής είναι η αύξηση της πολυπλοκότητας του συμβολαίου σαν αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης με μεγάλο αριθμό αντισυμβαλλόμενων. Αυτή η διαμόρφωση μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε PPAs με φυσική παράδοση όσο και σε συνθετικά PPAs.



Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου PPA με πολλαπλούς αγοραστές

PPAs με πολλαπλούς πωλητές (Multi seller PPA)

Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου ενεργοβόροι καταναλωτές έχουν ζήτηση μεγαλύτερη από τη παραγωγή ενός ή περισσότερων μονάδων ΑΠΕ. Ένας ανεξάρτητος Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης (ΦΟΣΕ) συνδυάζει στο χαρτοφυλάκιο του μονάδες ΑΠΕ διαφορετικών πωλητών δίνοντας τους τη δυνατότητα να συνάψουν σύμβαση προμήθειας ενέργειας με τον ενδιαφερόμενο καταναλωτή. Για όλες τις υπηρεσίες που προσφέρει ο ΦΟΣΕ, χρεώνει τους παραγωγούς με ένα τέλος εκπροσώπησης. Με αυτό τον τρόπο, οι ενεργοβόροι καταναλωτές επιτυγχάνουν να καλύψουν τις ανάγκες τους μέσω των διαθέσιμων μονάδων, χωρίς να απαιτείται η είσοδος του σε πολλαπλά PPA. Τέλος, στη περίπτωση φυσικής παράδοσης, το προφίλ πολλαπλών σταθμών ΑΠΕ ενδέχεται να μειώσει τα κόστη εξισορρόπησης του προμηθευτή, οδηγώντας σε ευνοϊκότερο τέλος διαμεσολάβησης για τον καταναλωτή.



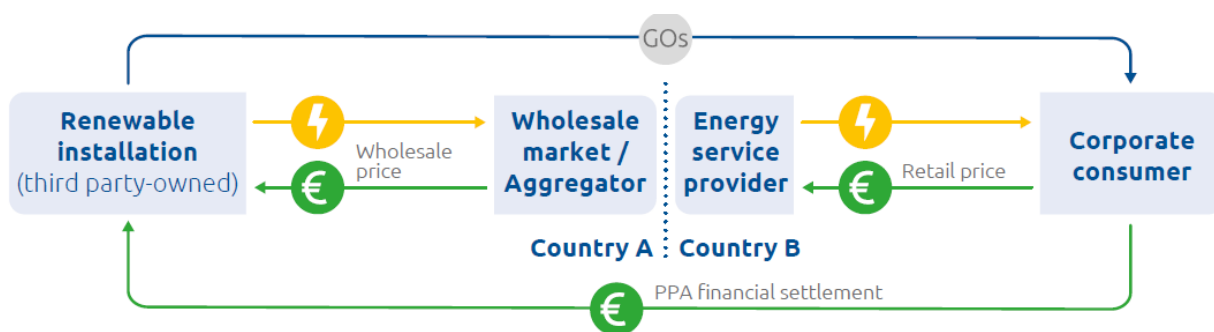
Εικόνα 7: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου PPA με πολλαπλούς πωλητές

Διασυνοριακά PPAs (Cross border PPAs-XB PPAs)

Όλες οι διαμορφώσεις των PPAs που έχουν περιγραφεί σε αυτό το κεφάλαιο με ή χωρίς φυσική παράδοση ενέργειας θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε διασυνοριακό επίπεδο μεταξύ αγοραστών και πωλητών από διαφορετικές χώρες της Ευρώπης.

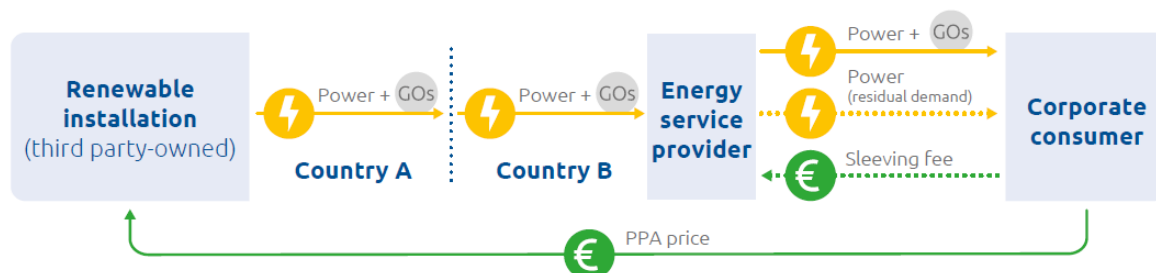
Σε ένα εικονικό PPA διασυνοριακής μορφής, ο πωλητής διαθέτει τη παραγόμενη ενέργεια στη χονδρική αγορά της χώρας που βρίσκεται ο σταθμός του (Χώρα Α) λαμβάνοντας την αντίστοιχη τιμή χονδρικής, ενώ ο καταναλωτής αγοράζει ενέργεια για τις εγκαταστάσεις του από τοπικό προμηθευτή της χώρας του σε τιμές λιανικής (Χώρα Β). Το κυριότερο εμπόδιο εξάπλωσης της συγκεκριμένης διαμόρφωσης έγκειται στο λεγόμενο κίνδυνο βάσης (Basis risk), καθώς η επιλογή χώρας (Α ή Β) και συνεπώς η κυμαινόμενη τιμή αναφοράς της αγοράς με την οποία θα γίνεται ο

διακανονισμός (βάση της προσυμφωνημένης τιμής P_{strike}) είναι πιθανό να μην διασφαλίζει σταθερά έσοδα ή κόστη στο πωλητή ή τον αγοραστή αντίστοιχα. Επιπλέον, λογιστικές περιπλοκότητες λόγω των διεθνών προτύπων IFRS παραμένουν, ενώ σε περιπτώσεις χωρών με διαφορετικό νόμισμα, υπεισέρχεται ο συναλλαγματικός κίνδυνος, ως αποτέλεσμα της διαρκούς μεταβαλλόμενης συναλλαγματικής ισοτιμίας των νομισμάτων αυτών.



Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου PPA διασυνοριακής μορφής χωρίς φυσική παράδοση

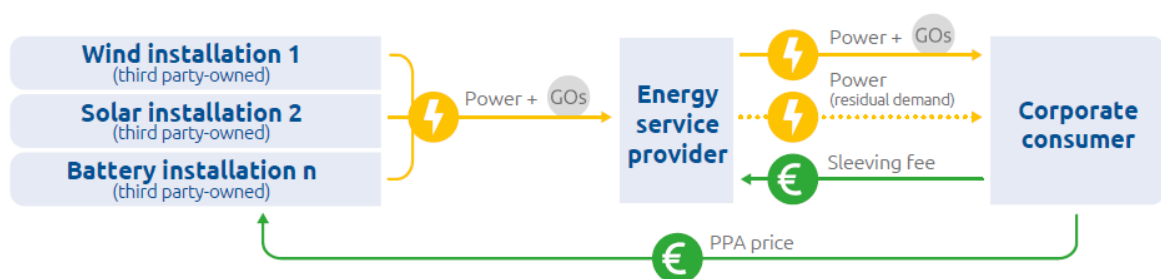
Σε ένα PPA φυσικής παράδοσης διασυνοριακής μορφής, γίνεται δήλωση του προγράμματος φυσικής παράδοσης από τον παραγωγό στον διαχειριστή του συστήματος (system operator) ή/και τον λειτουργό της αγοράς (market operator) προκειμένου να πραγματοποιηθεί η φυσική ροή της παραγόμενης ενέργειας από την μια αγορά στην άλλη, μέσω της διασύνδεσης. Συνήθως, όπως και στη περίπτωση που αγοραστής και πωλητής ανήκουν στην ίδια αγορά, παρεμβάλλεται μια ενδιάμεση οντότητα με άδεια προμήθειας, για τη παραλαβή της ενέργειας και τη συμπλήρωση του προφίλ ζήτησης του καταναλωτή. Απαραίτητη προϋπόθεση για την υλοποίηση αυτής της δομής είναι η κατοχή και η αξιοποίηση των φυσικών δικαιωμάτων μεταφοράς (Physical Transmission Rights-PTRs) σε κάθε διασύνδεση, δηλαδή των δικαιωμάτων για μεταφορά συγκεκριμένης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και δεδομένη κατεύθυνση, μεταξύ δυο διαφορετικών ζωνών προσφοράς [13]. Πρακτικά, κάθε συμμετέχων μιας αγοράς λαμβάνει πρόσβαση σε ένα μέρος της χωρητικότητας της διασύνδεσης μεταξύ των 2 χωρών (ζωνών), όταν αποκτήσει τα προαναφερθέντα δικαιώματα μέσω ανταγωνιστικών δημοπρασιών άμεσα (σε ετήσια, μηνιαία ή ημερήσια βάση) ή έμμεσα (σε ημερήσια βάση). Ωστόσο, με δεδομένη τη ανάγκη απόκτησης των δικαιωμάτων μεταφοράς, τα PPA αυτού του είδους εμφανίζουν μεγάλη αβεβαιότητα: Αφενός, η χρονική διάρκεια του PPA είναι πολυετής, γεγονός που επιβάλλει τη μακροχρόνια εξασφάλιση των δικαιωμάτων μεταφοράς και αφετέρου, η διαχείριση του κόστους των δικαιωμάτων που αποκτήθηκαν μέσω ανταγωνιστικών διαδικασιών, δημιουργεί αναπόφευκτα, για το κάτοχο τους, οικονομικό κίνδυνο. Τέλος, οι όροι των συμβολαίων θα πρέπει να διευθετούν και τις περιπτώσεις κατελημμένης διασύνδεσης λόγω προγραμματισμένων (πχ τακτικές συντηρήσεις) και έκτακτων συμβάντων (πχ βλάβες).



Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου PPA διασυννοριακής μορφής με φυσική παράδοση

PPAs πολλαπλών τεχνολογιών (multi technology PPAs)

Ένα PPA που καλύπτει 2 ή περισσότερα έργα διαφορετικών τεχνολογιών ΑΠΕ εντάσσεται στη συγκεκριμένη διαμόρφωση [14]. Βασικός στόχος του συνδυασμού τεχνολογιών είναι η δημιουργία ενός σταθερότερου προφίλ παραγωγής σε σχέση με τις έντονες διακυμάνσεις που παρουσιάζει η χρήση μοναδικής τεχνολογίας, κυρίως αιολικών και ηλιακών σταθμών. Έτσι, σε ένα PPA φυσικής παράδοσης, η παραγόμενη ενέργεια ομαλοποιείται και συμβαδίζει περισσότερο με τα χαρακτηριστικά της ζήτησης του αγοραστή.



Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου PPA πολλαπλών τεχνολογιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Κίνδυνοι, δομές παράδοσης και τιμολόγησης των PPA's

2.1 Η έννοια του κινδύνου στα PPA's

Στη βιβλιογραφία, ο βασικός ορισμός του κινδύνου (ρίσκου) είναι η πιθανότητα να υποστεί κάποιος απώλεια ή ζημιά. Στο πλαίσιο των PPA's, ο όρος «κίνδυνος» μπορεί να διατυπωθεί ως η πιθανότητα αρνητικής οικονομικής έκβασης της συμφωνίας για τα κύρια μέλη της, λόγω ύπαρξης αβεβαιότητας σε κάθε παράγοντα που την επηρεάζει ή ενδέχεται να την επηρεάσει από τη στιγμή έναρξης της. Παραδείγματα τέτοιων σημαντικών αστάθμητων παραγόντων αποτελούν η εξέλιξη των τιμών της χονδρικής αγοράς ρεύματος, η λειτουργία, η απόδοση και η διαθεσιμότητα του σταθμού παραγωγής, αλλαγές στο νομοθετικό/κανονιστικό πλαίσιο, η τήρηση των δεσμεύσεων πληρωμής κ.α. Επομένως, ένα ή περισσότερα δυσμενή σενάρια εξέλιξης της συμφωνίας για τις δυο μεριές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε επιμέρους κατηγορίες κινδύνου, για κατάλληλη αναγνώριση και αξιολόγηση, με απώτερο σκοπό τη βέλτιστη κατανομή ή εφόσον είναι εφικτό, τον μετριασμό/εξάλειψη τους. Τα θεμέλια μιας επιτυχούς και αποδοτικής συμφωνίας στηρίζονται στην ισορροπημένη και δίκαιη κατανομή των διαφόρων ειδών κινδύνου στα μέλη της ή ακόμη και ανάθεση τους σε τρίτους. Για το λόγο αυτό, ιδανικά, θα πρέπει να εφαρμόζεται η παλαιά αρχή κατανομής κινδύνου στη χρηματοδότηση έργων, δηλαδή κάθε είδος να αποδίδεται στη μεριά που μπορεί να το διαχειριστεί αποτελεσματικότερα. Παρακάτω ακολουθούν οι βασικότερες κατηγοριοποιήσεις κινδύνων που λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαπραγμάτευση ενός PPA[15,16,17]:

1) **Κίνδυνος Ανάπτυξης (Development risk):**

Η μονάδα παραγωγής για την οποία έχει έρθει σε συμφωνία πωλητής και αγοραστής δεν λαμβάνει έγκαιρη αδειοδότηση ή δεν προχωράει εγκαίρως/καθόλου στο στάδιο κατασκευής ή λειτουργίας.

2) **Λειτουργικός Κίνδυνος/Κίνδυνος Απόδοσης (Performance/Operational risk):**

Για οποιοδήποτε λόγο μια μονάδα ΑΠΕ δεν αποδίδει όπως αναμενόταν (πχ έχει χαμηλότερο συντελεστή διαθεσιμότητας από τον προβλεπόμενο) ή δεν επιτυγχάνει την εγγυημένη καμπύλη απόδοσης (power curve)/ ή συντελεστή απόδοσης (performance ratio) για Αιολικά/ΦΒ αντίστοιχα.

3) **Κίνδυνος ποσότητας παραγωγής (Volume risk):**

Η μονάδα ΑΠΕ δεν παράγει την ποσότητα ενέργειας που αναμενόταν στο χρονικό ορίζοντα του συμβολαίου με βάση τα μοντέλα προσομοίωσης μακροπρόθεσμων (πχ 20-30 έτη) μετεωρολογικών δεδομένων, λόγω αποκλίσεων στα επίπεδα των διαθέσιμων φυσικών πόρων.

4) **Κίνδυνος Προφίλ/Μορφής (Shape/profile risk):**

Ακόμα και αν η παραγόμενη ποσότητα παραχθεί στον χρονικό ορίζοντα του PPA, η ωραία παραγωγή θα διαφέρει από ένα τυπικό 24-ώρο προϊόν ελάχιστης ζήτησης (standard 24h baseload product) για παράδοση ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, η αξία της παραγόμενης ενέργειας λόγω της ωραίας διακύμανσης των τιμών, θα αποκλίνει από την ισοδύναμη αξία του τυπικού προϊόντος.

5) **Κίνδυνος κανιβαλισμού (Cannibalisation risk):**

Πρόκειται για ένα φαινόμενο το οποίο εντείνεται με την ολοένα και μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρισμού. Πρόκειται για την αρνητική συσχέτιση μεταξύ της τιμής στη spot αγορά και της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Όσο περισσότερη είναι η συνεισφορά των ΑΠΕ στην κάλυψη του φορτίου της ζήτησης τόσο χαμηλότερη είναι η spot τιμή καθώς το ιδιαίτερα χαμηλό οριακό κόστος των ΑΠΕ σε συνδυασμό με τις ευνοϊκές συνθήκες παραγωγής για τις μονάδες αυτές, ωθεί τις τιμές σε χαμηλά επίπεδα.

6) **Κίνδυνος Βάσης (Basis risk):**

Η τιμή αναφοράς που έχει προσυμφωνηθεί στο PPA δεν συσχετίζεται με τις τιμές ηλεκτρισμού στις οποίες ο καταναλωτής εκτίθεται, μέσω της δικής του σύμβασης προμήθειας ηλεκτρισμού σε τοπικό επίπεδο. Αφορά κυρίως τα «εικονικά PPAs» αλλά και σε PPAs φυσικής παράδοσης σε αγορές με ζωνική τιμολόγηση (πχ Αμερική).

7) **Κίνδυνος εξισορρόπησης/αποκλίσεων (Balancing/Imbalance risk risk):**

Οι ωριαίες αποκλίσεις μεταξύ της προγραμματισμένης/προβλεπόμενης και της πραγματικά παραγόμενης ενέργειας μια μονάδας παραγωγής οδηγούν σε χρεώσεις αποκλίσεων από το διαχειριστή του συστήματος, στο κάτοχο της μονάδας.

8) **Πιστωτικός Κίνδυνος (Credit limit risk):**

Αφορά τον κίνδυνο που συνδέεται με την μη εκπλήρωση των συμβατικών δεσμεύσεων από τα μέρη που έχουν υπογράψει τη συμφωνία. Ο κίνδυνος αυτός χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες: Α) Κίνδυνος διακανονισμού, που αφορά τυχόν καθυστερήσεις ή μη εκπλήρωση πληρωμών και Β) Κίνδυνος αντικατάστασης, όταν δηλαδή δεν τηρούνται οι συμβατικές υποχρεώσεις εντός του PPA, πράγμα που οδηγεί στην ανάγκη για νέα συμφωνία με βάση τις τρέχουσες τιμές της αγοράς (επιβαλλόμενο «κόστος αντικατάστασης»).

9) **Κίνδυνος ρευστότητας (Liquidity risk):**

Μια αγορά ηλεκτρισμού με επαρκή ρευστότητα, προωθεί τον ανταγωνισμό και την αποδοτικότητα, καθώς διαθέτει ικανό αριθμό συμμετεχόντων, πρόθυμων για συναλλαγές σε συνεχή βάση. Οι αγοραπωλησίες ενέργειας εκτελούνται άμεσα και οι χαμηλοί όγκοι συναλλαγών δεν δημιουργούν έντονη μεταβολή της επικρατούσας τιμής, ούτε προκαλούν σημαντικά κόστη συναλλαγών. Ωστόσο, δεν διαθέτουν (ούτε είναι βέβαιο ότι θα συνεχίσουν να διαθέτουν) όλες οι αγορές ικανοποιητικό επίπεδο ρευστότητας, οδηγώντας σε υψηλά κόστη εξαρτώμενα από τη «ψαλίδα» ζήτησης και προσφοράς.

10) **Κίνδυνος τιμής (Price Risk):**

Η προσυμφωνημένη τιμή ενός PPA είτε είναι σταθερή είτε κυμαινόμενη, ελλοχεύει κίνδυνο για ένα από τα δύο συμβαλλόμενα μέρη. Σε περιπτώσεις όπου η τιμή της spot αγοράς διατηρείται χαμηλότερα από την «strike price» για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, δεν εκπληρώνεται η προσδοκία του αγοραστή για «οικονομικότερη» προμήθεια ενέργειας, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει για τον πωλητή που επιδιώκει την αμεσότερη απόσβεση της επένδυσης του (ή/και την μεγιστοποίηση των κερδών του από αυτή).

11) **Εμπορικό Κίνδυνος (Merchant Risk):**

Είναι ο κίνδυνος εσόδων (ή δαπανών) για έναν αγοραστή ή πωλητή που προκύπτει ως συνδυασμός της άγνωστης ποσότητας παραγωγής που αναμένεται να παραχθεί και της άγνωστης τιμής που θα επικρατεί στη spot αγορά την χρονική στιγμή της παραγωγής.

12) Κίνδυνος της χρονικής διάρκειας (Tenor risk):

Η χρονική διάρκεια του συμβολαίου δημιουργεί κίνδυνο που είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την μέθοδο τιμολόγησης. Για παράδειγμα, μια σύμβαση μεγάλης χρονικής διάρκειας στην οποία έχει συμφωνηθεί σταθερή τιμή, δημιουργεί για τον αγοραστή την πιθανότητα να εξοικονομήσει χρήματα ή να «εγκλωβιστεί» σε μια ασύμφορη τιμή (την προσυμφωνημένη) για μεγάλο χρονικό διάστημα.

13) Νομικός Κίνδυνος (Legal risk):

Πηγάζει από τις νομικές προεκτάσεις που δημιουργούνται για τα κύρια μέλη της συμφωνίας, ως αποτέλεσμα απροσδόκητων καταστάσεων όπως οι αλλαγές ιδιοκτησίας ή διαχείρισης, η ανωτέρα βία, ο τερματισμός του PPA κ.α.

14) Κίνδυνος νομοθεσίας/κανονισμών (Law/regulation risk):

Οι νόμοι και οι κανονισμοί τροποποιούνται/καταργούνται με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την ισορροπία μεταξύ οφέλους και κόστους που έχει δημιουργηθεί μέσω ενός PPA (πχ αλλαγή φορολογίας).

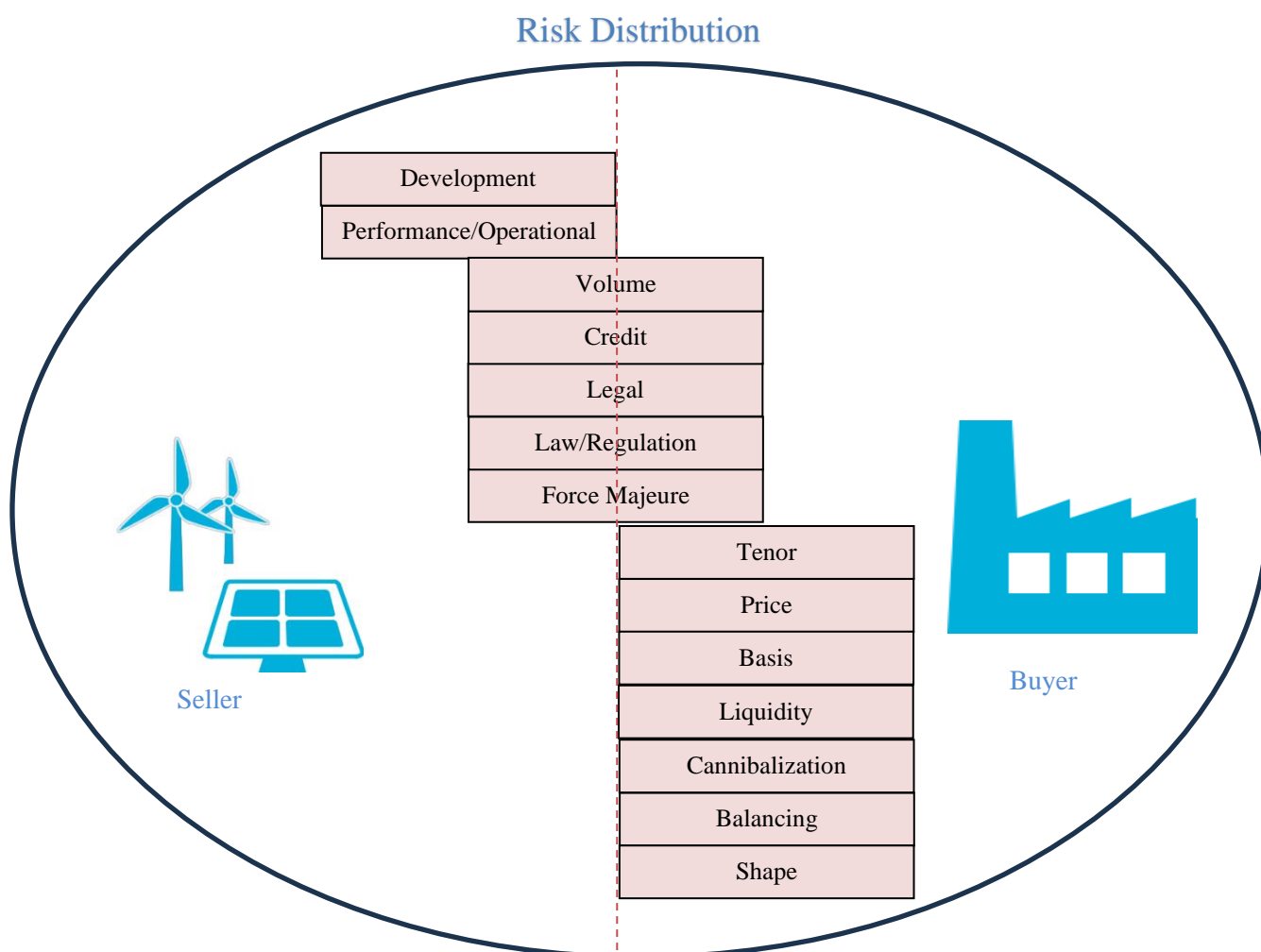
15) Κίνδυνος για λόγους ανωτέρας βίας (Force Majeure Risk):

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή της λειτουργίας ενός έργου, εξωγενείς-απρόβλεπτοι παράγοντες μπορούν να συμβούν και να καθυστερήσουν την κατασκευή ή να επηρεάσουν την παραγωγή του έργου αυτού. Τέτοιοι παράγοντες δεν είναι ελέγξιμοι από τον αγοραστή ή τον πωλητή (πχ ζημιές από πλημμύρες, φωτιές, τυφώνες κλπ) και επομένως, σε ένα PPA θα πρέπει να υπάρχει ένας μηχανισμός κατανομής του κινδύνου των περιπτώσεων αυτών.

Τυπικά, οι κίνδυνοι που αφορούν την ανάπτυξη και λειτουργία του σταθμού παραγωγής αποδίδονται στον πωλητή, ενώ ο κίνδυνος τιμής, βάσης και χρονικής διάρκειας για τις δομές σταθερής τιμολόγησης, αποδίδεται εξολοκλήρου στον αγοραστή. Αναλόγως, την απευθείας συμμετοχή τους ή όχι στη χονδρική αγορά, και οι δυο μεριές ενδέχεται να αναλάβουν μέρος από τους κινδύνους ρευστότητας, κανιβαλισμού και εξισορρόπησης. Ο κίνδυνος του προφίλ αφορά την ύπαρξη ή όχι βραχυπρόθεσμων (πχ ωριαίων) περιορισμών παράδοσης της ενέργειας στον αγοραστή, ενώ ο κίνδυνος της ποσότητας αφορά μακροπρόθεσμους περιορισμούς παράδοσης (πχ ετήσιοι). Στη περίπτωση μιας δομής χωρίς περιορισμούς παράδοσης, παρόλο που ο κίνδυνος του προφίλ αποδίδεται αναμφισβήτητα στον αγοραστή, ο κίνδυνος της ποσότητας κατανέμεται και στις δυο μεριές, καθώς απροσδόκητες αποκλίσεις σε σχέση με τη μελέτη αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης του έργου, επηρεάζουν τόσο τα έσοδα του παραγωγού όσο και τις δαπάνες του καταναλωτή. Τέλος, γενικά είδη κινδύνου (Νομοθεσίας, Ανωτέρας Βίας, Νομικοί κίνδυνοι) διαμοιράζονται με δίκαιο τρόπο εκατέρωθεν και των δυο μερών. Εάν ένα μέλος της συμφωνίας αναλάβει κίνδυνο που δεν συνηθίζεται να κατανέμεται σε εκείνο, θα προσδοκά να λάβει κάποιο όφελος για την ανάληψη αυτού του κινδύνου. Στην περίπτωση του αγοραστή, η προσδοκία θα μπορούσε να είναι η εξασφάλιση χαμηλότερη τιμής, ενώ για τον πωλητή η ταχύτερη απόσβεση της επένδυσής του. Επομένως, παρόλο που οι διαπραγματεύσεις ενδέχεται να καταλήξουν σε εμπορική επιτυχία για τη μια μεριά, καθώς εξασφάλισε έναν ευνοϊκότερο όρο «μετακυλίοντα» μια κατηγορία κινδύνου στον αντισυμβαλλόμενο της, εντούτοις είναι πιθανό να επωμιστεί το κόστος του κινδύνου αυτού με διαφορετική μορφή. Η κατάλληλη αξιολόγηση και κατανομή του

κινδύνου στα PPAs θα πρέπει να αποσκοπεί στην παροχή επαρκών κινήτρων ώστε τα συμβαλλόμενα μέρη να εκπληρώνουν τις υποχρεώσεις τους βάσει των όρων της συμφωνίας.

Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται η κατανομή κινδύνων (Risk Distribution) ενός συμβολαίου με δομή σταθερής τιμολόγησης, χωρίς περιορισμούς παράδοσης, με τη παραδοχή ότι το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας του έργου διατίθεται αποκλειστικά στον αγοραστή.



Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση κατανομής κινδύνων ενός τυπικού PPA σταθερής τιμολόγησης, χωρίς περιορισμούς παράδοσης και με τη παραδοχή ότι το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας του έργου διατίθεται αποκλειστικά στον αγοραστή.

2.2 Συνήθεις δομές παράδοσης ενέργειας

Ένας από τους σημαντικότερους όρους-αναγνωριστικό του PPA, είναι οι επιλεγμένες δομές παράδοσης/ποσότητας (Delivery/Volume Structures) της παραγόμενης ενέργειας από τις εγκαταστάσεις του πωλητή στο συμφωνημένο σημείο παραλαβής. Τα PPAs συχνά χρησιμοποιούν ποικίλες δομές παράδοσης για να ανταποκρίνονται στις μοναδικές ανάγκες των αγοραστών και των πωλητών της αγοράς ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία όπως το προφίλ παραγωγής του σταθμού και το προφίλ ζήτησης του αγοραστή, αυτές οι δομές παράδοσης στοχεύουν στην επίτευξη ισορροπίας μεταξύ ευελιξίας και κερδοφορίας των δυο μελών. Οι δομές αυτές θέτουν τόσο τα ποσοτικά όσο και τα χρονικά όρια παράδοσης καθορίζοντας τη φύση της προμήθειας ενέργειας αλλά και τις υποχρεώσεις κάθε εμπλεκόμενου μέλους σε όλο τον ορίζοντα της συμφωνίας. Σε γενικό πλαίσιο, οι βασικές κατηγοριοποιήσεις των δομών αυτών είναι ακόλουθες: 1) Πληρωμή αναλόγως το προφίλ παραγωγής (Pay-as-Produced) 2) Πληρωμή αναλόγως τη συμφωνία (Pay-as-Contracted) και 3) Πληρωμή αναλόγως τη ζήτηση (Pay-as-Consumed) [18].

2.2.1 Πληρωμή αναλόγως το προφίλ παραγωγής (Pay-as-Produced, PaP)

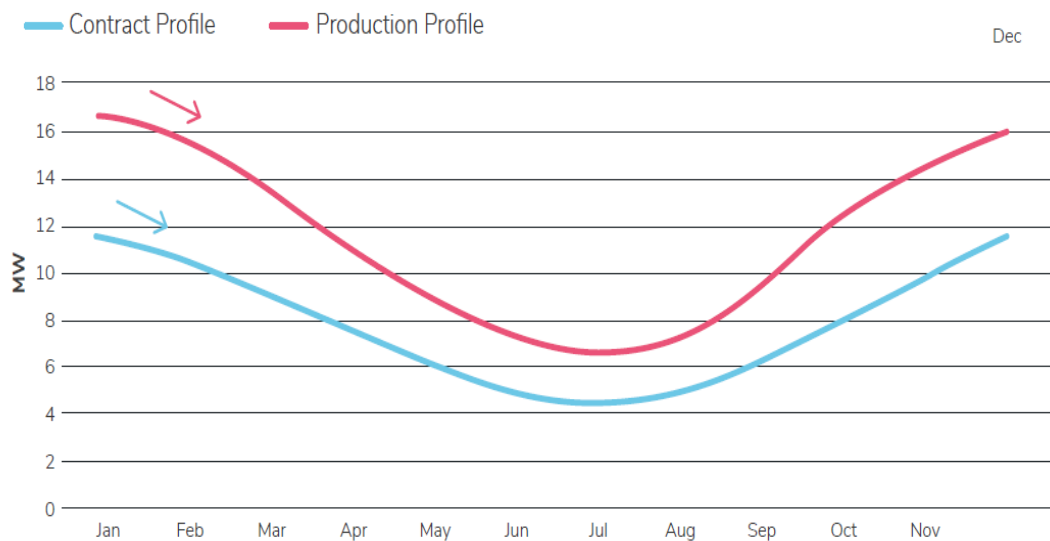
Πρόκειται για τη δημοφιλέστερη μορφή PPA στην Ευρώπη και η επικρατέστερη στις ανερχόμενες αγορές λόγω της απλότητας που προσφέρει στην εφαρμογή της. Τα συμβόλαια αυτού του είδους, έχουν ουσιαστικά εγγυηθεί στους πωλητές μια σταθερή τιμή για κάθε MWh παραγόμενης ενέργειας σε οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια του συμβολαίου, προσφέροντας μια τέλεια αντικατάσταση της μακροχρόνιας χρηματοοικονομικής ασφάλειας που παρείχαν σχήματα επιδοτήσεων όπως το FiT. Σημειώνεται ότι οι δομές PaP, δεν περιορίζονται σε μεθόδους τιμολόγησης σταθερής τιμής παρόλο που η πλειοψηφία των PPAs, έχει εφαρμοστεί κατ' αυτό το τρόπο. Επίσης, ο πωλητής μπορεί να επιλέξει να διαθέσει μέσω του PPA το σύνολο ή ένα μερίδιο της προγραμματισμένης παραγωγής του, χωρίς περιορισμούς παράδοσης, και ο αγοραστής, φέρει την υποχρέωση παραλαβής της εκάστοτε συμφωνηθείσας ποσότητας, ανεξαρτήτως της ζήτησης του. Η 2^η περίπτωση, αφορά τους πωλητές που, δεδομένης της ευκαιρίας για αποκόμιση πρόσθετων κερδών σε σενάρια ευνοϊκής (για εκείνους) εξέλιξης των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, επιθυμούν να εκθέτουν μέρος των εσόδων τους σε εμπορικό κίνδυνο, πουλώντας μέρος της παραγόμενης ενέργειας στη χονδρική αγορά άμεσης παράδοσης. Μάλιστα, κριτήρια που έχουν τεθεί σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης, ορίζουν ότι τουλάχιστον το 70% της παραγωγής ενός έργου οφείλει να συμβολαιοποιηθεί μέσω ενός PPA με χρονικό ορίζοντα τουλάχιστον το 70% της περιόδου αποπληρωμής του δανείου, προκειμένου να γίνει αποδεκτό και να λάβει χρηματοδότηση από τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα.

Μια δομή PaP σταθερής τιμής, αποτελεί την οικονομικότερη επιλογή για τον αγοραστή σε σχέση με τις προαναφερθείσες δομές (Pay-as-Contracted και Pay-as-Consumed) καθώς σημαντικοί κίνδυνοι, όπως της τιμής, της ρευστότητας, του κανιβαλισμού και του προφίλ, αποδίδονται εξολοκλήρου σε εκείνον. Αυτό συμβαίνει διότι για τη πραγματοποίηση της δομής αυτής, ο αγοραστής είναι υπεύθυνος για όλη τη διαχείριση της παραγόμενης ποσότητας, δηλαδή για τις διαδικασίες μορφοποίησης (shaping) και εξισορρόπησης (balancing) [19]. Η πρώτη διαδικασία αφορά την μετατροπή του μεταβαλλόμενου προφίλ παραγωγής σε σταθερές τμηματικές παραδόσεις που συμβαδίζουν με τη ζήτηση του, ενώ η δεύτερη την ανάληψη ευθύνης για τις καθαρές αποκλίσεις μεταξύ της παραγωγής και του φορτίου του. Πρακτικά, οι μεγάλοι αγοραστές που διαθέτουν τα δικά τους τμήματα συναλλαγών ενέργειας (energy trading departments) έχουν

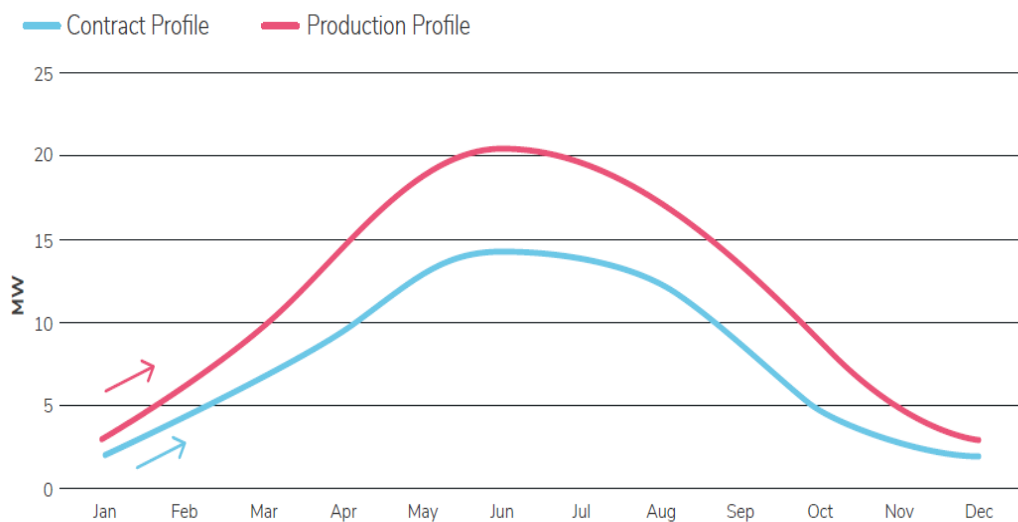
τη δυνατότητα διαχείρισης τέτοιου είδους κινδύνων και μπορούν να επωφεληθούν από τη χαμηλή συμφωνημένη τιμή, μεγιστοποιώντας και τον αριθμό των αποκτηθέντων εγγυήσεων προέλευσης.

Στις συμβάσεις PaP αποδίδεται και ο χαρακτηρισμός “Unit Contingent” που σημαίνει ότι η ενέργεια προς παράδοση από τον πωλητή στον αγοραστή θα προέρχεται αποκλειστικά από τη μονάδα παραγωγής και μόνο στο βαθμό που η μονάδα αυτή βρίσκεται σε λειτουργία. Τυχόν αδυναμία του πωλητή να παραδώσει ενέργεια δικαιολογείται μόνο τη περίοδο κατά την οποία η μονάδα δεν είναι διαθέσιμη ως αποτέλεσμα προγραμματισμένης συντήρησης, υποχρεωτικής διακοπής ή περιστατικού ανωτέρας βίας.

Στις παρακάτω εικόνες, φαίνεται ένα τυπικό προφίλ παραγωγής ενός αιολικού και ενός ΦΒ σταθμού κατά τη διάρκεια του έτους, καθώς και η πανομοιότυπη καμπύλη της συμβολαιοποιημένης ισχύος για μια δομή παράδοσης PaP.



Εικόνα 12: Σύγκριση καμπυλών παραγωγής και συμβολαιοποιημένης ισχύος για έναν αιολικό σταθμό σε δομή PaP



Εικόνα 13: Σύγκριση καμπυλών παραγωγής και συμβολαιοποιημένης ισχύος για έναν ΦΒ σταθμό σε δομή PaP

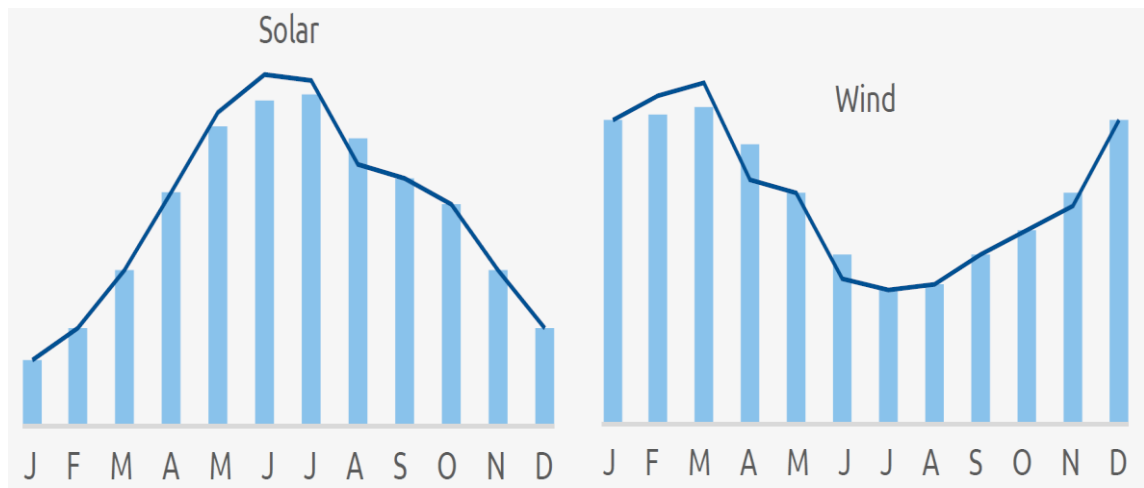
2.2.2 Πληρωμή αναλόγως τη συμφωνία (Pay-as-Contracted)

Στις ωριμότερες αγορές της Ευρώπης (Σκανδιναβικές Χώρες και Ισπανία) και στις αγορές με τη μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ, η διαθεσιμότητα των δομών PaP μειώνεται συνεχώς, καθώς γίνεται ολοένα και λιγότερο ελκυστική επιλογή για τους παραλήπτες της ενέργειας, κυρίως λόγω του φαινομένου του κανιβαλισμού. Τη θέση της λαμβάνουν οι συμφωνίες με πληρωμή αναλόγως τη συμφωνία ή εναλλακτικά οι μορφοποιημένες δομές PPAs (shaped PPAs), στις οποίες ο πωλητής εγγυάται στον αγοραστή μια προκαθορισμένη ποσότητας παράδοσης σε ορισμένο χρονικό διάστημα [20]. Η εγγύηση αυτή μπορεί να εφαρμόζεται σε ετήσια, τριμηνιαία, μηνιαία ή ακόμη και ωριαία βάση αναλόγως με τη επιλεγμένη κλίμακα (granularity) του προφίλ παράδοσης και έχει ως στόχο να αφαιρέσει μέρος ή το σύνολο των κινδύνων προφίλ και ποσότητας που επωμίζεται ο αγοραστής λόγω της αβεβαιότητας που περιλαμβάνει η παραγωγή του έργου. Επιπροσθέτως, η παραδιδόμενη ενέργεια σε αρκετές περιπτώσεις, συμβαδίζει με το προφίλ κατανάλωσης του αγοραστή, γεγονός που καθιστά την υπολειπόμενη θέση (διαφορά ζήτησης και παραδιδόμενης ενέργειας) του αγοραστή περισσότερο προβλέψιμη και άρα ευκολότερα διαχειρίσιμη. Αυτή η βελτιωμένη αντιστοίχιση (alignment) μεταξύ φορτίου κατανάλωσης και παραδιδόμενης ενέργειας, ιδιαίτερα για τους καταναλωτές με άμεση εξάρτηση από τις τιμές της χονδρικής αγοράς, είναι εφικτό να καταστήσει ένα PPA αυτού του είδους, ως ένα βελτιωμένο μηχανισμό οικονομικής αντιστάθμισης, παρέχοντας τους προστασία έναντι των διακυμάνσεων των μελλοντικών τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συμφωνηθείσες ποσότητες παράδοσης γίνονται περισσότερο συμβατές με τα τυποποιημένα εξω-χρηματιστηριακά (OTC-Over the Counter) χρηματοοικονομικά προϊόντα, επιτρέποντας στον αγοραστή να αντισταθμίσει τον κίνδυνο «κλειδώνοντας» τη μελλοντική αξία της ηλεκτρικής του κατανάλωσης.

Τυπικά, οι δομές Pay-as-Contracted είναι ακριβότερες από τις δομές PaP και μάλιστα όσο αυστηρότεροι είναι οι περιορισμοί παράδοσης (ποσοτικοί και χρονικοί), τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του συμβολαίου. Σε βραχυπρόθεσμες περιόδους παράδοσης (πχ ωριαία κλίμακα) η διαφορά μεταξύ της πραγματικής παραγωγής και του συμφωνημένης ποσότητας θα πρέπει να διακανονιστεί στη spot αγορά, εισάγοντας ένα πιθανό όφελος ή κόστος για το πωλητή, ως αποτέλεσμα της ανάληψης μέρους ή του συνόλου των κινδύνων ποσότητας και προφίλ. Για το λόγο αυτό, συνήθως απαιτούν η προσυμφωνημένη τιμή (P_{strike}) να εμπεριέχει ξεχωριστή προσαύξηση (price premium). Οι 4 συνηθέστερες δομές που εμφανίζονται στη βιβλιογραφία έχουν ωριαία κλίμακα παράδοσης και είναι οι ακόλουθες [9]:

A) Προκαθορισμένου προφίλ (Predefined Profile)

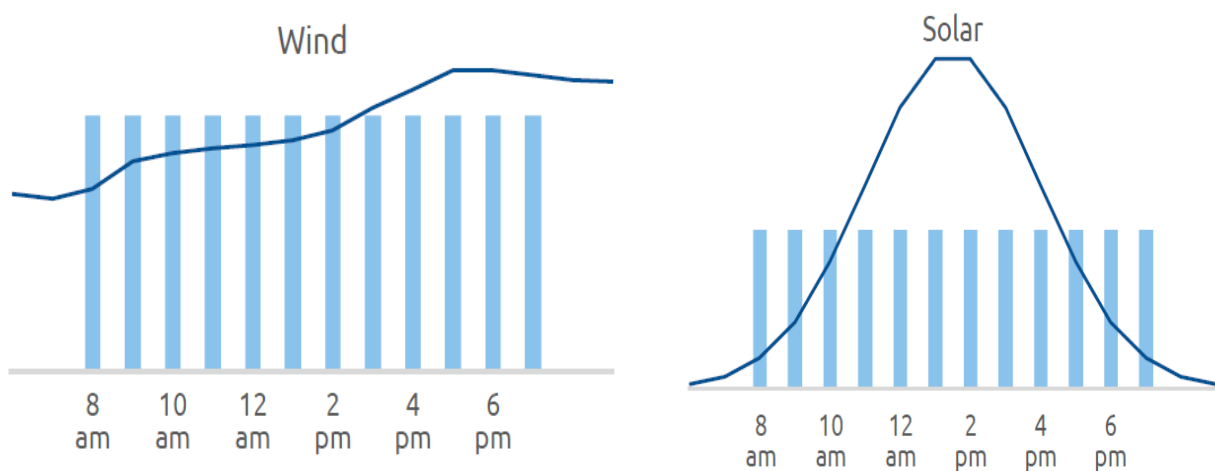
Η ενέργεια που παραδίδεται από τον πωλητή στον αγοραστή, ακολουθεί ένα προκαθορισμένο ημερήσιο (24-ώρο) προφίλ, διαφορετικό για κάθε μήνα του έτους. Για παράδειγμα, ένα τεχνητό προφίλ παραγωγής ενός ΦΒ πάρκου μπορεί να προκύψει, βάσει ιστορικών στοιχείων, ως το μέσο μηνιαίο προφίλ παραγωγής απ' όλες τις ημέρες ενός συγκεκριμένου μήνα. Βασικό πλεονέκτημα αυτή της δομής είναι ότι λαμβάνει υπόψη τόσο την ημερήσια όσο και την εποχική μεταβλητότητα της παραγωγής, για κάθε ωριαίο διάστημα ξεχωριστά, καθιστώντας τη καταλληλότερη για εφαρμογή σε ΦΒ έργα.



Εικόνα 14: Σύγκριση καμπυλών παραγωγής και συμβολαιοποιημένης ισχύος για έναν αιολικό και έναν ΦΒ σταθμό σε δομή προκαθορισμένου προφίλ.

B) Ημερήσιο προφίλ αιχμής (All day peak load Profile)

Είναι η λιγότερο συνήθης δομή παράδοσης καθώς αντιπροσωπεύει μια συμφωνία ενεργή μόνο κατά τις ώρες αιχμής της κατανάλωσης (Δευτέρα έως Παρασκευή, καθημερινά 08:00-20:00). Εδώ, ο αγοραστής δεσμεύεται να παραλάβει σε ωριαία βάση, μια σταθερή ποσότητα ενέργειας, για κάθε ώρα αιχμής ενός συγκεκριμένου μήνα.

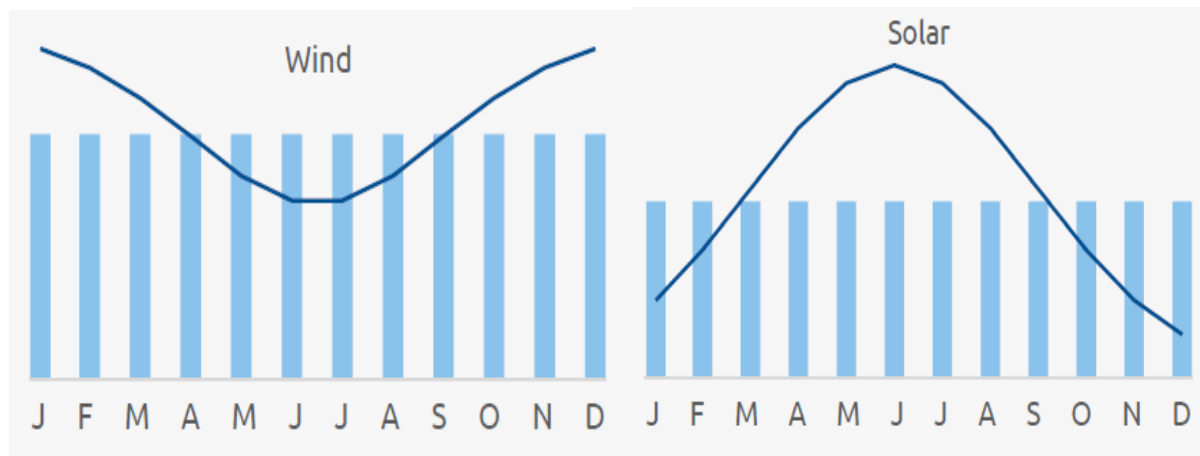


Εικόνα 15: Σύγκριση καμπυλών παραγωγής και συμβολαιοποιημένης ισχύος για έναν αιολικό και έναν ΦΒ σταθμό σε δομή ημερήσιου προφίλ αιχμής

Γ) Ετήσιο Φορτίο βάσης (Annual Baseload)

Εν γένει ο όρος φορτίο βάσης αναφέρεται στο ελάχιστο επίπεδο ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για μια χρονική περίοδο και δεν περιλαμβάνει αιχμές, οι οποίες μπορεί να προκληθούν από απότομη μεταβολή της ζήτησης. Στα PPAs, μια δομή ετήσιου φορτίου βάσης αφορά την υποχρέωση του πωλητή να παρέχει στον αγοραστή μια σταθερή ποσότητας ενέργειας για κάθε ώρα, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες δυο δομές, ο κίνδυνος του προφίλ και της ποσότητας αποδίδεται εξολοκλήρου στον παραγωγό, λόγω της αυστηρότητας των χρονοδιαγραμμάτων παράδοσης και της αυξημένης πιθανότητας για αδυναμία κάλυψης του προσυμφωνημένου ορίου ενέργειας. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που καθιστά τη χρηματοδότηση των έργων ΑΠΕ που συμμετέχουν σε συμφωνίες αυτού του είδους δυσκολότερη.

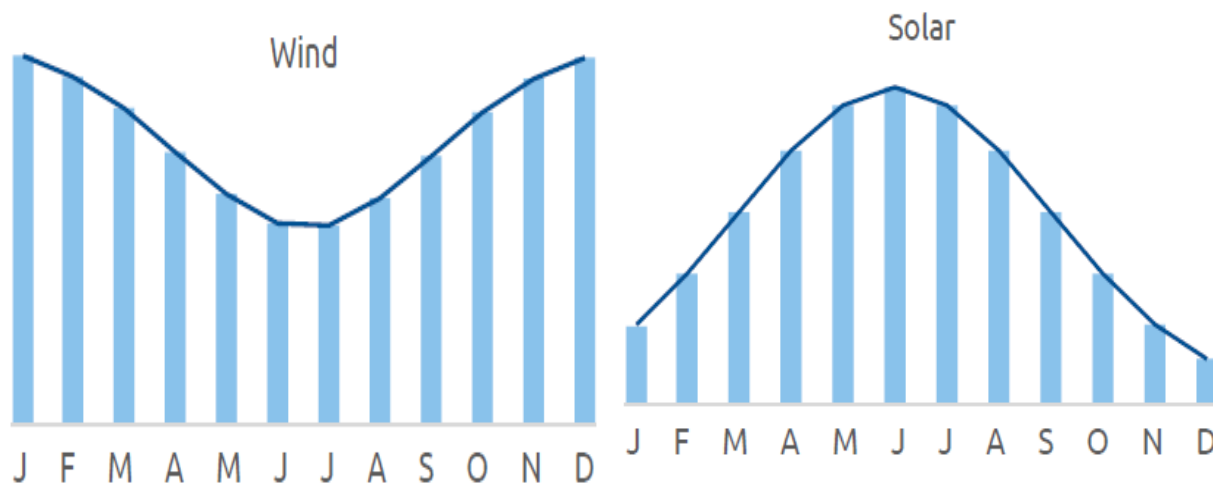
Επίσης, γίνεται αντιληπτό ότι οι δομές φορτίου βάσης είναι επιβλαβείς για ηλιακούς σταθμούς παραγωγής, εφόσον αδυνατούν να παράξουν ενέργεια τις βραδινές ώρες, εκθέτοντας σε σημαντικό εμπορικό κίνδυνο τον πωλητή, ο οποίος, προκειμένου να παραμείνει συνεπής στις ποσοτικές του δεσμεύσεις, ενδέχεται να προμηθεύεται την ενέργεια από τη spot αγορά συστηματικά σε ακριβότερη τιμή συγκριτικά με τη προσυμφωνημένη του συμβολαίου του.



Εικόνα 16: Σύγκριση καμπυλών παραγωγής και συμβολαιοποιημένης ισχύος για έναν αιολικό και έναν ΦΒ σταθμό σε δομή ετήσιου φορτίου βάσης

Δ) Μηνιαίο Φορτίο βάσης (Monthly Baseload)

Ένα PPA με δομή μηνιαίου φορτίου βάσης έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με εκείνα ενός ετήσιου φορτίου βάσης. Η αγορά ενέργειας αφορά μια σταθερή ποσότητα για κάθε ώρα ενός μήνα, δηλαδή συνυπολογίζεται η εποχική μεταβλητότητα της παραγωγής σε μηνιαία βάση.



Εικόνα 17: Σύγκριση καμπυλών παραγωγής και συμβολαιοποιημένης ισχύος για έναν αιολικό και έναν ΦΒ σταθμό σε δομή μηνιαίου φορτίου βάσης

2.2.3 Πληρωμή αναλόγως τη ζήτηση (Pay-as-Consumed)

Η συγκεκριμένη δομή αποτελεί το πιο κοινό προϊόν μεταξύ των μη εξειδικευμένων πελατών, μέσω του οποίου ο πωλητής δίνει τη μεγαλύτερη προστιθέμενη αξία στον αγοραστή. Ο πωλητής οφείλει να μετατρέψει τη παραγωγή του έργου του σε μια καμπύλη που θα αντικατοπτρίζει πιστά το προφίλ ζήτησης του καταναλωτή. Μόνο οι πωλητές που διαθέτουν μεγάλα χαρτοφυλάκια ή ευέλικτες μονάδες παραγωγής είναι σε θέση να καλύψουν τις απαιτήσεις αυτού του είδους της δομής [21].

2.3 Συνήθεις Μέθοδοι Τιμολόγησης

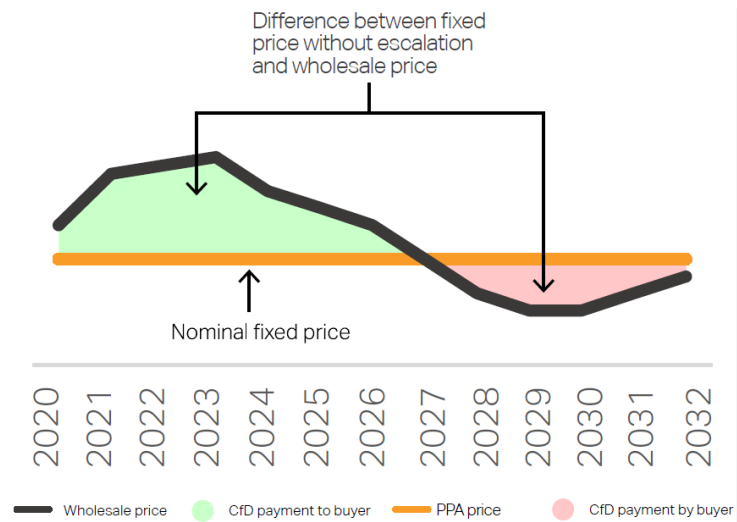
2.3.1 Σταθερής Τιμής

Όπως έχει αναφερθεί, οι δομές τιμολόγησης σταθερής τιμής αποτελούν τη δημοφιλέστερη επιλογή μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών ενός PPA, καθώς εμφανίζουν ουσιαστικά προτερήματα :

- Διαθέτουν απλή και κατανοητή δομή γεγονός που διευκολύνει την εφαρμογή τους.
- Προσφέρουν ορατότητα και σταθερότητα στις ταμειακές ροές του παραγωγού, οι οποίες πλέον εξαρτώνται αποκλειστικά από τη παραγόμενη ενέργεια του έργου, γεγονός που διευκολύνει τη χρηματοδότηση του.
- Δίνουν την ευκαιρία στους εταιρικούς καταναλωτές να αντισταθμίσουν τον κίνδυνο από τις έντονες διακυμάνσεις των τιμών της χονδρικής αγοράς, εξασφαλίζοντας μακροπρόθεσμα προβλέψιμα κόστη προμήθειας ενέργειας.
- Είναι κατάλληλα για διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες.
- Είναι υλοποιήσιμες ακόμα σε αγορές ηλεκτρισμού με περιορισμένη ρευστότητα (Σε PPAs φυσικής παράδοσης)

A) Σταθερή Ονομαστική/Πλήρως σταθερή τιμή (Fixed nominal/fully fixed price)

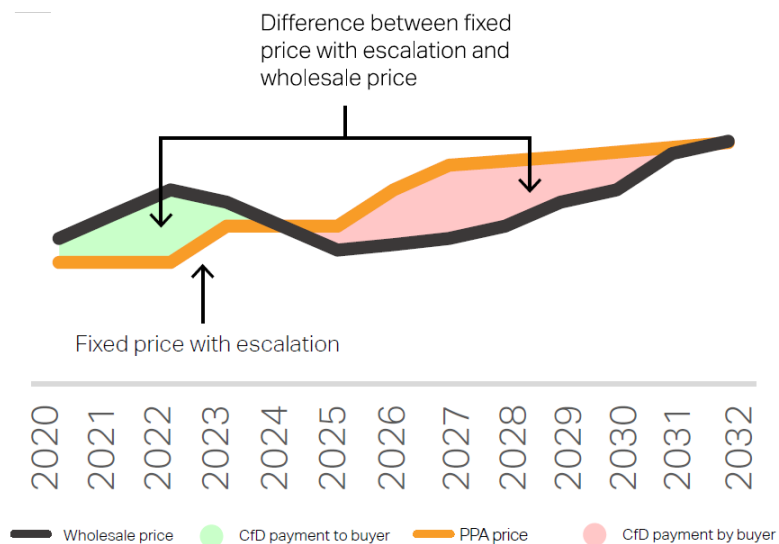
Πρόκειται για τη πιο κοινότυπη μορφή τιμολόγησης και την επικρατέστερη στην Ηπειρωτική Ευρώπη και τις ΗΠΑ[22]. Η προσυμφωνημένη τιμή (PPA price) παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του συμβολαίου, και συνεπώς, οι κίνδυνοι τιμής και χρονικής διάρκειας κατανέμονται εξολοκλήρου στον αγοραστή, καθώς υπάρχει πιθανότητα να «εγκλωβιστεί» για μεγάλο χρονικό διάστημα σε τιμή υψηλότερη εκείνης που επικρατεί στη χονδρικής αγορά (Wholesale Price).



Εικόνα 18: Μέθοδος τιμολόγησης σταθερής ονομαστικής τιμής

B) Σταθερή τιμή με κλιμάκωση (Fixed with escalation)

Εδώ, αγοραστής και πωλητής ορίζουν μια τιμή εκκίνησης του συμβολαίου, η οποία αρχικά παραμένει σταθερή για ορισμένο χρονικά διάστημα (πχ 1 έτος) και στη συνέχεια αυξάνεται (ή μειώνεται σπανιότερα) κλιμακωτά, ακολουθώντας ένα συμβατικό προφίλ. Τα βήματα της τιμής μπορεί να είναι σε ονομαστικούς όρους (χωρίς πληθωρισμό), σε πραγματικούς όρους με τιμαριθμική πληθωριστική προσαρμογή (inflation indexation) ή απλούστερα να περιλαμβάνουν ένα σταθερό ποσοστό αύξησης κάθε έτος. Κίνητρο για τη χρήση αυτής της δομής είναι η ελαχιστοποίηση της απόκλισης μεταξύ της προσυμφωνημένης τιμής και των τιμών της χονδρικής για τη πρώτη περίοδο του συμβολαίου και η μετέπειτα προσαρμογή της προσυμφωνημένης τιμής ώστε να ταιριάζει με τις προσδοκίες για την μελλοντική εξέλιξη των τιμών της χονδρικής αγοράς.

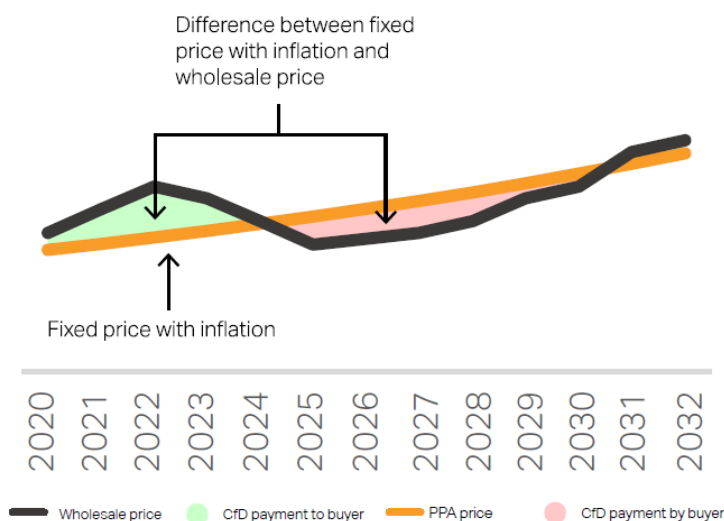


Εικόνα 19: Μέθοδος τιμολόγησης σταθερής τιμής με κλιμάκωση

Γ) Σταθερή τιμή με τιμαριθμική προσαρμογή πληθωρισμού (Fixed with inflation indexation)

Αφορά τη δομή τιμολόγησης της 1^{ης} περίπτωσης, η οποία όμως μεταβάλλεται σε ετήσια βάση ενσωματώνοντας τον πληθωρισμό. Οι μεταβολές αυτές τυπικά ακολουθούν εκείνες που εμφανίζει ο δείκτης τιμών καταναλωτή (ή τιμάρηθος) ή κάποιου άλλου δημοσιευμένου δείκτη πληθωρισμού, αναλόγως τη σύμβαση. Έτσι, οι τιμές του PPA είναι σε συμφωνία με τον τρέχοντα ετήσιο πληθωρισμό και ταυτόχρονα ελαχιστοποιείται το κόστος προμήθειας ρεύματος για τον αγοραστή κατά τα πρώτα έτη ισχύος του συμβολαίου.

Figure 5: Fixed with inflation indexation

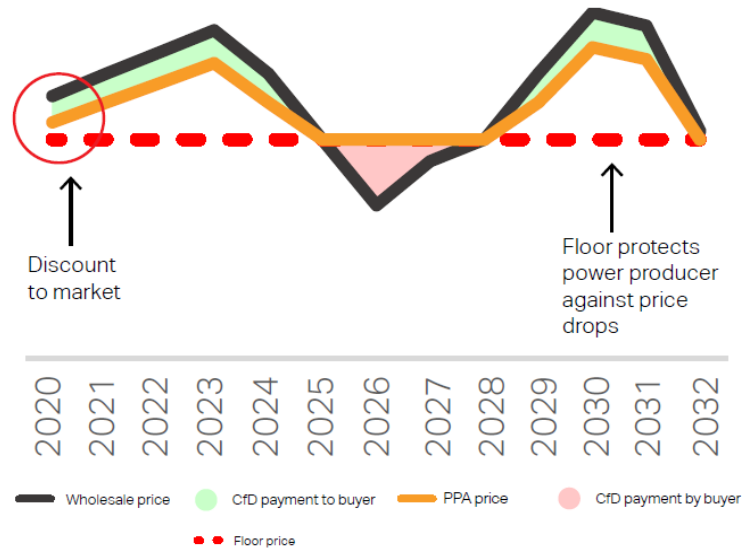


Εικόνα 20: Μέθοδος τιμολόγησης σταθερής τιμής με τιμαριθμική προσαρμογή πληθωρισμού

2.3.2 Κυμαινόμενης Τιμής (Floating/Variable Price)

A) Έκπτωση σε σχέση με την αγορά και ελάχιστο όριο (Discount to market with floor)

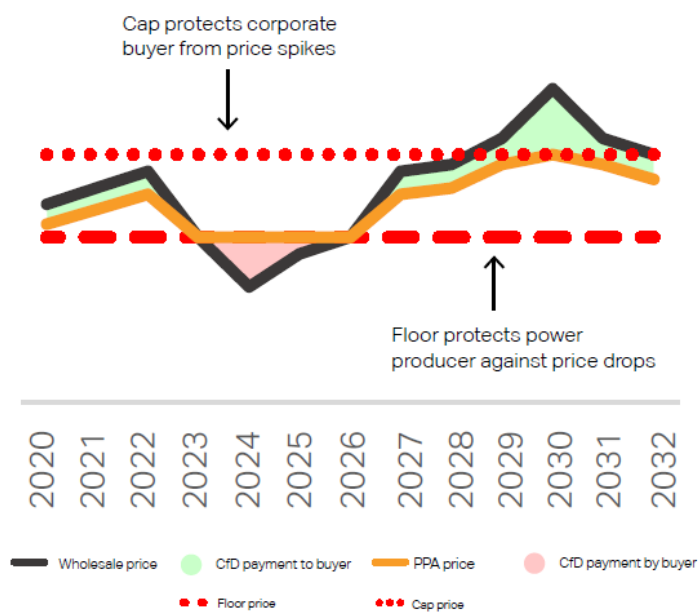
Η ζήτηση για τέτοιες μεθόδους τιμολόγησης είναι αυξανόμενη από ένα μεγάλο εύρος εταιρικών αγοραστών που επιθυμούν να αποκομίσουν υψηλότερο αριθμό εγγυήσεων προέλευσης, αποφεύγοντας τις μακροχρόνιες δεσμεύσεις σε μια σταθερή τιμή, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι προμηθεύονται ενέργεια σε χαμηλότερες τιμές από τις υφιστάμενες στη χονδρική αγορά. Ο πωλητής διαθέτει τη παραγόμενη ενέργεια στον αγοραστή με έκπτωση (κατά ένα σταθερό ποσό ή ποσοστό) συγκριτικά με τη τιμή που επικρατεί στη χονδρική αγορά και σε αντάλλαγμα, ο αγοραστής εγγυάται στο πωλητή την αποδοτικότητα του έργου, θέτοντας ένα ελάχιστο όριο τιμής (Floor Price) για τη παραγωγή του σταθμού. Σε αυτή τη περίπτωση, το μεγαλύτερο μέρος του κινδύνου τιμής αποδίδεται στον αγοραστή, εφόσον ο πωλητής έχει διασφαλίσει μια ελάχιστη αμοιβή ακόμη και σε φαινόμενα έντονων βυθίσεων της τιμής της χονδρικής αγοράς.



Εικόνα 21: Μέθοδος τιμολόγησης κυμαινόμενης τιμής με έκπτωση σε σχέση με την αγορά και ελάχιστο όριο

B) Έκπτωση σε σχέση με την αγορά και ζώνη διαμόρφωσης (Discount to market with collar)

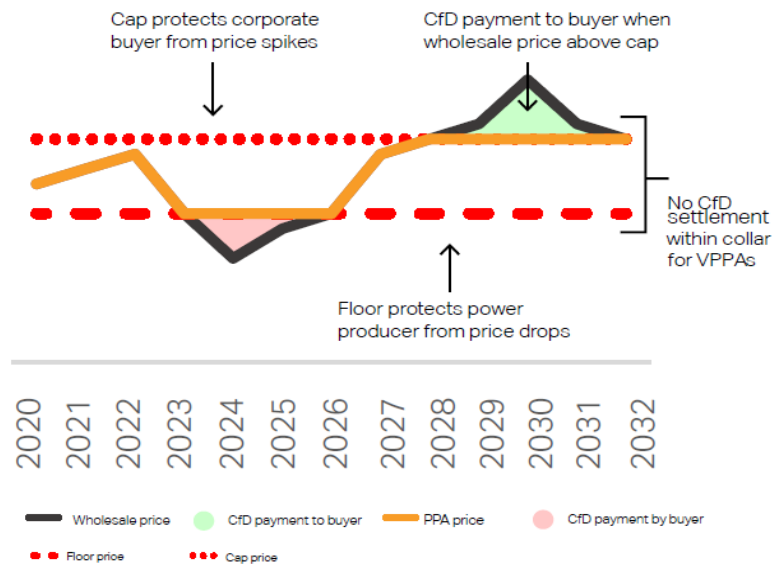
Ένα πρόσθετο στοιχείο της εξεταζόμενης δομής τιμολόγησης είναι η θέσπιση ενός ανώτατου ορίου (cap), με στόχο τη μείωση της έκθεσης του αγοραστή σε απότομες ανόδους των τιμών. Ως αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης δυο ακραίων ορίων στη συμφωνία, δημιουργείται μια ζώνη διαμόρφωσης (collar), η οποία αντιπροσωπεύει το επιθυμητό εύρος τιμών εντός του οποίου θα αμείβεται ο πωλητής. Δεδομένου ότι ο πωλητής έχει πλέον περιορίσει (σε ένα βαθμό) τα έσοδα του, ενδέχεται να διαπραγματευτεί την αύξηση του ελαχίστου ορίου (floor) ώστε να αποζημιωθεί επαρκώς από την εφαρμογή της συγκεκριμένης διαμόρφωσης. Σε ότι αφορά τον κίνδυνο τιμής, ο αγοραστής είναι σε ευνοϊκότερη θέση συγκριτικά με τη μέθοδο χωρίς ζώνη, αλλά εξακολουθεί να αναλαμβάνει τη μερίδα του λέοντος του κινδύνου αυτού.



Εικόνα 22: Μέθοδος τιμολόγησης κυμαινόμενης τιμής με έκπτωση σε σχέση με την αγορά και ζώνη διαμόρφωσης

Γ) Ζώνη διαμόρφωσης

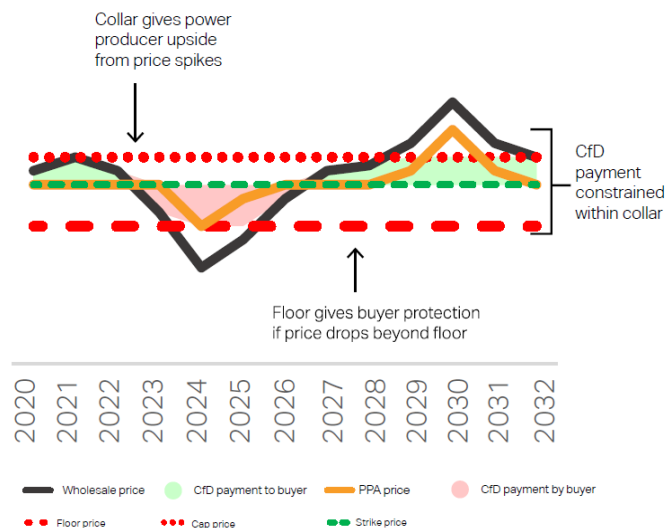
Η διαφορά της διαμόρφωσης αυτής σε σχέση με τη προηγούμενη έγκειται στο γεγονός ότι δεν εφαρμόζεται έκπτωση στη τιμή του PPA, όταν η τιμή της χονδρικής βρίσκεται στο προκαθορισμένο εύρος. Επίσης, σε ό,τι αφορά τα εικονικά PPA, οι χρονικές περίοδοι εντός της ζώνης δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό των οφειλόμενων ποσών και τη συνεπακόλουθη περιοδική εκκαθάριση. Βασικό κίνητρο για την υιοθέτηση μιας τέτοιας δομής είναι η επιθυμία των 2 μελών της συμφωνίας για περιορισμό της τιμής της χονδρικής αγοράς, δίχως την εφαρμογή μοναδικής τιμής σε όλο το χρονικό ορίζοντα του PPA.



Εικόνα 23: Μέθοδος τιμολόγησης κομινόμενης τιμής με ζώνης διαμόρφωσης

Δ) Ανάστροφη ζώνη διαμόρφωσης

Πρόκειται για μια εξαιρετικά σπάνια μέθοδος τιμολόγησης, η οποία έχει δυνατότητα να εφαρμοστεί μόνο στα συνθετικά PPA. Επιπροσθέτως των 2 ορίων που συνθέτουν την ζώνη διαμόρφωσης και της έκπτωσης που θα έχει η τιμή του PPA σε σχέση με τη τιμή της αγοράς, επιλέγεται και μια συγκεκριμένη σταθερή τιμή (P_{strike}) εντός της ζώνης αυτής. Με τη προϋπόθεση ότι η τιμή της αγοράς βρίσκεται εντός της ζώνης, εάν η τιμή της αγοράς είναι χαμηλότερη από τη σταθερή τιμή, τότε ο αγοραστής οφείλει να επιστρέψει τη διαφορά στο πωλητή, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει όταν η τιμή της αγοράς είναι υψηλότερη της σταθερής τιμής. Επειδή, με αυτή τη μέθοδο, η λειτουργία της ζώνης έχει αντιστραφεί, δηλαδή το ελάχιστο όριο που τίθεται έχει στόχο, πλέον, να προστατεύσει τον αγοραστή και το ανώτατο όριο τον πωλητή, η ζώνη αποκαλείται ανάστροφη. Κυριότερο όφελος από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ο περιορισμός της αστάθειας των διαφορών (deltas) που υπολογίζονται για τις οφειλές παραγωγού και καταναλωτή. Σημειώνεται επίσης, ότι όσο χαμηλότερο είναι το ελάχιστο όριο, τόσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος τιμής για το παραγωγό, ο οποίος ενδεχομένως να επιδιώξει τον μετριασμό του, επιλέγοντας υψηλότερη τιμή P_{strike} .



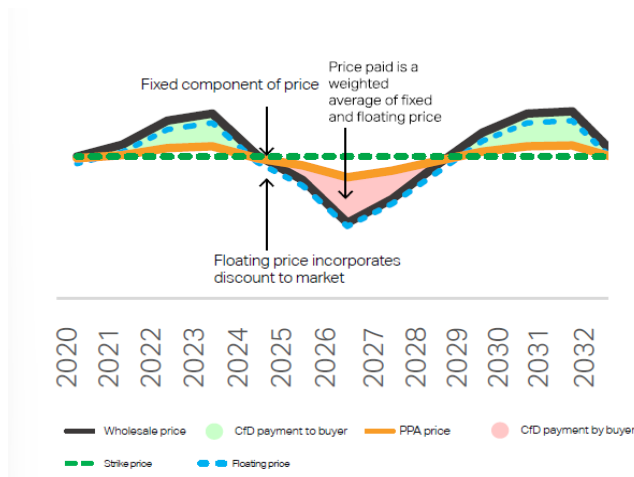
Εικόνα 24: Μέθοδος τιμολόγησης κυμαινόμενης τιμής με ανάστροφη ζώνη διαμόρφωσης

2.3.3 Υβριδικές μέθοδοι (Hybrid structures)

Οι υβριδικές μέθοδοι αναφέρονται σε κάθε είδος συμβολαίου που περιλαμβάνει ένα συνδυασμό των ανωτέρω δομών σταθερή και κυμαινόμενης τιμολόγησης σε ποσοτική (αναλόγως του ποσοστού παραγωγής) ή χρονική βάση (αναλόγως της χρονικής διάρκειας). Οι βασικές κατηγοριοποιήσεις είναι οι εξής:

A) Υβριδική αναλόγως του ποσοστού παραγωγής (Hybrid % of output)

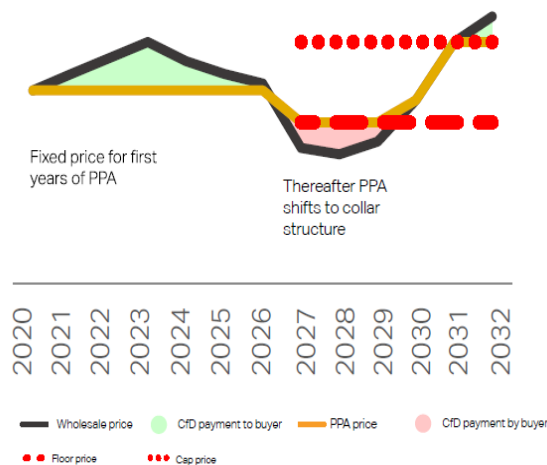
Πρόκειται για μια μέθοδο που θα μπορούσε να είναι ελκυστική σε μεγάλους αγοραστής ενέργειας από ΑΠΕ, οι οποίοι εμφανίζουν ευαισθησία στις τιμές ηλεκτρισμού. Ένα επιλεγμένο ποσοστό (πχ 70%) της συνολικής παραγωγής του έργου διατίθεται στον αγοραστή με μέθοδο σταθερής τιμής ενώ για το εναπομείναν ποσοστό εφαρμόζεται η μέθοδος κυμαινόμενης τιμής με έκπτωση σε σχέση με την αγορά. Η ίδια προσέγγιση μπορεί να υιοθετηθεί συμβολαιοποιώντας την ενέργεια προερχόμενη από περισσότερους του ενός σταθμούς παραγωγής (πχ 2 σταθμοί με σταθερή και 1 με κυμαινόμενη τιμή). Το ποσοστό που αφορά τη σταθερή τιμολόγηση συνήθως είναι υψηλότερο και εκφράζει την ανάγκη του πωλητή να περιορίσει την οικονομική αβεβαιότητα που σχετίζεται με το μεγαλύτερο μέρος των εσόδων του, ώστε να καταστήσει το έργο του αποδοτικό. Από την άλλη μεριά, η κυμαινόμενη τιμολόγηση αντιπροσωπεύει την επιθυμία του αγοραστή για προμήθεια πράσινης ενέργειας σε τιμές χαμηλότερες από εκείνες της αγοράς, λόγω της επιφυλακτικότητας του να «κλειδώσει» το σύνολο του μελλοντικού του κόστους. Ως εκ τούτου, ο κίνδυνος τιμής εναποτίθεται και στους 2 συμβαλλόμενους: για το κομμάτι της παραγωγής με σταθερή τιμολόγηση αποδίδεται στον αγοραστή ενώ για το κομμάτι της κυμαινόμενης τιμής, αποδίδεται στον πωλητή.



Εικόνα 25: Μέθοδος υβριδικής τιμολόγησης αναλόγως του ποσοστού παραγωγής

B) Υβριδική αναλόγως της χρονικής διάρκειας (Hybrid over time)

Μια ποικιλία δομών με χρονικές εναλλαγές σταθερής και κυμαινόμενης τιμολόγησης στον χρονικό ορίζοντα του PPA εντάσσονται στη συγκεκριμένη κατηγορία. Για παράδειγμα, η συμφωνία μπορεί να περιλαμβάνει μια αρχική χρονική περίοδο (πχ 6 έτη) σταθερή τιμολόγησης, ακολουθούμενη από μια μέθοδο κυμαινόμενης τιμολόγησης με ζώνη διαμόρφωσης για την υπολειπόμενη περίοδο. Έτσι, κίνητρο εφαρμογής μιας τέτοιας δομής θα μπορούσε να είναι η επιθυμία/ικανότητα του αγοραστή να προκαθορίσει τα κόστη ηλεκτρικής ενέργειας μόνο σε μεσοπρόθεσμο επίπεδο. Όπως γίνεται αντιληπτό, όσο περιορίζονται τα χρονικά διαστήματα σταθερής τιμολόγησης ή μειώνονται τα ελάχιστα όρια που θέτονται στις περιόδους κυμαινόμενης τιμολόγησης, τόσο υψηλότερη είναι η έκθεση του πωλητή στον κίνδυνο τιμής.

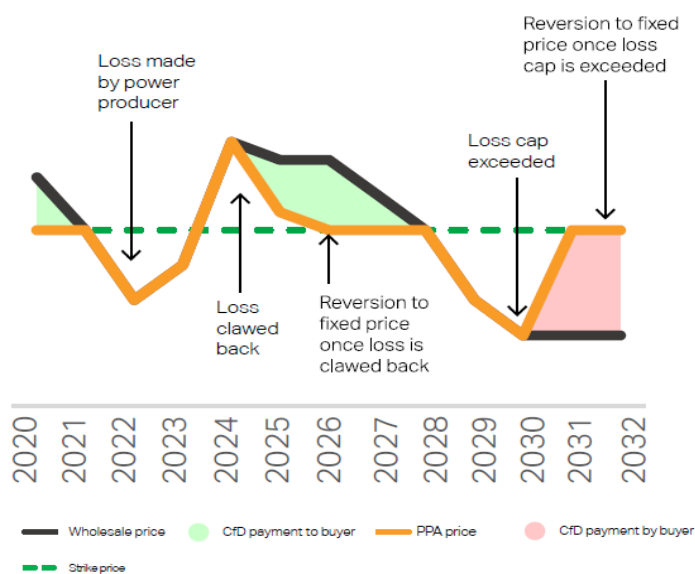


Εικόνα 26: Μέθοδος υβριδικής τιμολόγησης αναλόγως της χρονικής διάρκειας

2.3.4 Μέθοδος μηχανισμού ανάκτησης (Clawback)

Οι συμβάσεις PPA με μηχανισμό ανάκτησης είναι ελκυστικές για εταιρικούς αγοραστές με ευαισθησία στις μεταβολές των τιμών της αγοράς (πχ μεγάλες βιομηχανίες). Ο αγοραστής «κλειδώνει» μια σταθερή τιμή καθ' όλη τη διάρκεια του PPA αλλά επωφελείται από τις καθοδικές

κινήσεις της τιμής της αγοράς, ενώ για το 1^ο χρονικό διάστημα επωφελείται και από τις ανοδικές αφού η τιμή του PPA διατηρείται ίση με τη συμφωνημένη. Εν συνεχεία, εάν οι τιμές της αγοράς ανέλθουν ξανά και ξεπεράσουν την σταθερή τιμή, ο αγοραστής οφείλει να πληρώσει τον πωλητή για την ενέργεια στις τιμές της αγοράς έως ότου ο δεύτερος ανακτήσει το ποσό που εξοικονόμησε ο αγοραστής τη προηγούμενη περίοδο. Από το σημείο αυτό και έπειτα η τιμή του PPA γίνεται ξανά ίση με τη συμφωνημένη. Επιπλέον, υπάρχει ένα ανώτατο όριο ζημίας (loss cap) για τον πωλητή, η υπέρβαση του οποίου επαναφέρει τη τιμή του PPA στη συμφωνημένη, παρέχοντας του μια ελάχιστη εγγύηση εσόδων ως προς τα συνολικά που δύναται να του αποφέρει η συγκεκριμένη μέθοδος. Σημειώνεται επίσης, ότι μερικές φορές υπάρχει μια παράταση στην εφαρμογή του εξεταζόμενου μηχανισμού στη περίπτωση που ο πωλητής δεν έχει ανακτήσει τις απώλειες που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο ζημίας. Τέλος, παρόλο που ο κίνδυνος τιμής διαμοιράζεται και στα δυο μέλη, εντούτοις η κατανομή του είναι εξαρτώμενη από τα συμβατικά όρια που έχουν τεθεί [23].



Εικόνα 27: Μέθοδος τιμολόγησης με μηχανισμό ανάκτησης

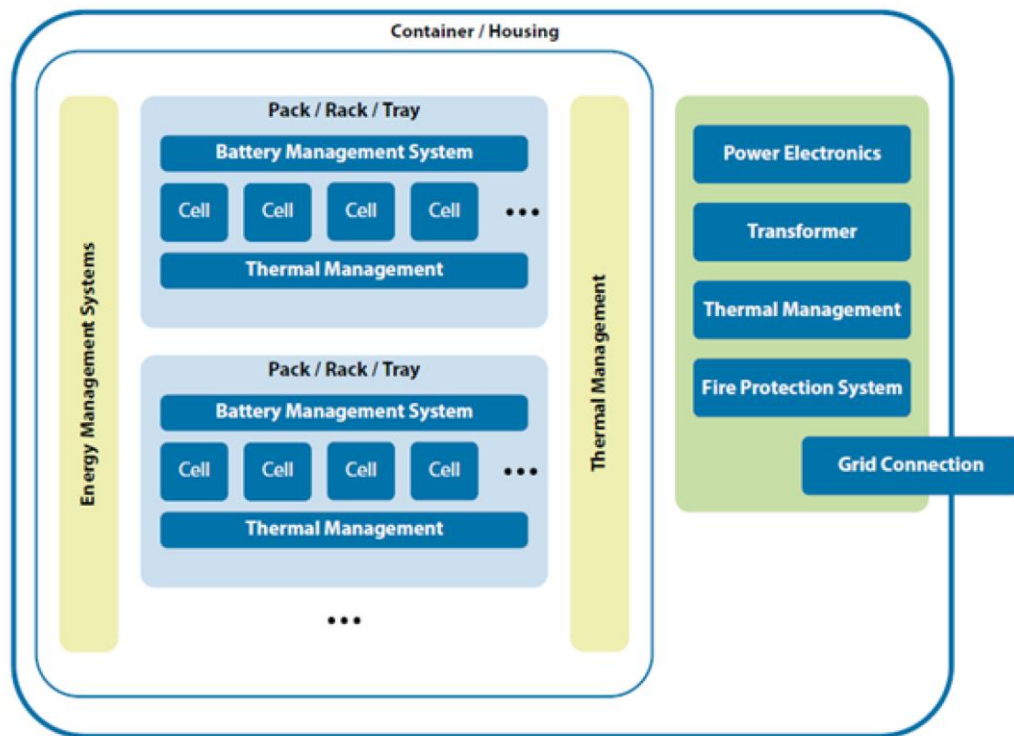
2.4 Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας Μπαταρίας και PPA

2.4.1 Εισαγωγή στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες

Η αποθήκευση ενέργειας δεν αποτελεί νέα ή επαναστατική μέθοδος καθώς εφαρμόζεται στη βιομηχανία αποτελεσματικά αλλά και αποδοτικά εδώ και αρκετά χρόνια. Σε τεχνικούς όρους, η αποθήκευση θεωρείται απαραίτητο μέσο για την απανθρακοποίηση των ενεργειακών συστημάτων. Γενικά, ένα τυπικό χαρακτηριστικό των συστημάτων με αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ είναι η χρονική διαφορά μεταξύ της παραγωγής και της ζήτησης. Επειδή η ζήτηση και η προσφορά στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει πάντα να διατηρείται σε ισορροπία, η παραγωγή ενέργειας σε πραγματικό χρόνο οφείλει να προσαρμόζεται στα συνεχώς μεταβαλλόμενα φορτία. Προς αυτή τη κατεύθυνση έρχονται να συνεισφέρουν και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες (Battery Energy Storage Systems-BESS). Χάρη στη πρόοδο που έχει σημειωθεί στη χημεία των μπαταριών και την αντίστοιχη τεχνολογία σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους τους, οι μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις με μπαταρίες αποτελούν έναν πρακτικό τρόπο προώθησης της πράσινης μετάβασης. Μολονότι για το 2022 σημειώθηκε άνοδος 7% στο ογκομετρικά σταθμισμένο μέσο κόστος των πακέτων μπαταριών και των κυψελών

Λιθίου-Ιόντων, από το 2024 και έπειτα αναμένεται η συνέχιση της καθοδικής πορείας του κόστους τους, γεγονός που αναμένεται συμβάλλει στη ταχεία εξάπλωση τους.

Ένα BESS είναι ένα σύνθετο σύστημα που μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα κύρια επίπεδα: σύστημα μπαταρίας (battery system), σύστημα μετατροπής ενέργειας (power conversion system), έλεγχος συστήματος ενέργειας (energy system control) και τις συνιστώσες ισορροπίας του συστήματος (balance of plant components). Το σύστημα της μπαταρίας αποτελείται από την αποθήκευση της μπαταρίας και το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας. Το μικρότερο υποσύνολο του συστήματος της μπαταρίας είναι η κυψέλη της μπαταρίας, που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση χημικής ενέργειας. Αν μερικές κυψέλες συνδεθούν παράλληλα, σχηματίζουν ένα πακέτο (block/module). Η συσσώρευση αρκετών πακέτων σχηματίζει μια συστοιχία (rack/ pack) που είναι συνήθως το μικρότερο ανταλλακτικό τμήμα του BESS. Τέλος, αν συνδεθούν παράλληλα αρκετές συστοιχίες, σχηματίζουν μια μπαταρία. Το επίπεδο τάσης και η χωρητικότητα ενός BESS μπορεί να αυξηθεί με σειριακές και παράλληλες συνδέσεις αρκετών μπαταριών. Οι σειριακές συνδέσεις χρησιμοποιούνται για την αύξηση της τάσης, ενώ οι παράλληλες συνδέσεις χρησιμοποιούνται για την αύξηση της χωρητικότητας του BESS. Το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας (battery management system) είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα που μετρά κρίσιμες πληροφορίες από τα συνδεδεμένες συστοιχίες, το οποίο χρησιμοποιείται για την προστασία των μπαταριών από ζημιές και για την ασφαλή λειτουργία σε μια ευρεία γκάμα συνθηκών λειτουργίας. Επιπλέον, στέλνει τις πληροφορίες στον έλεγχο του συστήματος ενέργειας. Ο έλεγχος του συστήματος ενέργειας είναι ένα σύνολο υψηλού επιπέδου ελέγχων που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τη λειτουργικότητα του BESS. Ο κύριος σκοπός του ελέγχου του συστήματος ενέργειας είναι να καθορίσει τα σημεία ρύθμισης για πότε και πόσο γρήγορα το BESS θα φορτίζεται, θα αποφορτίζεται ή θα είναι σε κατάσταση αδράνειας. Μόλις οριστούν τα σημεία ρύθμισης, ο έλεγχος του συστήματος ενέργειας στέλνει ένα σήμα ελέγχου στο σύστημα μετατροπής ενέργειας του BESS για να αλλάξει τις ρυθμίσεις για ενεργό και άεργο ισχύ. Το σύστημα μετατροπής ενέργειας χρησιμοποιείται για τη μετατροπή DC σε AC και αντίστροφα κατά την αποφόρτιση και φόρτιση των μπαταριών. Το σύστημα μετατροπής ενέργειας χρησιμοποιείται επίσης για τη ρύθμιση της ποσότητας της ενεργής και άεργου ισχύος που παρέχεται προς ή από το BESS. Επιπλέον, ανάλογα με το επίπεδο τάσης στο σημείο σύνδεσης στο δίκτυο, μπορεί επίσης να χρειαστεί ένας μετασχηματιστής (transformer) για να αυξήσει την τάση της εξόδου του BESS ώστε να ταιριάζει με την τάση του δικτύου στο σημείο σύνδεσης. Τέλος, οι συνιστώσες ισορροπίας του συστήματος είναι όλα τα υποστηρικτικά στοιχεία και τα βοηθητικά φορτία (εκτός των μπαταριών) που απαιτούνται ώστε το BESS να παρέχει ενέργεια. Το BESS συχνά περιβάλλεται από ένα εμπορευματοκιβώτιο (container/housing) όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα. Οι συνιστώσες ισορροπίας του συστήματος περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, συστήματα ψύξης για το εμπορευματοκιβώτιο και διάφορες συσκευές προστασίας, π.χ. σύστημα πυροπροστασίας (fire protection system). Η ισχύς που παρέχεται στις συνιστώσες ισορροπίας του συστήματος μπορεί είτε να ληφθεί από το ίδιο το BESS είτε από το εξωτερικό δίκτυο [24].



Εικόνα 28: Σχηματική απεικόνιση των διαφορετικών συνιστωσών μιας μονάδας BESS

Οι μπαταρίες λειτουργούν σαν ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Υπάρχουν δυο βασικά είδη μπαταριών: οι πρωτογενείς, οι οποίες προορίζονται για μοναδική χρήση και οι δευτερογενείς που είναι σχεδιασμένες για πολλαπλές φορτίσεις. Όταν η μπαταρία βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης, το συνεχές ρεύμα μετατρέπεται σε χημική ενέργεια ενώ το αντίθετο συμβαίνει κατά την αποφόρτιση. Κάθε μπαταρία αποτελείται από πολλαπλά κελιά (cells) καθένα από τα οποία απαρτίζεται από 3 θεμελιώδεις συνιστώσες: 2 ηλεκτρόδια, (γνωστά και ως άνοδος και κάθοδος) και έναν ηλεκτρολύτη. Συνεπώς, αναλόγως με τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρόδια και τους ηλεκτρολύτες, οι δευτερογενείς μπαταρίες ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, οι σημαντικότερες από τις είναι οι Μολύβδου-Οξέος (LA), Λιθίου-Ιόντων (Li-ion), Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd), Νατρίου-Θείου (NaS), Νατρίου-Ιόντων (Na-ion) και οι μπαταρίες μετάλλου-αερίου. Από αυτές, οι μπαταρίες Λιθίου-Ιόντων είναι ευρέως διαδεδομένες και οι επικρατέστερες σε μεγάλες (grid-scale) εφαρμογές, λόγω πληθώρας πλεονεκτημάτων που εμφανίζουν, όπως η υψηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλή απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής και η φιλικότητα στο περιβάλλον. Υπάρχουν διαφορετικές χημείες μπαταριών Λιθίου-Ιόντων που αξιοποιούνται σήμερα, οι οποίες εμφανίζουν διαφορές μεταξύ τους σε ότι αφορά τα χημικά τους συστατικά, τις μοριακές τους δομές και τα υλικά της καθόδου. Οι συνηθέστερες είναι οι εξής:

- Φωσφορικού Σιδήρου-Λιθίου (LiFePO₄ ή LFP)
- Οξειδίου Κοβαλτίου Μαγνησίου Νικελίου Λιθίου (LiNiMnCoO₂ ή NMC)
- Οξειδίου κοβαλτίου Λιθίου (LiCoO₂ ή LCO)
- Οξειδίου Αργιλίου Κοβαλτίου Νικελίου Λιθίου (LiNiCoAlO₂ ή NCA)
- Τιτανικού Λιθίου (Li₄Ti₅O₁₂ or LTO)
- Οξειδίου Μαγγανίου Λιθίου (LiMn₂O₄ ή LMO)

Τα τελευταία χρόνια, οι μπαταρίες LFP έχουν καταστεί η δημοφιλέστερη εναλλακτική για εφαρμογές αποθήκευσης έναντι των NMC, χάρη στα σημαντικά προτερήματα που παρουσιάζουν, όπως το χαμηλότερο κόστος, η εξασφάλιση καθαρής ενέργειας (ο σίδηρος είναι φιλικότερος στο

περιβάλλον συγκριτικά με άλλα μέταλλα, όπως το κοβάλτιο και το νικέλιο), η ασφάλεια (μικρότερος κίνδυνος ευφλεκτότητας) και υψηλότερη διάρκεια ζωής. Παρά τη χαμηλότερη πυκνότητα ισχύος τους, σε στατικές εφαρμογές, όπως τα BESS, οι μπαταρίες LFP μπορούν να καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο, δίχως ιδιαίτερη ανησυχία για το βάρος ή το μέγεθος τους

2.4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές

Το σύνολο των τεχνικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ενός BESS, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα μεγέθη [25,26,27]:

- 1) Ενεργειακή πυκνότητα (Energy Density) :Η ενεργειακή χωρητικότητα ανά όγκο ή λίτρο εκφραζόμενη σε μονάδες Wh/L
- 2) Ειδική ενέργεια (Specific energy): Η ικανότητα μιας τεχνολογίας να αποθηκεύει ενέργεια ανά μονάδα μάζας, εκφραζόμενη ως Wh/kg
- 3) Ειδική ισχύς (Specific Power): Η ικανότητα μιας τεχνολογίας να παραδίδει ισχύ ανά μονάδα μάζας εκφραζόμενη σε W/kg
- 4) Ονομαστική ισχύς (Rated Power) : Είναι η συνολική δυνατότητα άμεσης αποφόρτισης του BESS ή διαφορετικά, ο μέγιστος ρυθμός αποφόρτισης που μπορεί να επιτύχει ξεκινώντας από τη κατάσταση πλήρους φόρτισης (σε kW ή MW)
- 5) Ονομαστική χωρητικότητα (Rated Capacity): Είναι το μέγιστο ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας (σε kWh ή MWh).Εναλλακτικά, εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα ειδικής ενέργειας που μπορεί αποθηκευτεί σε Ah.
- 6) C-rate: εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο μια μπαταρία μπορεί να φορτιστεί ή να αποφορτιστεί πλήρως. Για παράδειγμα, φορτίζοντας με ένα C-rate του 1C σημαίνει ότι η μπαταρία φορτίζεται από το ελάχιστη στάθμη φόρτισης (0%) στην μέγιστη (100%) σε 1h.
- 7) Κύκλος ζωής (Cycle life): Ο αριθμός των πλήρων κύκλων φόρτισης και αποφόρτισης που μπορεί να εκτελέσει μια μπαταρία μέχρι αστοχίας ή σημαντικής υποβάθμισης . Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο και τις συνθήκες λειτουργίας της μπαταρίας.
- 8) Διάρκεια ζωής (Calendar life): Αναφέρεται στον συνολικό χρόνο ζωής της μπαταρίας. Είναι συνηθέστερη η χρήση αυτής της παραμέτρου έναντι του κύκλου ζωής για μπαταρίες με χαμηλό αριθμό κύκλων φόρτισης.
- 9) Επίπεδο φόρτισης (State of Charge-SoC): η παράμετρος η οποία αναφέρεται στη διαθέσιμη χωρητικότητα της μπαταρίας σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, συχνά ως ποσοστό. Υπολογίζεται από την εξίσωση 2.4.2.1 όπου C είναι η χωρητικότητα κατά τον συγκεκριμένο χρόνο ενώ C₀ η διαθέσιμη χωρητικότητα σε κατάσταση πλήρους φόρτισης.

$$SoC = \frac{c}{c_0} \quad (2.4.2.1)$$

10) Βάθος αποφόρτισης (Depth of Discharge-DoD): Το ποσό της αποθηκευμένης χωρητικότητας της μπαταρίας που χρησιμοποιείται κατά την αποφόρτιση της. Είναι το αντίθετο του επιπέδου φόρτισης και γι' αυτό υπολογίζεται από την εξίσωση 2.4.2.2:

$$DoD = 1 - SoC = 1 - \frac{c}{c_0} \quad (2.4.2.2)$$

11) Ρυθμός αυτοεκφόρτισης (self-discharge rate): το φαινόμενο απώλειας αποθηκευμένης ενέργειας από εσωτερικές διεργασίες που μειώνουν την ενέργεια με την πάροδο του χρόνου. Προκαλείται από παράγοντες όπως η τριβή, διαρροές, πλευρικές αντιδράσεις ή αντιστάσεις. Συχνά παρουσιάζεται ως ποσοστό της χαμένης χωρητικότητας κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, όπως μια ημέρα ή μια ώρα.

12) Χρόνος απόκρισης (response time): ο χρόνος που απαιτείται για ένα σύστημα ώστε να φτάσει στη μέγιστη έξοδο, ή στην ονομαστική του ισχύ, μετά από μια περίοδο αδράνειας ή αναμονής.

13) Απόδοση πλήρους κύκλου (Round-Trip efficiency-RTE): Είναι ο λόγος της ποσότητας αποφόρτισης προς την ποσότητα φόρτισης. Εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας όπως η ισχύς φόρτισης και αποφόρτισης, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και το εύρος που κινείται το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας. Όταν αναφέρεται αποκλειστικά στη μπαταρία, το μέγεθος αυτό αναφέρεται ως DC-RTE ενώ για το σύνολο του συστήματος ως AC-RTE. Το σύννηθες εύρος για τα BESS είναι 70-95%.

14) Επίπεδο υγείας (State of health-SoH): Πρόκειται για ένα μέτρο που αντικατοπτρίζει την απόδοση και την κατάσταση υγείας της μπαταρίας. Γενικά, η μείωση της χωρητικότητας και η αύξηση της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας χρησιμοποιούνται για να ορίσουν το επίπεδο υγείας της. Το επίπεδο υγείας της χωρητικότητας (SoHC) ορίζεται ως ο λόγος της τρέχουσας χωρητικότητας προς την αρχική ονομαστική χωρητικότητα, ενώ το επίπεδο υγείας της ισχύος (SoHR) ορίζεται ως ο λόγος της διαφοράς μεταξύ της τρέχουσας εσωτερικής αντίστασης και της τιμής της στο τέλος ζωής της (End of life-EoL) προς τη διαφορά μεταξύ της αρχικής ονομαστικής τιμής και της τιμής στο τέλος ζωής της.

15) Τέλος ζωής (End of life-EoL): Όταν η μπαταρία έχει υποβαθμιστεί σε τέτοιο βαθμό που το επίπεδο υγείας της χωρητικότητας της έχει μειωθεί κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο (συνήθως 70-80%), τότε θεωρείται ότι έχει φτάσει το τέλος ζωής της.

Ένα από τα μοναδικά χαρακτηριστικά των BESS είναι η ποικιλία εφαρμογών και χρήσεων στις οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν λόγω και της ιδιότητας τους να συνδέονται σε διατάξεις παράλληλα ή σε σειρά αυξάνοντας τη διαθέσιμη χωρητικότητα ισχύος τους αλλά και λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών τους που τους επιτρέπουν να προσαρμόζονται στις απαιτήσεις κάθε συγκεκριμένης εφαρμογής. Στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, είναι συνηθισμένο να κατατάσσουμε ένα σενάριο χρήσης ως «Μπροστά από το Μετρητή» (In front of the meter-FTM) ή «Πίσω από το Μετρητή» (Behind the meter-BTM). Οι μπαταρίες FTM, συνήθως έχουν μέγεθος μεγαλύτερο των 5 MW και συνδέονται σε ένα δίκτυο μεταφοράς ή διανομής για να εξισορροπούν τις αστάθειες του συστήματος, να εκτελούν έλεγχο συχνότητας, παραγωγής κλπ. Από την άλλη μεριά, οι μπαταρίες BTM έχουν μεγέθη που ξεκινούν από 5 kW και φτάνουν τα 5 MW και συνδέονται σε ένα τοπικό σύστημα που με τη σειρά του συνδέεται στο μεγαλύτερο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός μετρητή. Ένας κοινός λόγος για τη χρήση των μπαταριών BTM είναι η εξοικονόμηση στο λογαριασμό της ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλο που τα περισσότερα έργα BESS αναπτύσσονται για μία κύρια εφαρμογή, πρόσθετη αξία μπορεί να εξαχθεί από τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους σε πολλαπλές εφαρμογές ή χρήσεις. Αυτή η προσέγγιση

πολλαπλών χρήσεων καλείται και συσσώρευση αξίας (value stacking). Οι εφαρμογές δικτύου τις οποίες μπορεί να παρέχει ένα BESS διακρίνονται σε 5 κατηγορίες: 1) εφαρμογές ηλεκτρικής προμήθειας 2) εφαρμογές για τον τελικό χρήστη 3) εφαρμογές για ΑΠΕ, 4) Βοηθητικές υπηρεσίες 5) εφαρμογές του συστήματος μεταφοράς και διανομής. Οι εφαρμογές ηλεκτρικής προμήθειας εστιάζουν στη μέθοδο με την οποία διοχετεύεται ενέργεια στο δίκτυο. Οι εφαρμογές τελικού χρήστη σχετίζονται με τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν οι οικιακοί και βιομηχανικοί καταναλωτές ενώ οι εφαρμογές με ΑΠΕ συνδέονται με τη βελτιστοποίηση διαχείρισης της ενέργειας που παρέχουν τα έργα αυτά. Οι βοηθητικές υπηρεσίες είναι λειτουργίες που βοηθούν τους διαχειριστές του δικτύου να διατηρούν ένα αξιόπιστο ηλεκτρικό δίκτυο, αντιμετωπίζοντας τις ανισοροπίες μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης. Επίσης, βοηθούν στην επαναφορά του συστήματος μετά από διαταραχές στο δίκτυο. Τέλος, οι εφαρμογές του συστήματος μεταφοράς και διανομής αναφέρονται σε εφαρμογές δικτύου που αντιμετωπίζουν ζητήματα περιορισμένης χωρητικότητας μεταφοράς στο δίκτυο. Οι συχνότερες εφαρμογές μαζί με την κατηγορία στην οποία ανήκουν, μια σύντομη περιγραφή τους και τη κατάταξη τους (FTM ή BTM) εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα [28]:

Κατηγορία	Εφαρμογή	Περιγραφή	Κατάταξη
Ηλεκτρικής προμήθειας	Χρονική μετατόπιση ηλεκτρικής ενέργειας (Electric time shift/Arbitrage)	Περιλαμβάνει την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση της μονάδας αποθήκευσης κατά τις περιόδους όπου η τιμή ή τα οριακά κόστη του συστήματος είναι χαμηλά και την χρήση ή πώληση της ενέργειας αργότερα όταν η τιμή ή τα οριακά κόστη του συστήματος είναι υψηλότερα.	FTM/BTM
	Προμήθεια ηλεκτρικής χωρητικότητας (Electric supply capacity)	Αναλόγως τις συνθήκες σε ένα δεδομένο σύστημα η αποθήκευση μπορεί να εξυπηρετήσει την αναβολή ή την μείωση της ανάγκης για αγορά νέας κεντρικής παραγωγικής δυναμικότητας ή την αγορά χωρητικότητας μέσω της χονδρικής αγοράς ηλεκτρισμού.	FTM
Για τον τελικό χρήστη	Αδιάληπτη παροχή ρεύματος (Uninterruptable power supply-UPS)	Εξασφάλιση συνεχούς παροχής ισχύος κατά τη μετάβαση σε εφεδρική πηγή ρεύματος λόγω διακοπής του συστήματος.	BTM
	Βελτιστοποίηση λειτουργίας ΑΠΕ με ιδιοκαταναλώσεις (VRE self-consumption optimization)	Καταναλωτές με παραγωγή ΑΠΕ πίσω από τον μετρητή, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το BESS ώστε να βελτιστοποιήσουν την εκμετάλλευση αυτής της πηγής.	BTM
	Βελτιστοποίηση βάση του χρόνου χρήσης (Time of use optimization)	Σε χώρες όπου οι καταναλωτές υπόκεινται χρεώσεις αναλόγως με την ώρα χρήσης, η αποθήκευση επικεντρώνεται στη ελαχιστοποίηση τους ενεργειακού κόστους	BTM

	Απόκριση ζήτησης (Demand response)	Το BESS είναι σε θέση να μειώνει την τοπική ζήτηση είτε αποκρινόμενο σε ένα σήμα τιμής είτε ως τμήμα ενός συμβολαίου υπηρεσίας (πχ με τον διαχειριστή του συστήματος)	BTM
	Μείωση χρεώσεων δικτύου/ζήτησης (Network/demand charge reduction)	Εστιάζει στη μείωση της έκθεσης του πελάτη στις χρεώσεις ζήτησης (εάν υπάρχουν) ελαττώνοντας την αιχμή κατανάλωσης	BTM
Για ΑΠΕ	Χρονική μετατόπιση παραγωγής (VRE generation time shift)	Η παραγωγή των μη κατανεμόμενων μονάδων ΑΠΕ μετατίθεται αργότερα πχ από ώρες χαμηλού φορτίου σε ώρες αιχμής.	FTM
	Εξομάλυνση/Έλεγχος ράμπας (Smoothing/VRE ramp control)	Περιορισμός της ταχύτητας με την οποία η παραγωγή ενός ΑΠΕ αυξομειώνεται.	FTM
	Διόρθωση αποκλίσεων πρόβλεψης (Forecast error correction)	Αφορά συστήματα όπου απαιτείται οι παραγωγοί να υποβάλλουν βραχυπρόθεσμες προβλέψεις παραγωγής. Ένα BESS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξάλειψη των αποκλίσεων μεταξύ παραγωγής και πρόβλεψης, μειώνοντας την έκθεση του παραγωγού σε πιθανά κόστη.	FTM
Βοηθητικές υπηρεσίες	Ενίσχυση τάσης (Voltage support)	Έγχυση ή απορρόφηση άεργου ισχύος στο δίκτυο για διατήρηση της τάσης σε ασφαλή επίπεδα	FTM
	Εφεδρεία συγκράτησης συχνότητας (Frequency containment reserve)	Λειτουργικές εφεδρείες απαραίτητες για συνεχή συγκράτηση των αποκλίσεων της συχνότητας από την ονομαστική τιμή για την διατήρηση της ισορροπίας ισχύος σε όλο το σύγχρονο διασυνδεδεμένο σύστημα	FTM
	Εφεδρεία αποκατάστασης συχνότητας (Frequency restoration reserve)	Λειτουργικές εφεδρείες απαραίτητες για την επαναφορά της συχνότητας στην ονομαστική τιμή και της ισορροπίας ισχύος στην καθορισμένη τιμή έπειτα από συμβάν ξαφνικής ανισορροπίας στο σύστημα	FTM
	Εφεδρείες αντικατάστασης (Replacement reserves)	Λειτουργικές εφεδρείες που χρησιμοποιούνται για την επαναφορά του απαιτούμενου επιπέδου λειτουργίας των λειτουργικών εφεδρειών προκειμένου να είναι έτοιμα για περαιτέρω ανισορροπία του συστήματος	FTM
	Δυνατότητα εκκίνησης από σβέση (Black start capability)	Η ικανότητα επανεκκίνησης ενός δικτύου μετά από διακοπή	FTM
	Δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας (Island operation capability)	Η ικανότητα προμήθειας ενός δικτύου σε απομόνωση από το σύγχρονο δίκτυο για παρατεταμένες χρονικές περιόδους	FTM
Σύστημα μεταφοράς	Διαχείριση συμφόρησης δικτύου (Grid congestion relief)	Χρήση της αποθήκευσης για αποφυγή της συμφόρησης του δικτύου κατά τις ώρες αιχμής	FTM

και διανομής	Αναστολή αναβάθμισης δικτύου (Grid upgrade deferral)	Χρήση της αποθήκευσης κατά τις περιόδους αιχμής για αναστολή της αναβάθμισης του δικτύου.	FTM
	Τοπική παροχή ρεύματος υποσταθμού (Substation On-Site Power)	Παροχή ενέργειας στους υποσταθμούς μέσω της αποθήκευσης σε περιπτώσεις αστοχίας του δικτύου.	FTM

Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση πιθανών χρήσεων μονάδας BESS αναλόγως το είδος εφαρμογής τους.

Για τα υβριδικά έργα, δηλαδή για συστήματα BESS που δρουν συνεργατικά με σταθμούς ΑΠΕ ώστε να επιτευχθούν συγκεκριμένες απαιτήσεις (πχ εξομάλυνση παραγωγής), τεχνικά χαρακτηριστικά όπως ο κύκλος ζωής και το βάθος αποφόρτισης έχουν ιδιαίτερη σημασία, ενώ σε περιπτώσεις μεμονωμένης λειτουργίας της μπαταρίας (πχ υπηρεσίες δικτύου), προτεραιότητα αποκτούν άλλα χαρακτηριστικά όπως η πυκνότητα ισχύος και ο χρόνος απόκρισης.

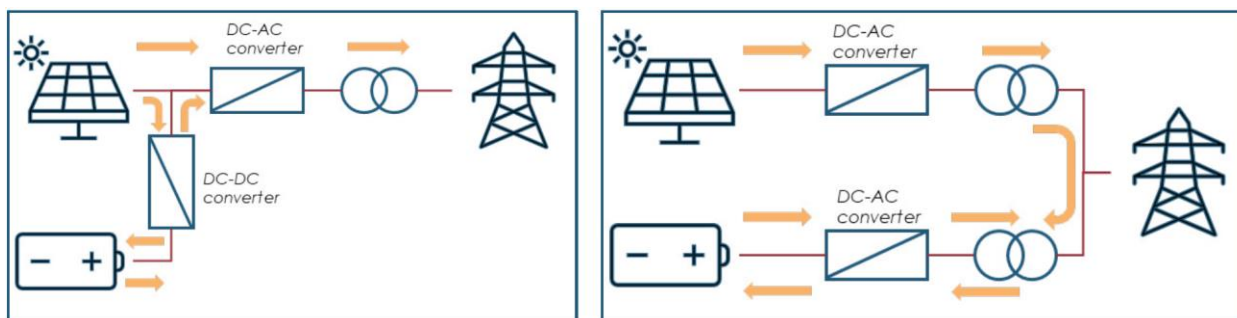
2.4.3 PPAs με αποθήκευση

Έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζεται τα τελευταία χρόνια για την ενσωμάτωση των σταθμών αποθήκευσης BESS στα συμβόλαια PPAs. Υπάρχουν δυο βασικά είδη PPAs με συστήματα BESS: α) PPAs με ανεξάρτητο σύστημα αποθήκευσης (Standalone Battery Storage PPA) και β) Υβριδικά PPAs, τα οποία αποτελούν μια επέκταση των ανανεώσιμων PPAs ως αποτέλεσμα της συνένωσης ενός έργου ΑΠΕ (συνήθως Φωτοβολταϊκών) και μιας μονάδας BESS στην ίδια τοποθεσία. Στην Ευρώπη, το Ηνωμένο Βασίλειο διαθέτει την ταχύτερα αναπτυσσόμενη αγορά αποθήκευσης και το ενδιαφέρον στρέφεται στα υβριδικά PPAs, ως μια πιο ολοκληρωμένη λύση που περικλείει ένα ευρύ φάσμα των διαθέσιμων ευκαιριών στην αγορά. Στην Αμερική, η πιο δημοφιλής μορφή PPA για ΦΒ είναι όσα περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις BESS, ενώ αναμένεται σταδιακή μείωση του αριθμού PPAs που αφορούν αποκλειστικά σταθμό ΦΒ (Solar-only PPAs). Η βελτίωση της απόδοσης ενός έργου ΑΠΕ (μέσω των εφαρμογών της προηγούμενης παραγράφου), η ευελιξία για πρόσθετη αξιοποίηση της μπαταρίας (πχ σε υπηρεσίες δικτύου, arbitrage) αλλά και τα οφέλη εξοικονόμησης κόστους και χρόνου από τη κοινή διασύνδεση των δυο μονάδων, μεγιστοποιούν την προσφερόμενη αξία των μονάδων αυτών, καθιστώντας τα υβριδικά PPAs μια ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή.

Ωστόσο, μέχρι στιγμής οι περισσότερες συμβάσεις που έχουν υπογραφεί αφορούν εταιρικούς αγοραστές με σημαντική ζήτηση. Για τις εταιρείες με μικρή έως μεσαία ζήτηση ενέργειας, υπάρχει ένα θέμα χρηματοδότησης με κοινές συμβάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποθήκευσης, καθώς η αποθήκευση δεν επωφελείται από παρόμοια λειτουργία και συντήρηση όπως τα φωτοβολταϊκά, γεγονός που δυσκολεύει την ενσωμάτωση και των δύο στοιχείων στην ίδια σύμβαση PPA. Η αποθήκευση θα καλύπτεται μόνο για όσο διαρκεί η εγγύηση του κατασκευαστή της μπαταρίας, και έτσι οι αγοραστές σπάνια συμφωνούν σε μια σύμβαση όπου το πακέτο συντήρησης και λειτουργίας δεν διαρκεί για όλη τη διάρκεια του PPA. Επιπλέον, ένα σημαντικό εμπόδιο για την εξάπλωση των υβριδικών PPAs είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα των διαπραγματεύσεων, ως αποτέλεσμα της συνεκμετάλλευσης των δυο μονάδων. Ενδεικτικά, μερικά από τα πρόσθετα σημεία διαπραγμάτευσης αφορούν την επιλογή του τύπου BESS και των τεχνικών χαρακτηριστικών της, τη μορφή PPA με την οποία θα είναι συμβατή (Με ή χωρίς φυσική

παράδοση), το είδος χρήσης για το οποίο προορίζεται, τα δικαιώματα ελέγχου του BESS, ανάληψη ευθυνών σε θέματα συντήρησης, κινδύνου, ασφάλειας κλπ.

Ένα από τα σημαντικότερα τεχνικά ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν προστίθεται μια μονάδα BESS σε υφιστάμενο ΦΒ σταθμό σχετίζεται με την συνένωση της μονάδας αυτής στη πλευρά συνεχούς (DC) ή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Η πρώτη περίπτωση (αριστερό σχήμα) αναφέρεται και ως διαμόρφωση με σύζευξη DC (DC-Coupled Configuration), ενώ η δεύτερη ως διαμόρφωση με σύζευξη AC (AC-Coupled Configuration). Τα αιολικά έργα διαθέτουν, εξ'ορισμού, διαμόρφωση με σύζευξη AC λόγω της εναλλασσόμενης εξόδου των ανεμογεννητριών τους [29].



Εικόνα 29: Σχηματική απεικόνιση ΦΒ και μονάδας BESS σε διαμόρφωση με σύζευξη DC (Αριστερά) και διαμόρφωση με σύζευξη AC (Δεξιά)

Σε μια DC-συζευγμένη διαμόρφωση, ο ηλιακός συλλέκτης και το BESS συνδέονται στον ίδιο δίαυλο DC (DC Bus) και χρησιμοποιούν το ίδιο σύστημα μετατροπής ισχύος για τη μετατροπή από DC σε AC ρεύμα. Προστίθεται ένας DC-DC μετατροπέας μεταξύ του ΦΒ σταθμού και των μπαταριών για τη μετατροπή της DC τάσης του ΦΒ ώστε να ταιριάζει με την DC τάση που απαιτείται για τη φόρτιση των μπαταριών. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα BESS να φορτίζεται απευθείας και μόνο από το ΦΒ σταθμό (DC-tightly coupled). Βασικά πλεονεκτήματα αυτής της διαμόρφωσης είναι η υψηλότερη απόδοση πλήρους κύκλου, χαμηλότερα κόστη συνένωσης των δυο μονάδων αλλά και η αποφυγή των περικοπών ισχύος (clipping), καθώς και στις περιπτώσεις όπου η παραγωγή του ΦΒ υπερβαίνει την ονομαστική ισχύ του μετατροπέα, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης στις μπαταρίες. Παρόλα αυτά, η διαμόρφωση αυτή δεν αποτελεί μια ευέλικτη λύση γεγονός που τη καθιστά κατάλληλη για ένα πιο περιορισμένο εύρος εφαρμογών, όπως η εξομάλυνση/έλεγχος ράμπας της ισχύος του ΦΒ. Μια πρόσθετη συνιστώσα που είναι ικανή να καταστήσει τη διάταξη αυτή περισσότερο ευέλικτη, ώστε η μπαταρία να απορροφά ενέργεια και από το δίκτυο, είναι η τοποθέτηση ενός μετατροπέα ισχύος διπλής κατεύθυνσης.

Σε μια AC-συζευγμένη διαμόρφωση, υπάρχουν δύο μετατροπείς για τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος: ένα για το ΦΒ έργο και ένα για τη μονάδα BESS. Σε αυτή τη διάταξη, το BESS μπορεί να φορτίζεται είτε μέσω αντίστροφης τροφοδοσίας από το σύστημα μεταφοράς ή διανομής είτε μέσω της μονάδας ΑΠΕ. Για να φορτιστεί το BESS από τον ΦΒ σταθμό, η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να μετατραπεί από DC σε AC στον ηλιακό μετατροπέα ισχύος και στη συνέχεια από AC σε DC στον μετατροπέα του BESS. Η συγκεκριμένη διαρρύθμιση, έχει υψηλότερες ενεργειακές

απώλειες λόγω των πολλαπλών μετατροπών ισχύος, απαιτεί ενδελεχή αξιολόγηση των απαιτήσεων διασύνδεσης και δεν μετριάξει το φαινόμενο των περικοπών ισχύος.

Μια άλλη παράμετρος που αποτελεί κύριο κριτήριο σχεδιασμού ενός υβριδικού συστήματος είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο κλάσμα ανανεώσιμης ισχύος (Renewable Power Fraction-RPF), δηλαδή ο μέγιστος λόγος στιγμιαίας ανανεώσιμης ενέργειας που παραδίδεται ως προς το μεταβαλλόμενο φορτίο του αγοραστή (για εταιρικά PPAs). Λεπτομερής ανάλυση φορτίου και παρακολούθηση των ανανεώσιμων πόρων απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η μοντελοποίηση για τη βελτιστοποίηση σχεδιασμού του συστήματος αυτού. Εξίσου σημαντικό είναι και το ελάχιστο κλάσμα ανανεώσιμης ενέργειας (Renewable Energy Fraction-REF) το οποίο περιγράφει το μερίδιο που καταλαμβάνει η συνολική ανανεώσιμη ενέργεια ως προς το συνολικό φορτίο του αγοραστή για προκαθορισμένη χρονική περίοδο, τυπικά για ένα έτος. Το μέγιστο RPF και το ελάχιστο REF συγκαταλέγονται στις απαιτήσεις απόδοσης που συμφωνούν οι δυο συμβαλλόμενοι στα πλαίσια ενός υβριδικού PPA.

Γενικά, έμποροι και προμηθευτές προτιμούν δομές συμβολαίων βασισμένες σε πολλαπλές πηγές εσόδων (revenue stack) και που τους επιτρέπουν τον άμεσο έλεγχο της μονάδας παραγωγής ή αποθήκευσης. Απεναντίας, οι εταιρικοί αγοραστές συχνά εισέρχονται σε ένα PPA ώστε να προστατευτούν από τις διακυμάνσεις των τιμών της αγοράς, να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα και τα ενεργειακά τους κόστη και να επιδείξουν δέσμευση προς της βιωσιμότητα. Γι' αυτό, προτιμούν συμβάσεις με απλούς όρους όπου δεν κατέχουν τον πλήρη έλεγχο της μονάδας παραγωγής ή αποθήκευσης. Οι κυριότερες διαμορφώσεις υβριδικών PPA που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία είναι οι ακόλουθες [30]:

1) Ανανεώσιμο PPA & Σύμβαση Χωρητικότητας Αποθήκευσης/Σύμβαση βελτιστοποίησης (Renewable PPA & Storage Capacity agreement (CSA)/Optimization agreement)

Αυτή η υβριδική διαμόρφωση περιλαμβάνει 2 διακριτά συμβόλαια: α) Ένα τυπικό PPA με ΑΠΕ και β) ένα ξεχωριστό συμβόλαιο που αφορά την μονάδα αποθήκευσης. Τα δύο συστήματα λειτουργούν ανεξάρτητα και έχουν ξεχωριστές συμβατικές συμφωνίες, μοιράζοντας απλά τα τεχνικά και οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την ύπαρξη τους στην ίδια τοποθεσία. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες συνεργασίες μεταξύ των συμβολαίων.

Το συμβόλαιο που αφορά την αποθήκευση μπορεί να είναι είτε μια σύμβαση βελτιστοποίησης είτε μια σύμβαση χωρητικότητας αποθήκευσης. Η σύμβαση βελτιστοποίησης είναι μια υπηρεσία προς την αγορά (route to market service arrangement) όπου οι ιδιοκτήτες της μονάδας αποθήκευσης αναθέτουν την στρατηγική προσφοράς (bidding strategy) της μονάδας σε εταιρείες εξειδικευμένες σε θέματα βελτιστοποίησης (storage optimization companies) μέσω των οποίων παρέχουν συγκεκριμένες υπηρεσίες στο δίκτυο. Τα χρήματα που εξασφαλίζουν οι εταιρείες αυτές από την αξιοποίηση της μονάδας, διαμοιράζονται από κοινού με τον ιδιοκτήτη της. Συνήθης πρακτική για τους παρόχους των υπηρεσιών βελτιστοποίησης είναι είτε να προσφέρουν μια σταθερή ελάχιστη τιμή, που σημαίνει ότι ο κίνδυνος της τιμής κατανέμεται από κοινού ή να πληρώνουν στον ιδιοκτήτη του έργου ένα μέρος των κερδών σε μηνιαία βάση. Είναι επίσης δυνατός ο συνδυασμός των μεθόδων πληρωμής. Στις διαπραγματεύσεις, ο ιδιοκτήτης της αποθήκευσης θα λάβει διάφορες προσφορές από τέτοιες εταιρείες προκειμένου να κατασταλάξει στην επωφέλεστερη για εκείνον.

Η σύμβαση χωρητικότητας αποθήκευσης περιλαμβάνει ένα συμβόλαιο διαθεσιμότητας όπου ο αγοραστής ορίζει τις περιόδους κατά τις οποίες η μονάδα αποθήκευσης οφείλει να είναι άμεσα

διαθέσιμη για να καλύψει τις ανάγκες του αγοραστή. Ουσιαστικά, πρόκειται για την ενοικίαση αυτού του περιουσιακού στοιχείου σε τρίτο, κάτι που καθιστά τη συμφωνία περισσότερο συναλλακτική (σε αντίθεση με μία υπηρεσιακή). Τα συμβόλαια αυτά εμφανίζονται περισσότερο σε αγορές με περιορισμένες βοηθητικές και υπηρεσίες χονδρικής. Στις ΗΠΑ, οι αγοραστές των συμβάσεων χωρητικότητας είναι συνήθως οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας που είναι υπεύθυνες για την υγεία του δικτύου και συνήθως "ενοικιάζουν" μονάδες αποθήκευσης από τους ιδιοκτήτες τους. Ως αντάλλαγμα, προσφέρουν σταθερές πληρωμές χωρητικότητας - γνωστές και ως «πληρωμές tolling», βασισμένες στη χωρητικότητα του έργου. Ουσιαστικά, τέτοιες συμφωνίες δεν διαφέρουν σημαντικά από τα συμβόλαια που προκύπτουν από τις Αγορές Χωρητικότητας σε όλη την Ευρώπη, όπου ο φορέας δικτύου - ή ο αρμόδιος φορέας - ενοικιάζει ένα περιουσιακό στοιχείο αποθήκευσης σε περίπτωση ανάγκης (ειδοποίηση χωρητικότητας), και προσφέρει σταθερές πληρωμές ανά MW (ακόμη κι αν δεν αξιοποιηθούν).

2) *Ανανεώσιμο Μορφοποιημένο PPA (Renewable Shaped PPA)*

Πρόκειται για μια διαμόρφωση στην οποία τα δυο έργα μοιράζονται συμβατικές συμφωνίες με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός μορφοποιημένου υβριδικού PPA. Σκοπός μιας τέτοιας συμφωνίας είναι μορφοποίηση της ακανόνιστη ροής (irregular flow) ενός σταθμού ΑΠΕ μέσω της αποθήκευσης για τη δημιουργία δομών παράδοσης αντίστοιχων με εκείνων του προκαθορισμένου προφίλ και του φορτίου βάσης. Ο κίνδυνος της ποσότητας και του προφίλ, αν και μετριασμένος λόγω της αποθήκευσης, αποδίδεται στον πωλητή, γεγονός που συνυπολογίζεται κατά τη τιμολόγηση. Η συμφωνημένη τιμή είναι πιθανό να μεταβάλλεται αναλόγως με την χρονική στιγμή παράδοσης και μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις, ένα συμβόλαιο θα μπορούσε να έχει 12x24 επίπεδα τιμολόγησης, δηλαδή διαφορετική τιμή για κάθε ώρα ενός μήνα.

Οι πωλητές που συμμετέχουν σε αυτές τις συμφωνίες θα πρέπει να είναι πρόθυμοι να προσαρμοστούν στους περιορισμούς που θέτουν τα διαμορφωμένα προφίλ συμπληρώνοντας τυχόν έλλειμα παραγωγής είτε μέσω της αποθήκευσης είτε μέσω της συμμετοχής τους στην χονδρική αγορά. Ένας από τους λόγους για τον οποίο θα μπορούσε να υπάρξει για τον πωλητή η ανάγκη προμήθειας ενέργειας από την αγορά, θα ήταν η παράλληλη συμμετοχή της μονάδας αποθήκευσης σε βοηθητικές υπηρεσίες για το δίκτυο, γεγονός που θα δημιουργούσε σύγκρουση των δυο δραστηριοτήτων. Πιθανοί ενδιαφερόμενοι μιας τέτοιας συμφωνίας θα μπορούσαν να είναι καταναλωτές που επιθυμούν να λαμβάνουν πράσινη ενέργεια σε 24-ώρη βάση ή ακόμα και καθετοποιημένες εταιρείες που επιδιώκουν να επωφεληθούν από αυστηρές δομές παράδοσης.

3) *Ενοποιημένο PPA ανανεώσιμων-αποθήκευσης με προσαύξηση (Blended Renewable & Storage Premium PPA)*

Η κύρια διαφορά μεταξύ της συμφωνίας αυτής και του Ανανεώσιμου Μορφοποιημένου PPA έγκειται στην ενσωμάτωση μιας σταθερής προσαύξησης για κάθε MWh στο προσυμφωνημένο σημείο παράδοσης. Το γεγονός αυτό δίνει το δικαίωμα στον αγοραστή να διαπραγματευτεί το πρόγραμμα φόρτισης-αποφόρτισης που θα ακολουθεί η μονάδα αποθήκευσης για όλο τον χρονικό ορίζοντα του PPA. Ενδιαφερόμενοι για το εν λόγω είδος σύμβασης θα μπορούσαν να είναι τόσο οι έμποροι και οι προμηθευτές όσο και οι ενεργοβόροι καταναλωτές. Η πρώτη κατηγορία είναι εφικτό να επωφεληθεί από τις συναλλαγές που πραγματοποιεί στην χονδρική αγορά με την ενέργεια που τους παρέχει η μπαταρία, ενώ οι καταναλωτές λαμβάνοντας τη συμφωνημένη ενέργεια σε ένα κατάλληλα σχεδιασμένο προφίλ που βελτιστοποιεί τις ενεργειακές τους ανάγκες, δύναται να αποκομίσουν σημαντικά οφέλη λόγω εξοικονόμησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

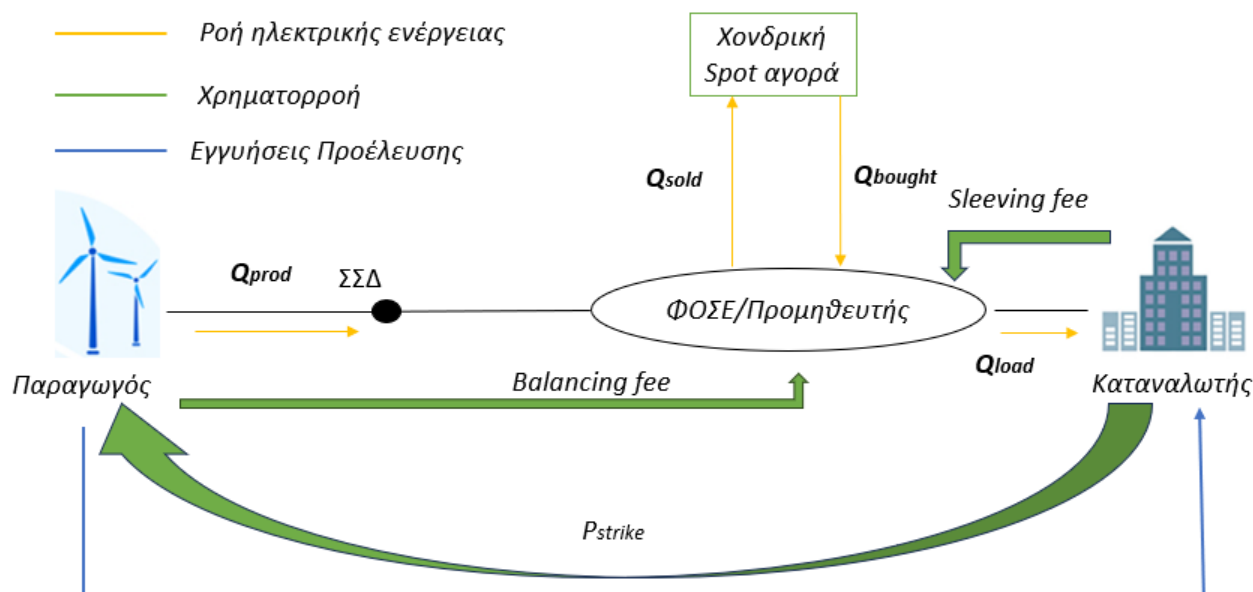
Αριθμητική εφαρμογή υβριδικών PPAs

3.1 Επιλεγμένη μορφή, δεδομένα και διαδικασία υπολογισμού

Στο τρίτο κεφάλαιο αυτής της εργασίας, επιχειρείται η γεφύρωση ενός κενού της υπάρχουσας βιβλιογραφίας αναφορικά με τα PPAs και την πρακτική τους εφαρμογή. Παρότι τα PPAs έχουν λάβει προσοχή σε θεωρητικό επίπεδο, η αριθμητική τους απεικόνιση, ειδικά σε ότι αφορά τα Physical PPAs, παραμένει σχετικά ανεξερεύνητη. Η εφαρμογή που υλοποιήθηκε αποσκοπεί στην ανάδειξη των κινδύνων που ενέχει ένα PPA, στην επεξήγηση του τρόπου λειτουργίας και στην κατανόηση, από τον αναγνώστη, των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν τη δομή του PPA αλλά και του τελικού οικονομικού αποτελέσματος της συμφωνίας αυτής. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η συμβολαιοποίηση μέρους της παραγωγής μιας Ανεμογεννήτριας και ενός ΦΒ, μέσω των ολοένα και δημοφιλέστερων δομών pay-as-contracted, αλλά και η δυνητική επίδραση που θα είχε η ενσωμάτωση ενός συστήματος BESS σε κάθε συνδυασμό τεχνολογίας και δομής ξεχωριστά. Σημειώνεται, επίσης ότι τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής είναι ενδεικτικά και εξαρτώνται άμεσα τόσο από τις επιλεγμένες παραμέτρους της υπολογιστικής διαδικασίας όσο και από τις υποθέσεις/παραδοχές που λήφθηκαν υπόψη.

3.1.1 Επιλεγμένη μορφή PPA

Αρχικά, θεωρήθηκε η διαπραγμάτευση ενός PPA φυσικής παράδοσης μεταξύ δυο ενδιαφερόμενων μερών: ενός παραγωγού ΑΠΕ, ο οποίος θα έχει τον ρόλο του πωλητή εντός της συμφωνίας και ενός καταναλωτή που αναλαμβάνει τον ρόλο του αγοραστή. Η παράδοση της ηλεκτρικής ενέργειας από τον παραγωγό στον καταναλωτή θα ακολουθεί τις συνηθέστερες δομές πληρωμής αναλόγως τη συμφωνία (pay-as-contracted) δηλαδή, του προκαθορισμένου προφίλ, του ημερήσιου προφίλ αιχμής, του μηνιαίου αλλά και του ετήσιου φορτίου βάσης. Κύρια υποχρέωση είναι για τον παραγωγό η πώληση και τον καταναλωτή η αγορά του εκάστοτε εξεταζόμενου προφίλ παράδοσης στη συμφωνημένη τιμή (P_{strike}) μαζί με τις αντίστοιχες εγγυήσεις προέλευσης για όλη τη διάρκεια του PPA. Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας αυτής, κρίθηκε αναγκαία η προσθήκη μιας ενδιάμεσης οντότητας που θα εκπροσωπεί και τα δυο μέρη της συμφωνίας έναντι κάποιου αντιτίμου (balancing fee και sleeving fee). Για τον παραγωγό, η ενδιάμεση οντότητα θα έχει την ιδιότητα ΦΟΣΕ, δηλαδή θα εκπροσωπεί τον αγωγό στη spot αγορά και θα φέρει την ευθύνη για τυχόν αποκλίσεις μεταξύ προγραμματισμένης και πραγματικής παραγωγής της εγκατάστασης του. Επομένως, ο παραγωγός δύναται να προμηθεύεται αλλά και να διοχετεύει ενέργεια στη χονδρική αγορά, διαμέσου της οντότητας που τον εκπροσωπεί. Για τον καταναλωτή, θα έχει την ιδιότητα προμηθευτή και θα λαμβάνει την ευθύνη για τυχόν αποκλίσεις μεταξύ της προγραμματισμένης και της πραγματικής του ζήτησης, θα παρέχει συμπληρωματική ενέργεια για την κάλυψη του υπολειπόμενου φορτίου του και θα αναλαμβάνει την παραλαβή και διανομή της συμφωνηθείσας ενέργειας από το προκαθορισμένο σημείο παράδοσης στις εγκαταστάσεις του καταναλωτή. Το σημείο αυτό ορίζεται ως το σημείο σύνδεσης της εγκατάστασης με το δίκτυο (ΣΣΔ). Η συμπληρωματική ενέργεια θα παρέχεται στον καταναλωτή στις τρέχουσες τιμές της αγοράς, ενώ λοιπές μη εμπορικές χρεώσεις (πχ χρεώσεις δικτύου) αμελούνται στα πλαίσια της εφαρμογής αυτής. Υπάρχουν 4 διακριτές περιπτώσεις εγκαταστάσεων υπό διαπραγμάτευση: α) Φ/Β σταθμός β) Αιολικός σταθμός γ) Υβριδικό σύστημα Φ/Β σταθμού και BESS δ) Υβριδικό σύστημα αιολικού σταθμού και BESS. Μια σχηματική απεικόνιση του PPA φυσικής παράδοσης για τη περίπτωση αιολικού σταθμού εμφανίζεται στη παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 30: Σχηματική απεικόνιση του εξεταζόμενου PPA φυσικής παράδοσης για τη περίπτωση αιολικού σταθμού

Η μέθοδος τιμολόγησης που επιλέγεται είναι εκείνη της σταθερής τιμής με τιμαριθμική προσαρμογή σε ετήσια βάση και ενσωματώνει και τα δυο αγαθά υπό διαπραγμάτευση (ηλεκτρική ενέργεια και εγγυήσεις προέλευσης). Ως δείκτης αναφοράς του πληθωρισμού επιλέγεται ο δείκτης τιμών καταναλωτή και επομένως η σταθερή τιμή θα ακολουθεί σε ετήσια βάση τις ποσοστιαίες μεταβολές του συγκεκριμένου δείκτη. Η χρονική διάρκεια της σύμβασης ορίζεται στα 8 έτη και αφετηρία την ημέρα έναρξης εμπορικής λειτουργίας του έργου, ενώ για λόγους απλοποίησης, δεν θέτονται όροι εγγυήσεων παραγωγής που να αφορούν την λειτουργική απόδοση και τη διαθεσιμότητα της εγκατάστασης. Επίσης, γίνεται η παραδοχή ότι ο παραγωγός μένει πάντα συνεπής στις χρονικές και ποσοτικές του δεσμεύσεις αλλά και τους υπόλοιπους τυπικούς όρους του PPA και συνεπώς, δεν ορίζονται μη συμμόρφωσης. Συνοπτικά, οι βασικοί όροι του συμβολαίου αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα:

Όροι PPA	Περιγραφή
Διαπραγματεύσιμο αγαθό	Ηλεκτρική ενέργεια και εγγυήσεις προέλευσης
Εξεταζόμενες εγκαταστάσεις	-Αιολικός Σταθμός -ΦΒ Σταθμός -Αιολικός σταθμός και μονάδα BESS -ΦΒ σταθμός και μονάδας BESS
Προφίλ παράδοσης	-Ημερήσιο Προφίλ Αιχμής -Προκαθορισμένο Προφίλ -Μηνιαίο Φορτίο Βάσης -Ετήσιο Φορτίο Βάσης
Σημείο Παράδοσης	Στο σημείο σύνδεσης της εγκατάστασης στο δίκτυο
Χρονική Διάρκεια	8 έτη
Ημερομηνία έναρξης ισχύος	Ημερομηνία έναρξης εμπορικής λειτουργίας του έργου
Μέθοδος Τιμολόγησης	Σταθερής τιμής (P_{strike}) με τιμαριθμική προσαρμογή
Δείκτης αναφοράς του πληθωρισμού	Δείκτης Τιμών Καταναλωτή

Εγγυήσεις απόδοσης και διαθεσιμότητας του έργου	Όχι
Κυρώσεις μη συμμόρφωσης	Όχι

Πίνακας 3: Βασικοί όροι διαπραγμάτευσης της εξεταζόμενης εφαρμογής PPA φυσικής παράδοσης.

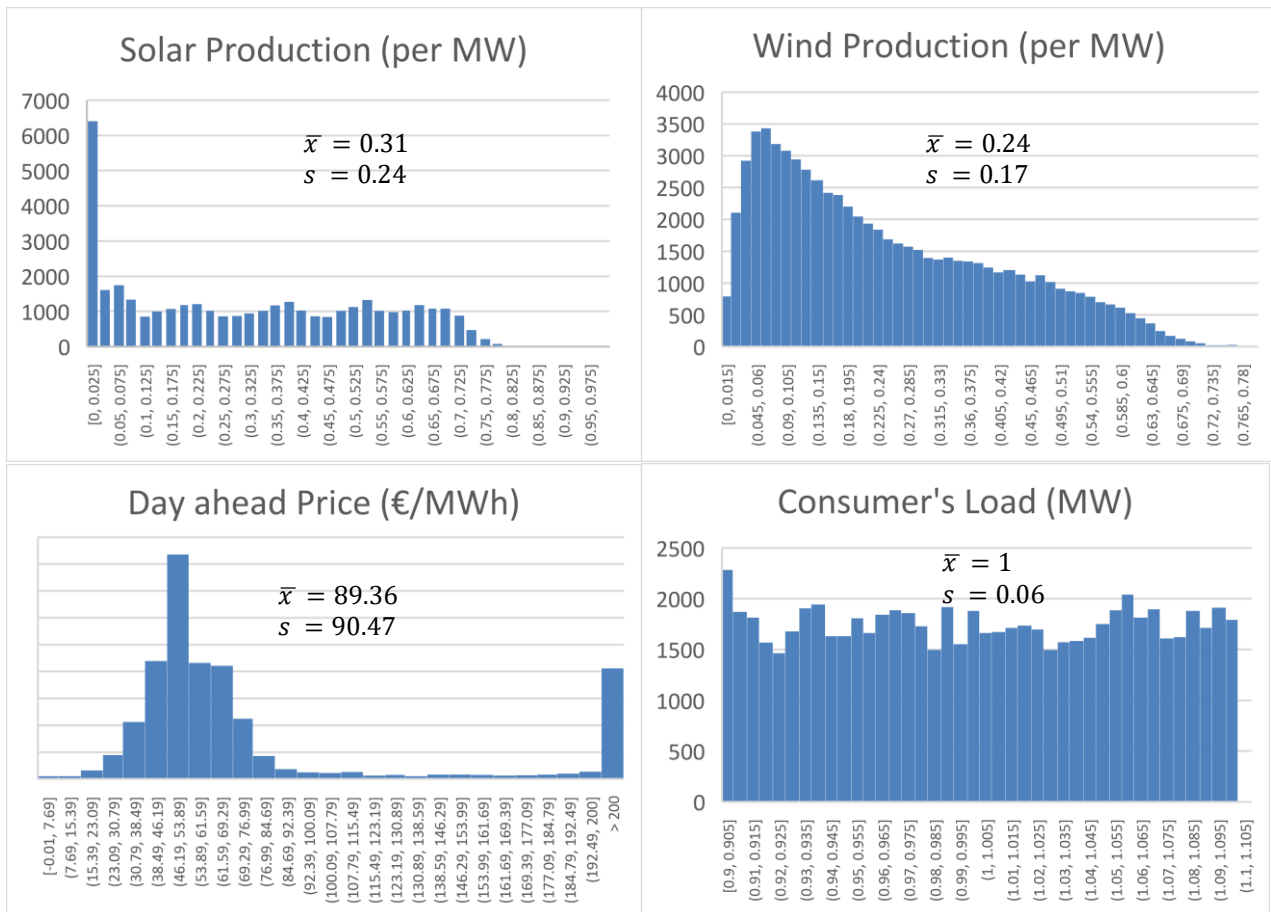
3.1.2 Επιλογή Δεδομένων και παραμέτρων

A) Χρονοσειρές εισόδου και κατασκευή προφίλ παράδοσης

Αρχικά, μέσω της πλατφόρμας Entsoe των ευρωπαϊκών διαχειριστών μεταφοράς ενέργειας, λήφθηκαν τα πραγματικά ωριαία δεδομένα της αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής για την περιοχή της Ελλάδας (σε MWh/h ή MW), όπως επίσης και η εγκατεστημένη ισχύ (σε MW) που έχει καταγραφεί σε ετήσια βάση για τις δυο αυτές κατηγορίες σε χρονικό ορίζοντα 8 ετών (2015-2022). Με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής, δημιουργήθηκαν για κάθε έτος ξεχωριστά, οι μηνιαίες τιμές της εγκατεστημένης ισχύος, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την αδιαστατοποίηση (per unit) των δεδομένων αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής. Οι νέες χρονοσειρές αντιπροσωπεύουν τη παραγωγή ενός αιολικού ή ΦΒ έργου ανά λειτουργικό MW τοποθετημένο από τη μεριά του παραγωγού. Έτσι, αξιοποιήθηκαν στη συνέχεια για προσομοιάσουν την παραγωγή έργων ΑΠΕ διαφορετικού μεγέθους.

Από την ίδια πηγή αντλήθηκαν οι τιμές της αγοράς επόμενης ημέρας (Day ahead Market Price σε €/MWh) για το ίδιο χρονικό διάστημα οι οποίες στο εξής, θεωρούνται οι τιμές στις οποίες πραγματοποιεί τις συναλλαγές του χονδρική spot αγορά ο παραγωγός (μέσω του ΦΟΣΕ) αλλά και οι τιμές στις οποίες αγοράζει ο καταναλωτής το υπολειπόμενο φορτίο του (μέσω του προμηθευτή). Επιπροσθέτως, ελήφθη η απόφαση να δημιουργηθεί μια ωριαία χρονοσειρά ζήτησης βασισμένη σε μια μέση τιμή του 1 MW. Οι τιμές αυτής της χρονοσειράς είναι υπό την επίδραση τυχαίων αποκλίσεων, οι οποίες δεν υπερβαίνουν το 10% γύρω από τη μέση τιμή. Ο λόγος για τη κατασκευή αυτής της καμπύλης ζήτησης είναι για να αντικατοπτρίζει το χαρακτηριστικό προφίλ λειτουργίας ενός βιομηχανικού καταναλωτή. Αυτός ο τύπος καταναλωτή, συνήθως παρουσιάζει σταθερή και προβλέψιμη ζήτηση, κάτι που τον καθιστά ιδανικό για τις εξεταζόμενες δομές παράδοσης, ιδιαίτερα για τις δομές ελαχίστου φορτίου, καθώς σε συνδυασμό με την επιλεγμένη μέθοδο τιμολόγησης, εξασφαλίζει σταθερά κόστη για σημαντικό μέρος της ζήτησης του.

Παρακάτω, εμφανίζονται τα ιστογράμματα των χρονοσειρών αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής, της τιμής της αγοράς επόμενης ημέρας καθώς και της ζήτησης του καταναλωτή. Πέρα από το φορτίο, οι άλλες 3 παράμετροι παρουσιάζουν έντονη διασπορά ως προς τη μέση τιμή.



Εικόνα 31: Ιστογράμματα χρονοσειρών αιολικής και ΦΒ παραγωγής, τιμής της αγοράς επόμενης ημέρας και ζήτησης του καταναλωτή.

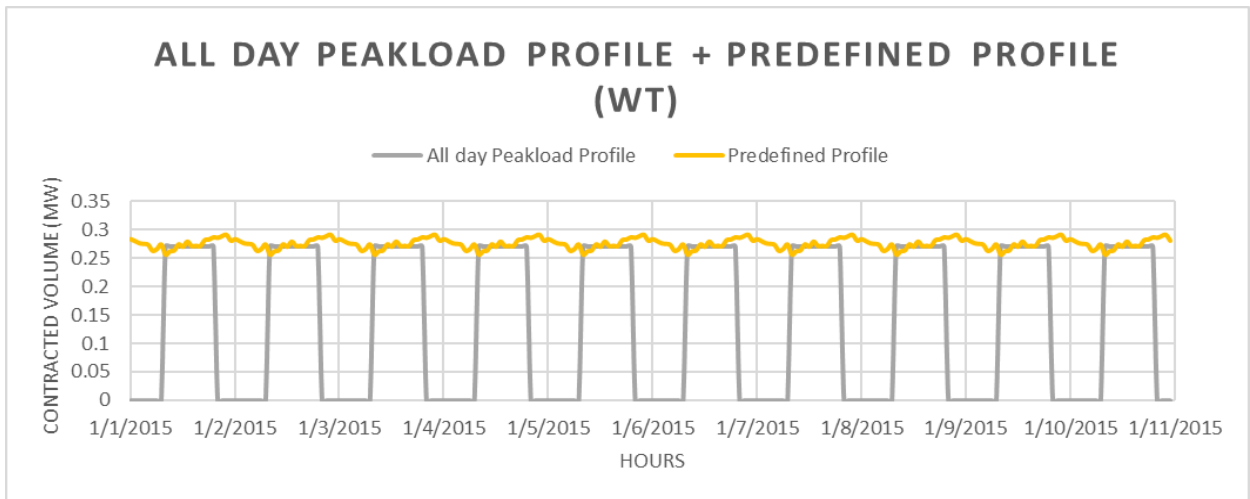
Η κατασκευή των χρονοσειρών προφίλ παράδοσης στηρίχτηκε στη πιθανότητα P50 των χρονοσειρών αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής, δηλαδή το επίπεδο παραγωγής το οποίο ο υπό μελέτη σταθμός ΑΠΕ θα υπερβεί με πιθανότητα 50%. Πρακτικά, με δεδομένο όλο το σύνολο των μετρήσεων παραγωγής, η πιθανότητα αυτή είναι γνωστή και ίση με τον διάμεσο (median) του επιλεγμένου, κάθε φορά, συνόλου μετρήσεων. Επί της ουσίας:

- Προφίλ ετήσιου φορτίου βάσης (Annual baseload Profile): για την αιολική παραγωγή, από το σύνολο όλων των μετρήσεων της 8-ετίας, βρέθηκε ο διάμεσος και τέθηκε ως ενιαία ποσοτική δέσμευση παράδοσης για όλες τις ώρες κάθε έτους του ΡΡΑ. Για την φωτοβολταϊκή παραγωγή, εφόσον ο διάμεση τιμή όλων των μετρήσεων είναι μηδενική, επιλέχθηκε η διάμεση τιμή μόνο των ωρών αιχμής (08:00-20:00) και εφαρμόστηκε ένα πιο συντηρητικό όριο παράδοσης (50% P50) για όλες τις ώρες κάθε έτους, δεδομένη της απουσίας ηλιοφάνειας κατά τις βραδινές ώρες.
- Προφίλ μηνιαίου φορτίου βάσης (Monthly baseload Profile): Η ουσιαστική διαφορά με το ετήσιο φορτίο βάσης έγκειται στον διαχωρισμό του συνόλου των μετρήσεων για κάθε μήνα του έτους. Για παράδειγμα, για την εύρεση της 24-ώρης ποσοτικής δέσμευσης του παραγωγού κατά τον μήνα Ιανουάριο, επιλέχθηκε η διάμεση τιμή (ή το ήμισυ αυτής για ΦΒ) μόνο των μετρήσεων παραγωγής που καταγράφηκαν τον συγκεκριμένο μήνα (8 έτη x 31 ημέρες x 24 ή 12 ώρες για την αιολική ή φωτοβολταϊκή παραγωγή αντίστοιχα).
- Ημερήσιο Προφίλ αιχμής (All day Peakload Profile): Για το σύνολο των ωρών αιχμής κάθε μήνα, τέθηκε ως ποσοτική δέσμευση ο διάμεσος και για τα δυο έργα ΑΠΕ.
- Προκαθορισμένο Προφίλ (Predefined Profile): Για το σύνολο των μετρήσεων που αφορούν μια επιλεγμένη ώρα εντός προκαθορισμένου μήνα, αξιοποιήθηκε ο διάμεσος και για τα δυο έργα ΑΠΕ. Έτσι, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες δομές, όλες οι ημέρες ενός μήνα, διαθέτουν το ίδιο 24-ώρο προφίλ παράδοσης με διαφορετικά επίπεδα παράδοσης ανά ώρα.

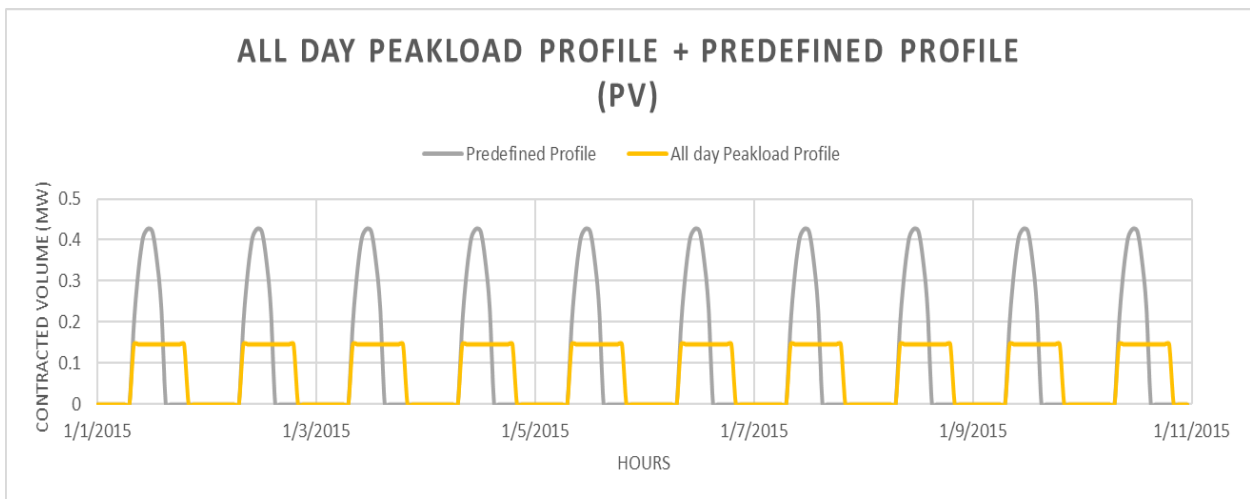
Εφόσον διερευνήθηκαν μεγέθη έργων ΑΠΕ με εγκατεστημένη ισχύ υψηλότερη του 1 MW, κρίθηκε σκόπιμο να εφαρμοστεί ένα άνω όριο (Cap) ίσο με 0.9 MW στα παραπάνω προφίλ, ώστε να μην γίνει υπέρβαση του ελάχιστου ωριαίου φορτίου του καταναλωτή αλλά και ένα κατώφλι (threshold) ίσο με 0.1 MW, δηλαδή ένα όριο κάτω από το οποίο οι υπολογισμένες ποσότητες για παράδοση θέτονται ίσες με μηδέν, κυρίως για απλοποίηση των υπολογισμών.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικές εικόνες που απεικονίζουν τα 4 προφίλ παράδοσης, όπως αυτά διαμορφώθηκαν από τις μετρήσεις μια Ανεμογεννήτριας (WT) και ενός Φωτοβολταϊκού (PV) εγκατεστημένης ισχύος 1 MW.

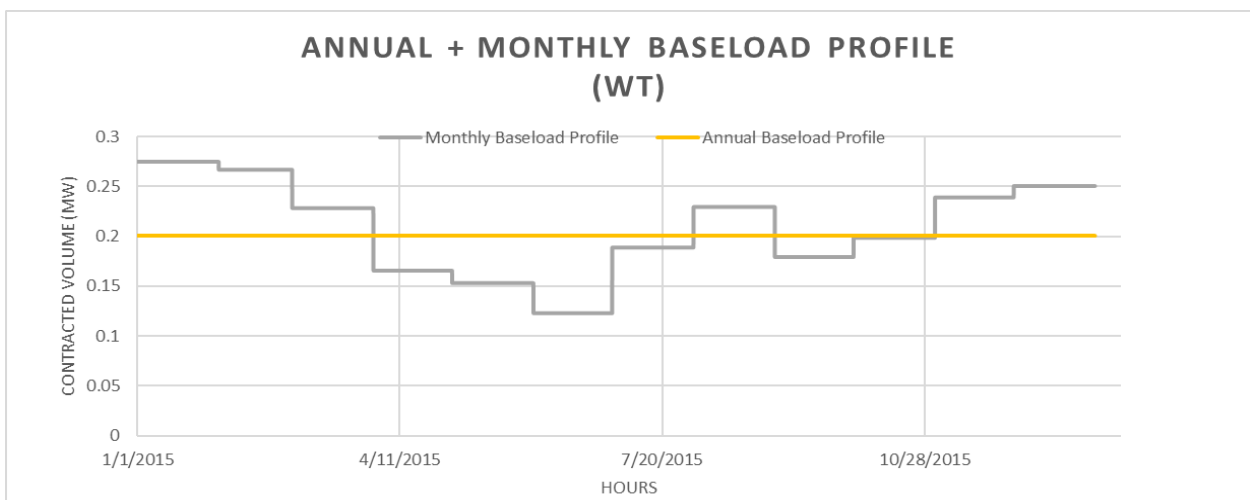
Σημειώνεται ότι το προκαθορισμένο και το ημερήσιο προφίλ αιχμής τοποθετούνται στο ίδιο γράφημα ωριαίας κλίμακας για διάστημα 10 ημερών, ενώ τα 2 προφίλ βάσης σε ωριαία κλίμακα για διάστημα ενός έτους, ώστε να αποτυπωθούν με μεγαλύτερη σαφήνεια οι λεπτομέρειες τους.



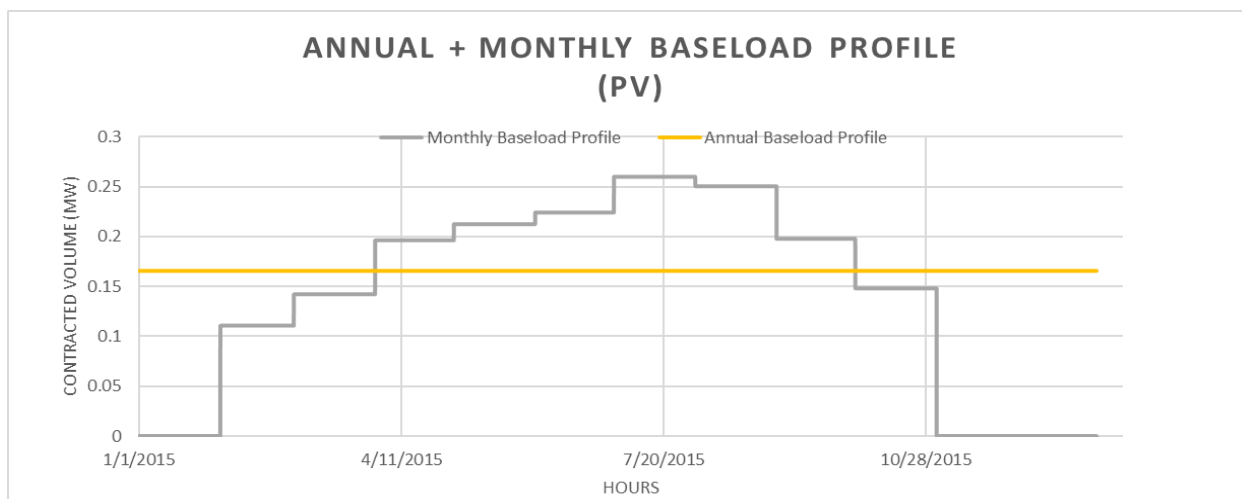
Εικόνα 32: Σχηματική απεικόνιση ημερήσιου προφίλ αιχμής και προκαθορισμένου προφίλ για Α/Γ ισχύος 1 MW



Εικόνα 33: Σχηματική απεικόνιση ημερήσιου προφίλ αιχμής και προκαθορισμένου προφίλ για ΦΒ ισχύος 1 MW



Εικόνα 34: Σχηματική απεικόνιση μηνιαίου και ετήσιου φορτίου βάσης για Α/Γ ισχύος 1 MW



Εικόνα 35: Σχηματική απεικόνιση μηνιαίου και ετήσιου φορτίου βάσης για ΦΒ ισχύος 1 MW

B) Τεχνικά Χαρακτηριστικά μονάδας αποθήκευσης

Η χρήση για την οποία προορίζεται η μπαταρίας επιβάλλει την συν-τοποθέτηση της με τον σταθμό ΑΠΕ για τη συγκρότηση ενός ενιαίου, υβριδικού συστήματος. Η μονάδα αποθήκευσης δρα συνεργατικά με τον σταθμό ΑΠΕ και έχει ως αποκλειστικό ρόλο τη χρονική μετατόπιση της παραγωγής, δηλαδή την απορρόφηση ισχύος κατά τις ώρες πλεονάζουσας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε σχέση με το επιλεγμένο προφίλ παράδοσης) και αντίστοιχα την έγχυση ισχύος κατά τις ώρες ελλειμματικής παραγωγής. Έτσι, η μονάδα ΑΠΕ αποκτά χαρακτηριστικά ευελιξίας καθώς πλέον διαθέτει μερική δυνατότητα ρύθμισης της ισχύος της. Βάσει αυτού, για τα τεχνικά χαρακτηριστικά που έχουν πρωτεύοντα ρόλο στην υλοποίηση της παρούσας εφαρμογής, γίνονται λογικές παραδοχές σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

Αναλυτικότερα, θεωρείται μια μπαταρία χημείας LFP με ονομαστική ισχύ χωρητικότητας 1 MW και ενεργειακή χωρητικότητα (σε MWh) εντός του εύρους [1,5]. Το μέγιστο βάθος αποφόρτισης της μπαταρίας αποτιμάται στο 90% της εκάστοτε χωρητικότητας της, ενώ η απόδοση πλήρους κύκλου αποτιμάται επίσης ίση με 90%, με τις απώλειες κατά το στάδιο της φόρτισης να θεωρούνται ίσες με εκείνες κατά το στάδιο της αποφόρτισης. Ο κύκλος ζωής της μπαταρίας θεωρείται ίσος με 7300 πλήρεις κύκλους, μετά το πέρας των οποίων έχει υποστεί σημαντική υποβάθμιση της χωρητικότητας της και φτάνει το τέλος ζωής της. Επιπλέον, παρέχεται 10ετής εγγύηση για τη διάρκεια ζωής της, από τον κατασκευαστή της μονάδας BESS, με την προϋπόθεση ότι δεν αποφορτίζεται χαμηλότερα από το κατώτατο επίπεδο φόρτισης της ($SoC_{min}=10\%$) και ότι οι ισοδύναμοι κύκλοι λειτουργίας ανά έτος δεν θα υπερβαίνουν τους 730. Τέλος, αναφορικά με το επίπεδο υγείας της μπαταρίας, γίνεται η απλουστευτική παραδοχή ετήσιας οριζόντιας απώλειας 1.5% (State of Health decay rate per year) επί της αρχικής της χωρητικότητας ανεξαρτήτως αριθμού κύκλων (εφόσον είναι μικρότεροι των 730). Όλες αυτές οι τεχνικές προδιαγραφές, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικά BESS	Προδιαγραφές
Χημεία μπαταρίας	LFP
Ονομαστική ισχύ χωρητικότητας	1 MW
Ενεργειακή χωρητικότητα	1-5 MWh
Απόδοση πλήρους κύκλου	90%
Βάθος αποφόρτισης	90%
Κύκλος ζωής	7300 κύκλοι
Ετήσια μείωση του επιπέδου υγείας (SoH)	1.5%
Εγγύηση Κατασκευαστή	10 έτη

Πίνακας 4: Προδιαγραφές επιλεγμένης μονάδας BESS

Γ) Οικονομικά μεγέθη και λοιπές παράμετροι

Από οικονομικής σκοπιάς, για την υλοποίηση της εφαρμογής απαιτείται η ρεαλιστική θεώρηση κάποιων πολύ βασικών παραμέτρων που αντιπροσωπεύουν το κόστος της εξεταζόμενης διαμόρφωσης. Τέτοιες παράμετροι αποτελούν το κόστος επένδυσης (CAPEX) κάθε μονάδας (παραγωγής ή αποθήκευσης), το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της (OPEX) όπως επίσης και η διάρκεια ζωής της επένδυσης και το επιτόκιο αναγωγής. Με τα δεδομένα αυτά, μπορεί να υπολογιστεί στη συνέχεια το σταθμισμένος κόστος ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης (LCOE) το οποίο τίθενται (από τον παραγωγό) ως η αφετηρία των διαπραγματεύσεων για τη συμφωνημένη τιμή (P_{strike}). Επιπλέον, αξιοποιούνται τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) σχετικά με τις ποσοστιαίες μεταβολές του δείκτη τιμών καταναλωτή κατά τη περίοδο 2015-2022. Για τις λοιπές παραμέτρους όπως το κόστος εκπροσώπησης το παραγωγού (balancing fee) και του καταναλωτή (sleeving fee) από την κοινή ενδιάμεση οντότητα, γίνεται μια πρώτη προσέγγιση βάσει της χρέωσης εκπροσώπησης ΑΠΕ από τον ΔΑΠΕΕΠ (ΦΟΣΕ τελευταίου καταφυγίου) και τα χαρακτηριστικά μεταβλητότητας που εμφανίζουν οι χρονοσειρές παραγωγής και ζήτησης. Έτσι, οι λεπτομέρειες των προαναφερθέντων μεγεθών/παραμέτρων αποτυπώνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Οικονομικά μεγέθη/παράμετροι	Λεπτομέρειες
CAPEX (€)	1.3*10 ⁶ / MW για τον αιολικό σταθμό 0.53*10 ⁶ / MW για τον ΦΒ σταθμό 0.3*10 ⁶ / MWh για τη μονάδα BESS
OPEX (€)	1% CAPEX
Διάρκεια ζωής της επένδυσης (έτη)	25 (για κάθε μονάδα παραγωγής ή αποθήκευσης)
Επιτόκιο αναγωγής (%)	7
Μεταβολές CPI (%)	Βάση στοιχείων ΕΛΣΤΑΤ
Balancing fee (€/MWh)	3
Sleeving fee (€/MWh)	0.5

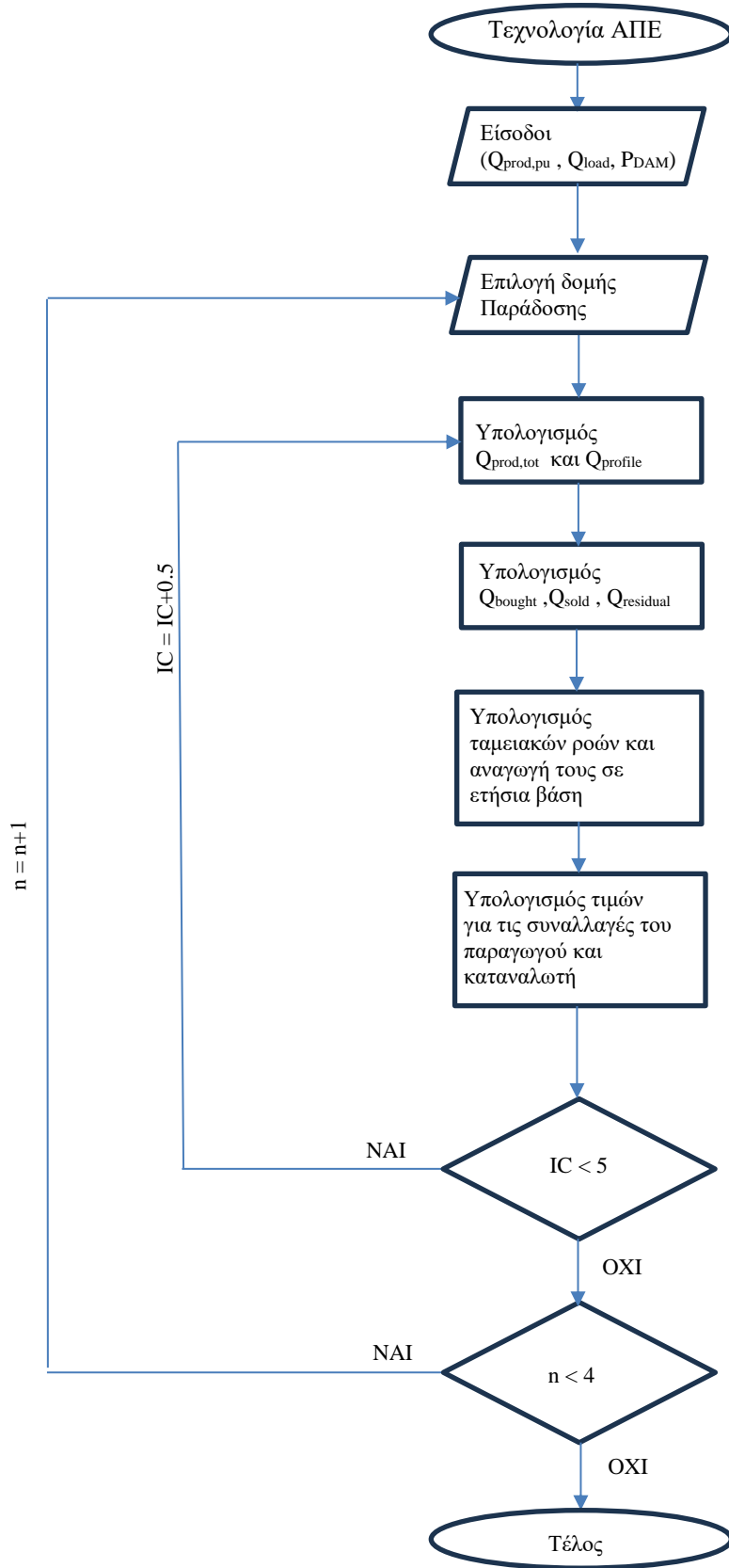
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά επιλεγμένων οικονομικών και λοιπών παραμέτρων.

3.1.3 Διαδικασία υπολογισμού

Δεδομένης της ανάγκης εξέτασης των 4 διακριτών εγκαταστάσεων (βλ παρ. 3.1.1) υλοποιήθηκαν 2 μεθοδολογίες που αντιστοιχούν σε δυο επιμέρους περιπτώσεις : Τις απλές εγκαταστάσεις, και τις υβριδικές εγκαταστάσεις.

A) Απλή εγκατάσταση (μοναδική τεχνολογία ΑΠΕ)

Ως βασικές είσοδοι ορίζονται οι ωριαίες χρονοσειρές αδιάστατης παραγωγής ($Q_{\text{prod,pu}}$), ζήτησης (Q_{load}) και τιμής της χονδρικής αγοράς (P_{DAM}) για τα 8 έτη του PPA. Η μεθοδολογία είναι σχετικά απλή και αφορά την υποχρέωση του παραγωγού να τηρήσει τις χρονικές και ποσοτικές του δεσμεύσεις, ανεξαρτήτως των διακυμάνσεων της παραγωγής του. Κατά κανόνα, ο σταθμός ΑΠΕ δεν δύναται να προσφέρει επακριβώς τη συμβολαιοποιημένη ποσότητα ενέργειας και συνεπώς, τη πλειοψηφία του χρόνου, ο παραγωγός βρίσκεται σε θέση ελλειμματικής ή πλεονασματικής παραγωγής (Short/Long position). Μοναδικό μέσο διαχείρισης αυτής της θέσης αποτελεί η συμμετοχή του στη χονδρική αγορά ενέργειας, μέσω του ΦΟΣΕ που τον εκπροσωπεί, για τη πραγματοποίηση των αναγκαιών, κάθε φορά, συναλλαγών. Μετά τον υπολογισμό του συνόλου της παραγωγής ($Q_{\text{prod,tot}}$) και βάσει αυτού του προφίλ παράδοσης (Q_{profile}), ακολουθεί ο υπολογισμός των ποσοτήτων αγοράς (Q_{bought}) και πώλησης (Q_{sold}) του παραγωγού στη spot αγορά αλλά και του υπολειπόμενου φορτίου (Q_{residual}) του καταναλωτή. Έπειτα σειρά έχει ο υπολογισμός των ταμειακών ροών του παραγωγού και του καταναλωτή σε ωριαίο επίπεδο, η αναγωγή όλων των μεγεθών σε ετήσια βάση (αθροιστικά ή μεσοσταθμικά) και τέλος, ο υπολογισμός πρόσθετων τιμών που αντιπροσωπεύουν τις συναλλαγές των δυο μερών στη spot αγορά. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις υπόλοιπες δομές παράδοσης ($n = 1$ έως 4) και μεγέθη εγκατεστημένης ισχύος (IC) στο διάστημα [1,5] με βήμα 0.5 MW και για τις 2 τεχνολογίες ΑΠΕ. Ένα διάγραμμα ροής που απεικονίζει την παραπάνω αλγοριθμική διαδικασία, παρουσιάζεται στη παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 36: Διάγραμμα ροής αλγοριθμικής διαδικασίας υπολογισμούς απλής εγκατάστασης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι εξισώσεις και οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ποσοτικών και οικονομικών μεγεθών, κατά τη σειρά εφαρμογής τους.

- 1) Οι ποσότητες που προμηθεύεται ο παραγωγός από την χονδρική αγορά θα είναι:

$$Q_{bought} = \begin{cases} Q_{profile} - Q_{prod} , & \text{για } Q_{prod} < Q_{profile} \\ 0, & \text{για } Q_{prod} \geq Q_{profile} \end{cases} \quad (3.1.3.1)$$

- 2) Οι ποσότητες που διοχετεύει ο παραγωγός στη χονδρική αγορά θα είναι:

$$Q_{sold} = \begin{cases} Q_{prod} - Q_{profile} , & \text{για } Q_{prod} > Q_{profile} \\ 0, & \text{για } Q_{prod} \leq Q_{profile} \end{cases} \quad (3.1.3.2)$$

- 3) Το υπολειπόμενο φορτίο του καταναλωτή θα είναι:

$$Q_{residual} = Q_{load} - Q_{profile} \quad (3.1.3.3)$$

- 4) Το σταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας ΑΠΕ θα είναι:

$$LCOE = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^{25} \frac{OPEX_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^{25} \frac{E_t}{(1+i)^t}} \quad (3.1.3.4)$$

Όπου E_t η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια της εξεταζόμενης τεχνολογίας ΑΠΕ και CAPEX, OPEX τα συνολικά κόστος επένδυσης, συντήρησης και λειτουργίας αντίστοιχα τα οποία είναι αναλογικά εξαρτώμενα από την εγκατεστημένη ισχύ.

- 5) Η προσαύξηση κινδύνου που τοποθετεί ο παραγωγός στην αρχική συμφωνημένη τιμή του PPA, έχει οριστεί συναρτήσει του LCOE αναλόγως του κινδύνου ποσότητας και μορφής που αναλαμβάνει ως εξής:

$$P_{premium} = \begin{cases} 8\% LCOE & , \text{για δομή προκαθορισμένου προφίλ} \\ 12\% LCOE & , \text{για δομή ημερήσιου προφίλ αιχμής} \\ 16\% LCOE & , \text{για δομή μηνιαίου φορτίου βάσης} \\ 20\% LCOE & , \text{για δομή ετήσιου φορτίου βάσης} \end{cases} \quad (3.1.3.5)$$

- 6) Η συμφωνημένη τιμή P_{strike}^0 για κάθε ώρα του 1^{ου} έτους του PPA υπολογίζεται ως εξής

$$P_{strike}^0 = LCOE + P_{premium} + P_{margin} + balancing\ fee \quad (3.1.3.6)$$

Όπου P_{margin} το περιθώριο κέρδους που θέτει ο παραγωγός ίσο με 2% LCOE

- 7) Η συμφωνημένη τιμή για κάθε ώρα ενός έτους t του PPA δίνεται από τη σχέση:

$$P_{strike}^t = P_{strike}^{t-1} (1 + CPI_t - CPI_{t-1}) , t \geq 1 \quad (3.1.3.7)$$

Όπου η διαφορά $CPI_t - CPI_{t-1}$ αναπαριστά τη μεταβολή του δείκτη τιμών καταναλωτή στις οποίες προσαρμόζεται η συμφωνημένη τιμή.

- 8) Τα έσοδα του παραγωγού από τη σύναψη του PPA (Producer's PPA revenue) με τον καταναλωτή θα είναι:

$$R_{PPA} = P_{strike}^t Q_{profile} \quad (3.1.3.8)$$

- 9) Τα έσοδα του παραγωγού από τις πωλήσεις του στη χονδρική αγορά θα είναι:

$$R_{market} = P_{DAM} Q_{bought} \quad (3.1.3.9)$$

- 10) Οι δαπάνες του παραγωγού από τις αγορές του στη χονδρική αγορά θα είναι:

$$C_{market} = P_{DAM} Q_{bought} \quad (3.1.3.10)$$

- 11) Το κόστος εκπροσώπησης του παραγωγού από τον ΦΟΣΕ θα είναι:

$$C_{bi} = fee_{balancing} Q_{prod} \quad (3.1.3.11)$$

- 12) Το κέρδος του παραγωγού από το PPA και τη spot αγορά θα είναι:

$$P_{total} = R_{PPA} + R_{market} - C_{market} - C_{bi} \quad (3.1.3.12)$$

- 13) Το κέρδος του παραγωγού αν διέθετε όλη την ενέργεια στην spot αγορά (Business-as-Usual case), θα είναι:

$$P_{BAU} = P_{DAM} Q_{prod} - C_{bi} = R_{BAU} - C_{bi} \quad (3.1.3.13)$$

Όπου R_{BAU} τα αντίστοιχα έσοδα από τη spot αγορά.

- 14) Το κόστος του καταναλωτή για την αγορά της ενέργειας μέσω του PPA, θα είναι:

$$C_{PPA} = P_{strike}^t Q_{profile} \quad (3.1.3.14)$$

- 15) Το κόστος του καταναλωτή για την κάλυψη του υπολειπόμενου φορτίου του, θα είναι:

$$C_{residual} = P_{DAM} Q_{residual} \quad (3.1.3.15)$$

- 16) Το κόστος εκπροσώπησης του καταναλωτή από το προμηθευτή θα είναι:

$$C_{sleeving} = fee_{sleeving} Q_{load} \quad (3.1.3.16)$$

- 17) Το συνολικό κόστος του καταναλωτή στη περίπτωση του PPA, θα είναι:

$$C_{tot} = C_{PPA} + C_{residual} + C_{sleeving} \quad (3.1.3.17)$$

18) Το συνολικό κόστος του παραγωγού αν αγόραζε όλη την ενέργεια του από τη spot αγορά (Business-as-Usual case) θα είναι:

$$C_{BAU,tot} = P_{DAM} Q_{load} + C_{sleeving} \quad (3.1.3.18)$$

19) Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνει ο καταναλωτής μέσα από το PPA, θα είναι:

$$S_{cons} = C_{BAU,tot} - C_{tot} \quad (3.1.3.19)$$

Μετά την αναγωγή των μεγεθών σε ετήσια βάση, υπολογίζονται επιπροσθέτως και οι ακόλουθες τιμές:

20) Η τιμή αιχμαλώτισης (Capture Price) είναι η πραγματική τιμή στην οποία ο παραγωγός θα διέθετε το σύνολο της παραγωγής του στη spot αγορά και υπολογίζεται σε ετήσια βάση ως ακολούθως:

$$P_{capture} = \frac{R_{BAU}}{Q_{prod}} \quad (3.1.3.20)$$

21) Η τιμή με την οποία ο παραγωγός διαθέτει την πλεονάζουσα ενέργεια του σταθμού του στη spot αγορά, δίνεται από τη σχέση:

$$P_{res,sells} = \frac{R_{market}}{Q_{sold}} \quad (3.1.3.21)$$

22) Η τιμή με την οποία ο παραγωγός αγοράζει την ενέργεια που απαιτείται για την κάλυψη του ελλείματος της παραγωγής του, δίνεται από τη σχέση:

$$P_{res,purchases} = \frac{C_{market}}{Q_{bought}} \quad (3.1.3.22)$$

23) Η τιμή με την οποία ο παραγωγός διαθέτει την καθαρή του θέση (Πωλήσεις-Αγορές) στη spot αγορά, δίνεται από τη σχέση:

$$P_{res,netting} = \frac{R_{market} - C_{market}}{Q_{sold} - Q_{bought}} \quad (3.1.3.23)$$

B) Υβριδική εγκατάσταση (σταθμός ΑΠΕ και μονάδας BESS)

Ως είσοδοι ορίζονται και πάλι οι χρονοσειρές αδιάστατης παραγωγής ($Q_{prod,pu}$), ζήτησης (Q_{load}) και τιμής της αγοράς (P_{DAM}) για τα 8 έτη του PPA. Η μονάδα BESS αξιοποιείται αποκλειστικά για την χρονική μετατόπιση της παραγωγής από τις ώρες υψηλής παραγωγής στις ώρες χαμηλής παραγωγής. Πλέον, ο παραγωγός είναι σε θέση να διαχειρίζεται αποτελεσματικότερα την παραγόμενη ισχύ του σταθμού ΑΠΕ, περιορίζοντας τις συναλλαγές του στη spot αγορά. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακόλουθη μεθοδολογία, προσαρμοσμένη στους περιορισμούς που θέτει κάθε φορά το σύστημα BESS:

1) **Καταστάσεις ελλειμματικής παραγωγής ($Q_{prod} < Q_{profile}$):** Για τις ώρες όπου η παραγόμενη ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη των υποχρεώσεων παράδοσης, αυτομάτως αποκτά προτεραιότητα η μονάδα BESS για την κάλυψη του ελλείματος. Η μπαταρία εγχέει ενέργεια έως ότου η παραγωγή της συνολικής εγκατάστασης εξισωθεί με το συμφωνημένο παραδοτέο προφίλ, λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω περιορισμούς της:

- Επίπεδο Φόρτισης (SoC): Το ποσοστιαίο επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας δεν επιτρέπεται να υποχωρεί χαμηλότερα από το 10% της ετήσιας χωρητικότητας της ($SoC_{min}=10\%$).
- Συνολική ημερήσια ποσότητα έγχυσης: Η εγγεόμενη ποσότητα ενέργειας ανά ημέρα δεν πρέπει να υπερβαίνει αθροιστικά την ισοδύναμη ημερήσια ποσότητα ενέργειας, δηλαδή εκείνη που αντιστοιχεί σε 2 πλήρεις κύκλους φόρτισης-αποφόρτισης ανά ημέρα.
- Ρυθμός Αποφόρτισης: Ο μέγιστος ρυθμός αποφόρτισης της μπαταρίας δεν είναι εφικτό να υπερβαίνει την 1 MWh/h, δηλαδή την ονομαστική της ισχύ, ανεξαρτήτως της χωρητικότητας και του επιπέδου φόρτισης της.

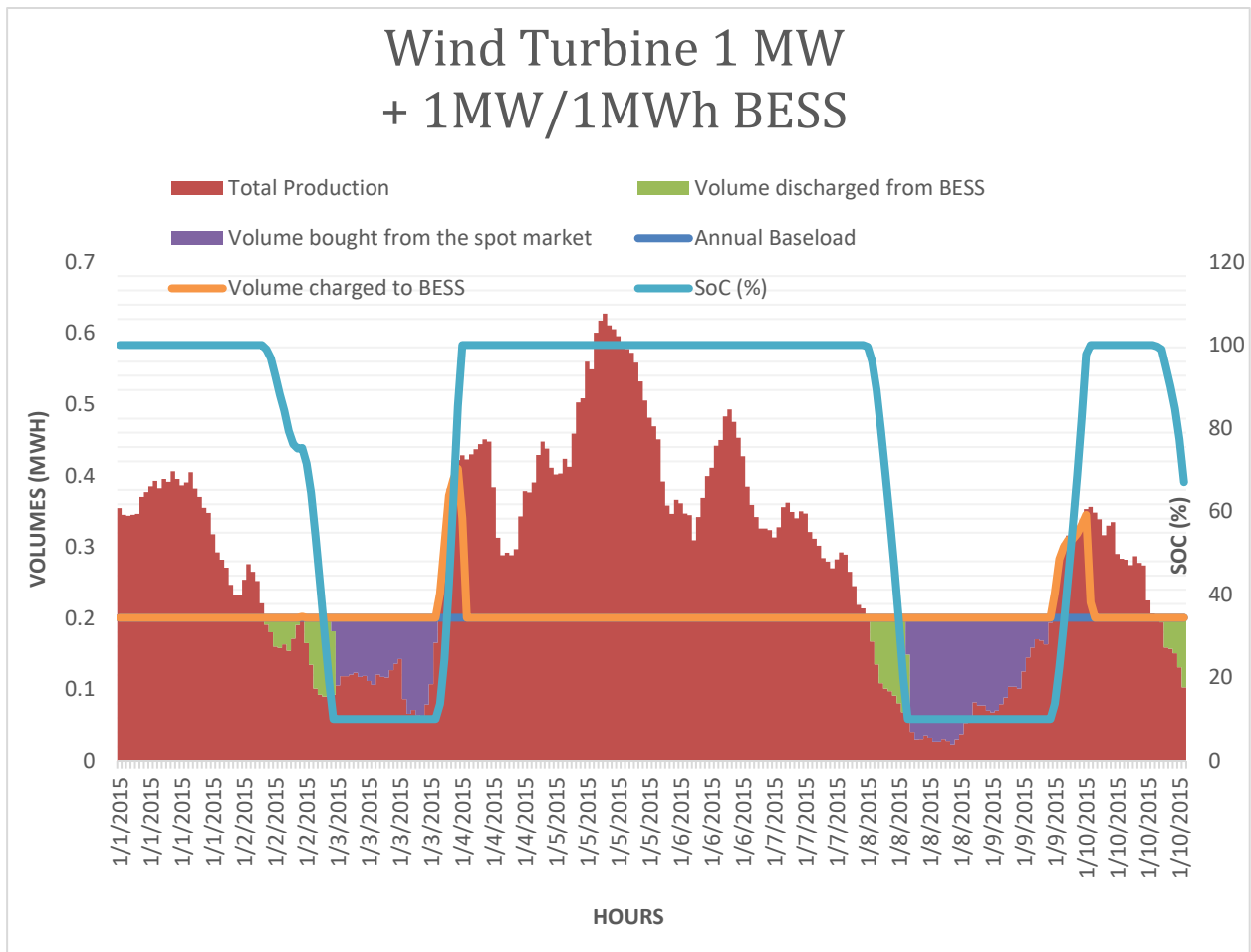
Εάν μετά τη συνεισφορά του συστήματος BESS εξακολουθεί να υπάρχει έλλειμμα ενέργειας, ο παραγωγός οφείλει να καταφεύγει στη χονδρική αγορά για την προμήθεια της απαιτούμενης ενέργειας.

2) **Καταστάσεις πλεονασματικής παραγωγής ($Q_{prod} > Q_{profile}$):** Για τις ώρες όπου η παραγόμενη ενέργεια υπερκαλύπτει τις υποχρεώσεις παράδοσης, αυτομάτως αποκτά ξανά προτεραιότητα η μονάδα BESS για τη διαχείριση του πλεονάσματος. Η μπαταρία απορροφά ενέργεια έως ότου η παραγωγή της συνολικής εγκατάστασης εξισωθεί με το συμφωνημένο παραδοτέο προφίλ, λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω περιορισμούς:

- Επίπεδο Φόρτισης (SoC): Η απορρόφηση ενέργειας λαμβάνει χώρα μέχρις ότου η μπαταρία φορτιστεί πλήρως, δηλαδή μέχρι το 100% της ετήσιας χωρητικότητας ($SoC_{max}=100\%$).
- Συνολική ημερήσια ποσότητα απορρόφησης: Η μέγιστη ποσότητα φόρτισης σε ημερήσια βάση, δεν πρέπει να υπερβαίνει αθροιστικά την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την πλήρωση της μπαταρίας, δυο φορές, από το ελάχιστο στο μέγιστο επίπεδο φόρτισης.
- Ρυθμός φόρτισης: Ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης της μπαταρίας δεν είναι εφικτό να υπερβαίνει την 1 MWh/h, δηλαδή την ονομαστική της ισχύ, ανεξαρτήτως της χωρητικότητας και του επιπέδου φόρτισης της.

Εάν μετά τη συνεισφορά του συστήματος BESS εξακολουθεί να υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας, ο παραγωγός οφείλει να καταφεύγει στη χονδρική αγορά για την διοχέτευση της απαιτούμενης ενέργειας.

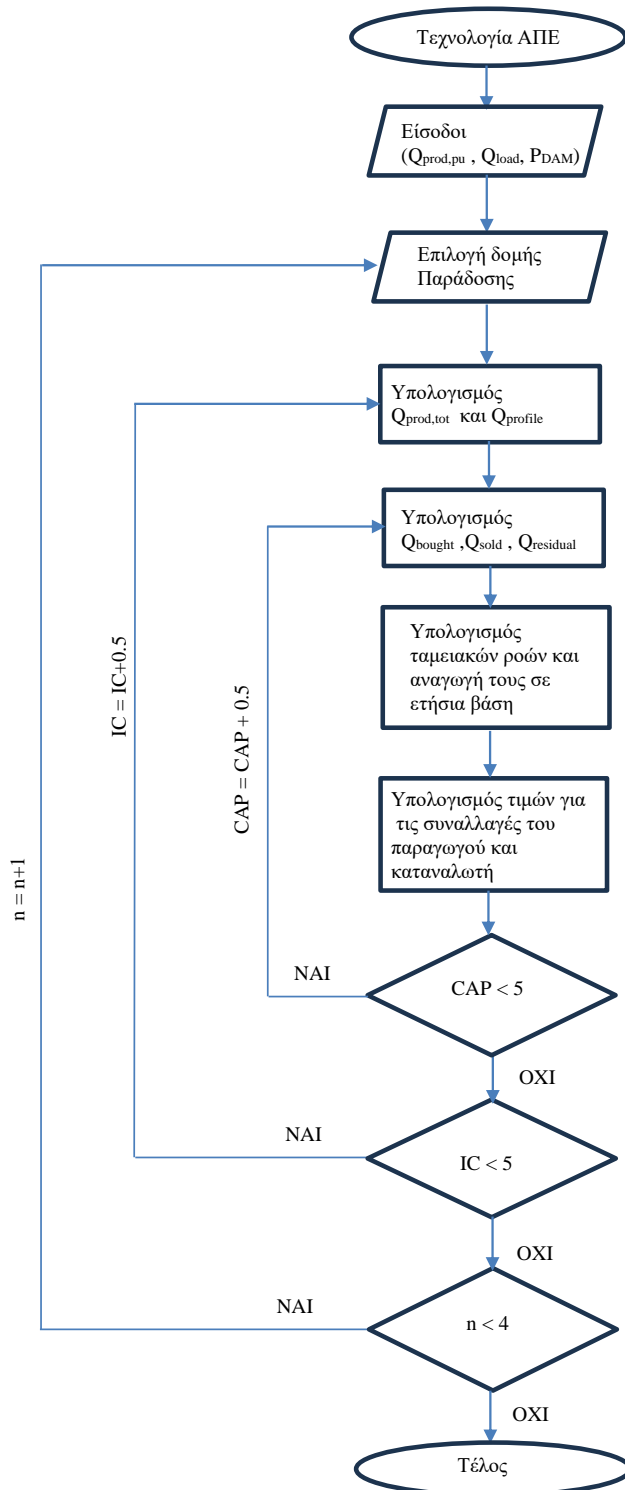
Ενδεικτικά, η λειτουργία της μεθοδολογίας για τη περίπτωση ενός υβριδικού συστήματος που απαρτίζεται από μια ανεμογεννήτρια ισχύος 1 MW και μιας μονάδας BESS με λόγο ονομαστικής ισχύος προς ονομαστική χωρητικότητα 1:1 (1 MW/1 MWh) απεικονίζεται στο παρακάτω γράφημα. Το εξυπηρετούμενο προφίλ παράδοσης είναι το ετήσιο φορτίο βάσης και η κλίμακα σχεδιασμού είναι ωριαία, για διάστημα 10 ημερών (01/01/2015-10/01/2015). Επισημαίνεται ότι κατά την έναρξη του PPA, η μονάδα BESS θεωρήθηκε ότι βρισκόταν σε κατάσταση πλήρους φόρτισης (SoC=100%).



Εικόνα 37: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας μιας Α/Γ ισχύος 1 MW και μιας μονάδας BESS 1 MW/1 MWh σε δομή ετήσιου φορτίου βάσης

Συγκριτικά με την περίπτωση της απλής εγκατάστασης, τα πρόσθετα μεγέθη που υπολογίζονται από την παραπάνω μεθοδολογία είναι τα μεγέθη του BESS, δηλαδή το επίπεδο φόρτισης (SoC(%)) & SoC(MWh), οι ποσότητες φόρτισης (Q_{ch}) και αποφόρτισης (Q_{dis}) και οι αντίστοιχες απώλειες (Q_{loss}). Απόρροια της μεθοδολογίας αυτής είναι και η μεταβολή στους όγκους που συναλλάσσεται ο παραγωγός στη χονδρική αγορά (Q_{bought} και Q_{sold}) και των αντίστοιχων οικονομικών μεγεθών που εξαρτώνται από αυτές. Επιθυμώντας να διερευνηθεί η επίδραση του μεγέθους της μονάδας BESS στις προαναφερθείσες ποσότητες και τελικώς στα οικονομικά αποτελέσματα (ανάλυση ευαισθησίας), χρησιμοποιήθηκαν ενεργειακές χωρητικότητες από 1 έως 5 MWh με βήμα 0.5 MWh. Επομένως, για κάθε τεχνολογία ΑΠΕ και δομή παράδοσης ($n=1$ έως 4), εντός του βρόχου που μεταβάλλει την εγκατεστημένη ισχύ της μονάδας ΑΠΕ ($IC = 1$ έως 5 με βήμα 0.5 MW),

ενσωματώθηκε νέος βρόχος για την προσπέλαση των χωρητικότητας (CAP = 1 έως 5 με βήμα 0.5 MWh), όπως αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής:



Εικόνα 38: Διάγραμμα ροής αλγοριθμικής διαδικασίας υπολογισμούς υβριδικής εγκατάστασης

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται όλες οι πρόσθετες εξισώσεις που εφαρμόζονται για την υβριδική εγκατάσταση αλλά και εκείνες που διαφοροποιούνται συγκριτικά με την περίπτωση της απλής εγκατάστασης:

- 1) Η μέγιστη ημερήσια ποσότητα ενέργειας που δύναται να απορροφήσει το σύστημα BESS δίνεται από:

$$C_{max,daily} = Cycles (SoC_{max}(\%) - SoC_{min}(\%)) RC SoH(\%) \quad (3.1.3.24)$$

Όπου Cycles ο ημερήσιος επιτρεπόμενος αριθμός κύκλων φόρτισης-αποφόρτισης, SoC_{max} και SoC_{min} το μέγιστο και ελάχιστο επιτρεπόμενο επίπεδο φόρτισης (%) της μονάδας, RC η ονομαστική χωρητικότητα της και SoH (%) το τρέχον ποσοστιαίο επίπεδο υγείας της. Σημειώνεται επίσης, ότι για επίτευξη αυτού του ορίου, η διαθέσιμη ποσότητα προς απορρόφηση θα πρέπει να είναι προσαυξημένη κατά τις απώλειες που λαμβάνουν χώρα στη διαδικασία της φόρτισης.

- 2) Η μέγιστη ημερήσια ποσότητα ενέργειας που δύναται να εγχέει το σύστημα BESS δίνεται από:

$$D_{max,daily} = C_{max,daily} \eta_{dis} \quad (3.1.3.25)$$

Όπου η_{dis} ο βαθμός απόδοσης της μπαταρίας κατά την αποφόρτιση.

- 3) Η ποσότητα απορρόφησης του συστήματος BESS σε περίπτωση πλεονασματικής παραγωγής, θα είναι:

$$Q_{ch} = \min \left\{ \begin{array}{l} (Q_{prod} - Q_{profile})\eta_{ch} \\ CR_{max} \\ [SoC_{max}(\%) - SoC(\%)]RC SoH(\%) \\ C_{max,daily} - C_{daily} \end{array} \right. \quad (3.1.3.26)$$

Όπου η διαφορά $Q_{prod} - Q_{profile}$ η διαθέσιμη ενέργεια του πλεονάσματος, η_{ch} ο βαθμός απόδοσης της φόρτισης, CR_{max} ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης, SoC (%) το τρέχον επίπεδο φόρτισης και C_{daily} η συνολική ποσότητα ενέργειας που έχει ήδη απορροφήσει η μονάδα BESS την τρέχουσα ημέρα.

- 4) Η ποσότητα έγχυσης του συστήματος BESS σε περίπτωση ελλειμματικής παραγωγής, θα είναι:

$$Q_{dis} = \min \left\{ \begin{array}{l} Q_{profile} - Q_{prod} \\ DR_{max}\eta_{dis} \\ [SoC(\%) - SoC_{min}(\%)]RC SoH(\%)\eta_{dis} \\ D_{max,daily} - D_{daily} \end{array} \right. \quad (3.1.3.27)$$

Όπου η διαφορά $Q_{profile} - Q_{prod}$ είναι το πραγματικό έλλειμα παραγωγής, DR_{max} ο μέγιστος ρυθμός αποφόρτισης και D_{daily} η συνολική ενέργεια που έχει ήδη εγχύσει η μονάδα BESS την τρέχουσα ημέρα.

- 5) Οι ποσότητες που προμηθεύεται ο παραγωγός από την χονδρική αγορά, σε περίπτωση ελλείμματος, θα είναι:

$$Q_{bought} = Q_{profile} - Q_{prod} - Q_{dis} \quad (3.1.3.28)$$

- 6) Οι ποσότητες που διοχετεύει ο παραγωγός στη χονδρική αγορά, σε περίπτωση πλεονάσματος, θα είναι:

$$Q_{sold} = Q_{prod} - Q_{prof} - Q_{ch} \quad (3.1.3.29)$$

- 7) Οι απώλειες του συστήματος BESS κατά τη διαδικασία της φόρτισης, θα είναι:

$$Q_{loss,ch} = Q_{ch} \left(\frac{1}{\eta_{ch}} - 1 \right) \quad (3.1.3.30)$$

- 8) Οι απώλειες του συστήματος BESS κατά τη διαδικασία αποφόρτισης, θα είναι:

$$Q_{loss,dis} = Q_{dis} \left(\frac{1}{\eta_{dis}} - 1 \right) \quad (3.1.3.31)$$

- 9) Το σταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας της συνολικής εγκατάστασης, υπολογίστηκε από:

$$LCOE_{total} = \frac{CAPEX_{total} + \sum_{t=1}^{25} \frac{OPEX_{total,t}}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^{25} \frac{E_t}{(1+i)^t}} \quad (3.1.3.32)$$

Όπου $CAPEX_{total}$ το συνολικό κόστος επένδυσης της υβριδικής εγκατάστασης και $OPEX_{total}$ το συνολικό κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης ως ποσοστό του $CAPEX_{total}$

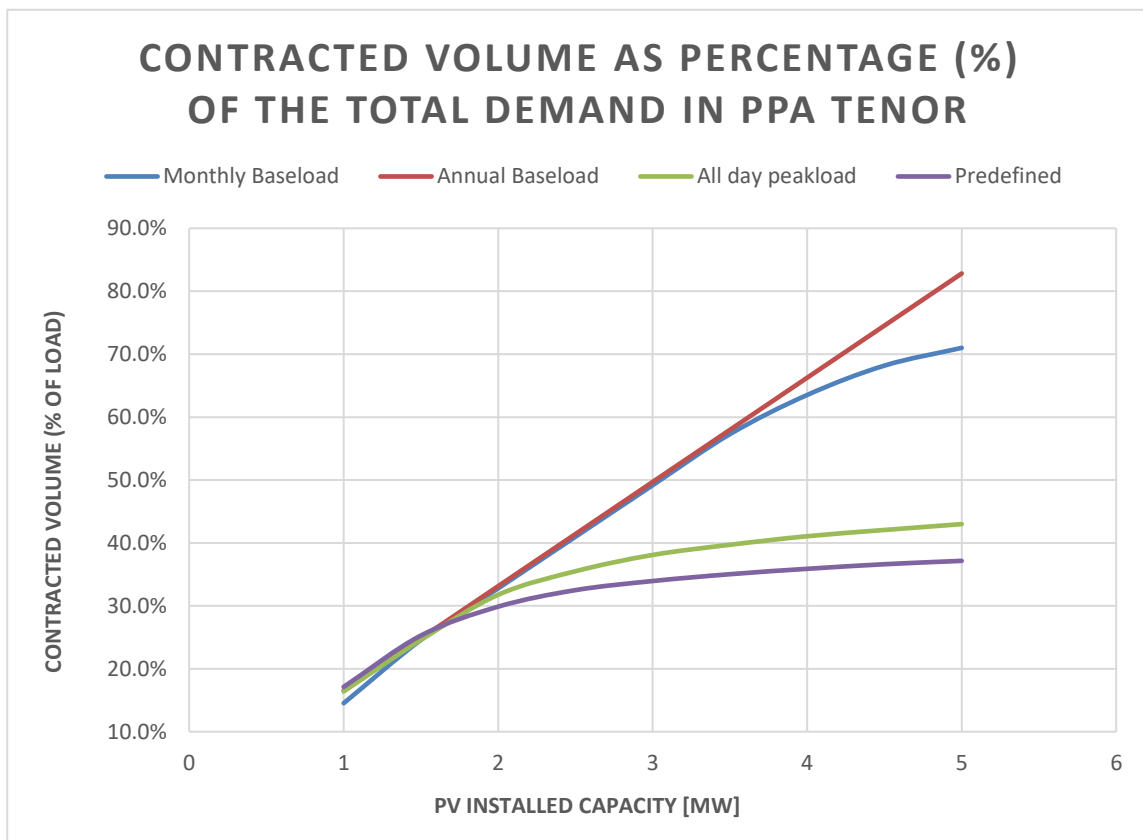
Η εξίσωση (3.1.3.3) καθώς και οι υπόλοιπες εξισώσεις (3.1.3.5 έως 3.1.3.23) εφαρμόζονται κατά τον ίδιο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη τον υπολογισμό του νέου LCOE της συνολικής εγκατάστασης και τις νέες ποσότητες συναλλαγών του παραγωγού στην αγορά.

3.2 Αποτελέσματα

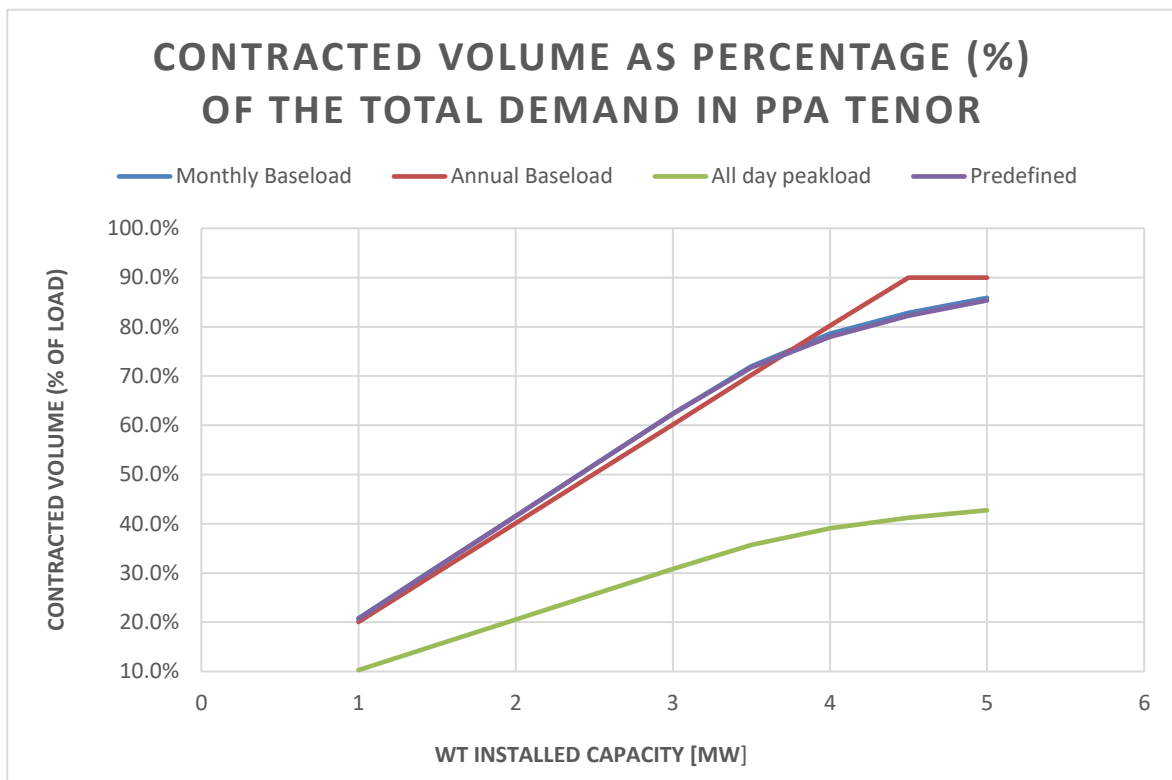
Με βάση όλες τις μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν, όλα τα αποτελέσματα (ποσοτικά και οικονομικά) προέκυψαν σε ωριαία ανάλυση και στη συνέχεια μετατράπηκαν σε ετήσια σύνοψη με αθροιστικό τρόπο, με εξαίρεση το επίπεδο φόρτισης (SoC) που είναι ενδεικτικό της λειτουργίας του συστήματος BESS. Με αυτό το τρόπο, τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν παρέχουν μια καθαρή και συνοπτική εικόνα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, γεγονός που καθιστά ευκολότερη τη παρακολούθηση και ανάλυση των ετήσιων τάσεων καθώς και τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων. Επίσης, παρουσιάζονται αρκετά διαγράμματα σε ορίζοντα 8-ετίας, προκειμένου με το πέρα της συμφωνίας, να γίνει ανασκόπηση και αξιολόγηση των τελικών αποτελεσμάτων και η αναγνώριση των καθοριστικών παραγόντων που συνέβαλλαν σε αυτά.

3.2.1 Ποσοτικά Αποτελέσματα

Η πρώτη σειρά αποτελεσμάτων αφορά τη σύγκριση μεταξύ των 4 εξεταζόμενων δομών παράδοσης και τη δυνατότητα προσφέρουν στη κάλυψη μέρους της ζήτησης του καταναλωτή, για διαφορετικά μεγέθη ανά τεχνολογία, σε όλη τον χρονικό ορίζοντα του PPA.



Εικόνα 39: Σχηματική απεικόνιση του ποσοστού κάλυψης της ζήτησης του καταναλωτή συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος του ΦΒ για όλες τις δομές παράδοσης



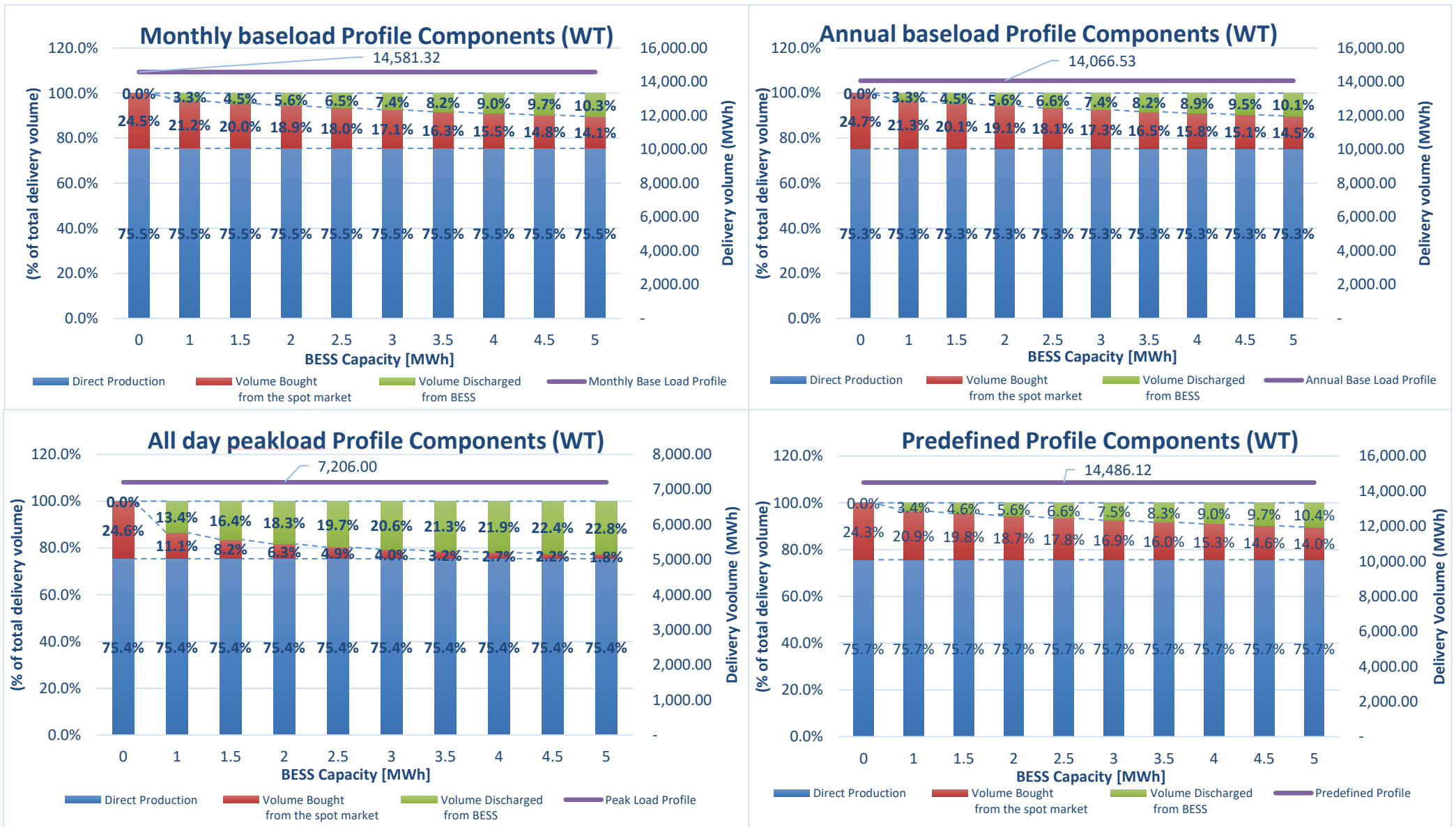
Εικόνα 40: Σχηματική απεικόνιση του ποσοστού κάλυψης της ζήτησης του καταναλωτή συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος του Α/Γ για όλες τις δομές παράδοσης

Όπως γίνεται φανερό, η δομή ημερήσιου προφίλ αιχμής (all day Peakload) δεν είναι ευνοϊκή για την Α/Γ, η οποία, σε αντίθεση με τα ΦΒ, δύναται να παράγει εξίσου και τις βραδινές ώρες. Σε γενικές γραμμές, η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος, που προκαλεί αναλογική αύξηση της παραγωγής του έργου και συμπαρασύρει αντίστοιχα και τους ενεργειακούς όγκους που έχουν συμβολαιοποιηθεί (Contracted Volumes). Στις περισσότερες δομές, υπάρχει ένα σημείο εγκατεστημένης ισχύος, πέρα από το οποίο η αύξηση συνεχίζει να πραγματοποιείται με φθίνοντα ρυθμό. Αυτό οφείλεται στην περιοριστική επίδραση που έχει το άνω όριο (CAP = 0.9 MW) στα έργα μεγάλου μεγέθους, υποχρεώνοντας τον παραγωγό να διοχετεύει ολοένα και μεγαλύτερο τμήμα της παραγωγής του στη spot αγορά. Αναλόγως τα κίνητρα κάθε μεριάς, η επιλογή τεχνολογίας, μεγέθους και δομής δεν είναι μονοσήμαντη. Για παράδειγμα:

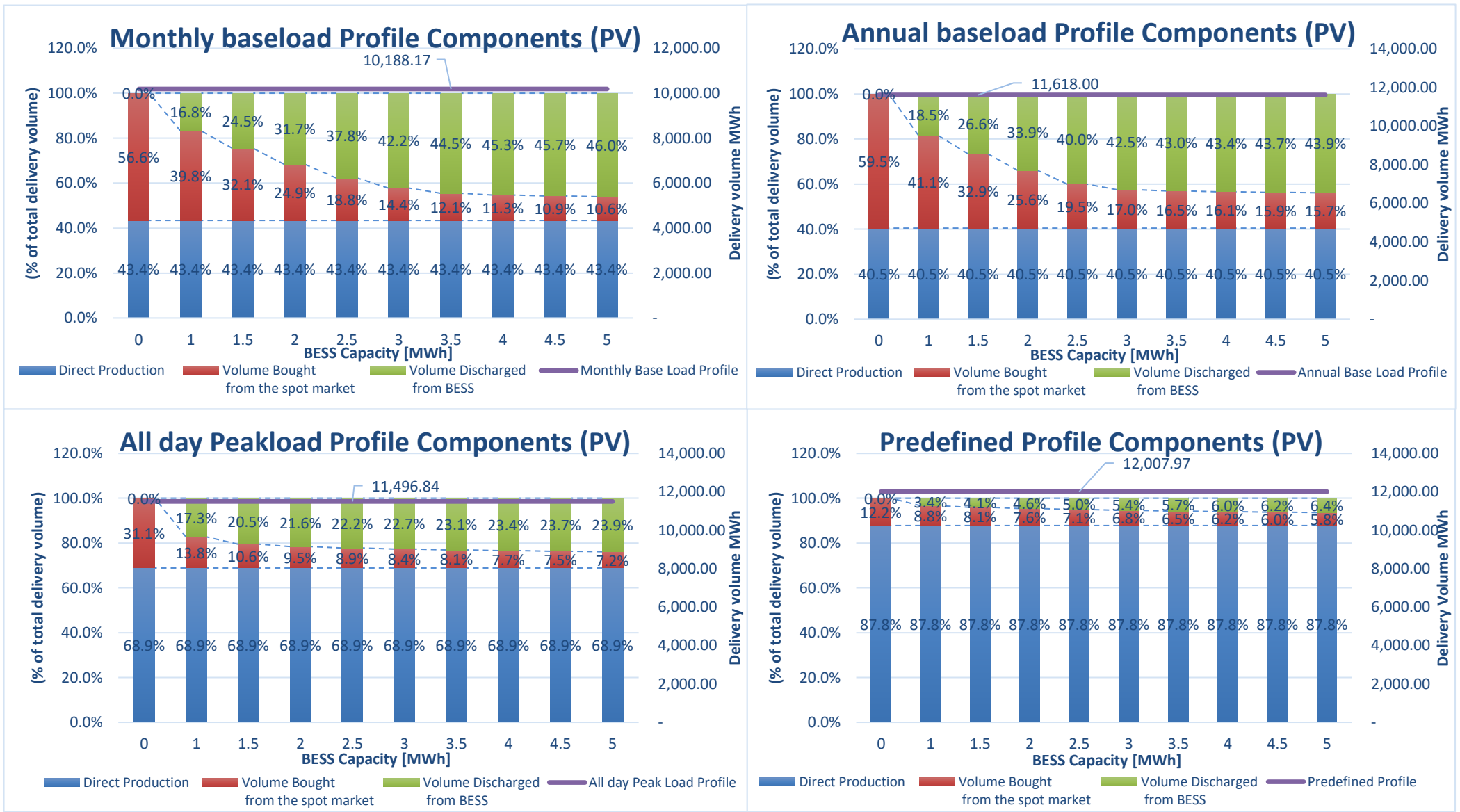
A) Εάν ο παραγωγός επιθυμεί να αποφύγει τον οικονομικό κίνδυνο, δηλαδή επιδιώκει τον περιορισμό των συναλλαγών του με την χονδρική αγορά, οφείλει να αποφεύγει τη συμβολαιοποίηση της ενέργειας των ΦΒ με τις δομές ελάχιστου φορτίου καθώς και τα μεγάλης κλίμακας, συγκριτικά με τη ζήτηση, έργα.

B) Εάν ο καταναλωτής επιθυμεί την επίτευξη υψηλού ποσοστού κάλυψης από ανανεώσιμη ενέργεια και την αντίστοιχη αποκόμιση των εγγυήσεων προέλευσης, επικρατέστερη λύση εμφανίζεται η Α/Γ με μια δομή ελάχιστου φορτίου. Όμως, σε μικρότερα μεγέθη, ο καταναλωτής θα μπορούσε να επωφεληθεί από ένα συνδυασμό ποσοστού κάλυψης και κόστους στο ΦΒ, λόγω του χαμηλότερου σταθμισμένου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας που ενσωματώνεται στη τιμή.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η ποσοτική ανάλυση κάθε δομής παράδοσης ξεχωριστά για όλο το χρονικό ορίζοντα του PPA τόσο για την απλή όσο και την υβριδική εγκατάσταση. Στις εικόνες που ακολουθούν διακρίνεται η συνολική ποσότητα που έχει συμβολαιοποιηθεί για Α/Γ και ΦΒ εγκατεστημένης ισχύος 1 MW καθώς και οι αντίστοιχες ποσοστιαίες συνιστώσες που αξιοποίησε κατά περίπτωση ο παραγωγός ώστε τηρήσει τις προβλεπόμενες δεσμεύσεις του.



Εικόνα 41: Ποσοστιαία ανάλυση των συνιστωσών που απαρτίζουν κάθε δομής παράδοσης για τη περίπτωση της Α/Γ



Εικόνα 42: Ποσοστιαία ανάλυση των συνιστωσών που απαρτίζουν κάθε δομής παράδοσης για τη περίπτωση του ΦΒ

Για την Α/Γ, περίπου το 75% της συμβολαιοποιημένης ενέργειας σε κάθε δομή προέρχεται απευθείας από τη παραγωγή (Direct Production) και δεν μεταβάλλεται καθώς η προσθήκη μονάδας αποθήκευσης επηρεάζει μόνο τους όγκους συναλλαγών του παραγωγού με την αγορά. Μέσα από τα διαγράμματα φανερώνεται η αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ της χωρητικότητας του συστήματος BESS (BESS Capacity) και της ποσότητας που προμηθεύεται ο παραγωγός από την spot αγορά (Volume bought from the spot market). Κάθε προσθήκη χωρητικότητας μειώνει, με φθίνοντα ρυθμό, το ποσοστό των συναλλαγών αγοράς ενώ ακόμη και με τη εγκατάσταση συστήματος BESS με ονομαστική χωρητικότητα 5 MWh, δεν επιτυγχάνεται πλήρης αυτονομία. Ευνοϊκότερη δομή στο κομμάτι αυτό εμφανίζεται η δομή του ημερήσιου προφίλ αιχμής που επιτυγχάνει να περιορίσει τις συναλλαγές του παραγωγού σε ένα ποσοστό της τάξεως του 2% σε αντίθεση με τις υπόλοιπες δομές για τις οποίες το ίδιο ποσοστό φτάνει το 10%.

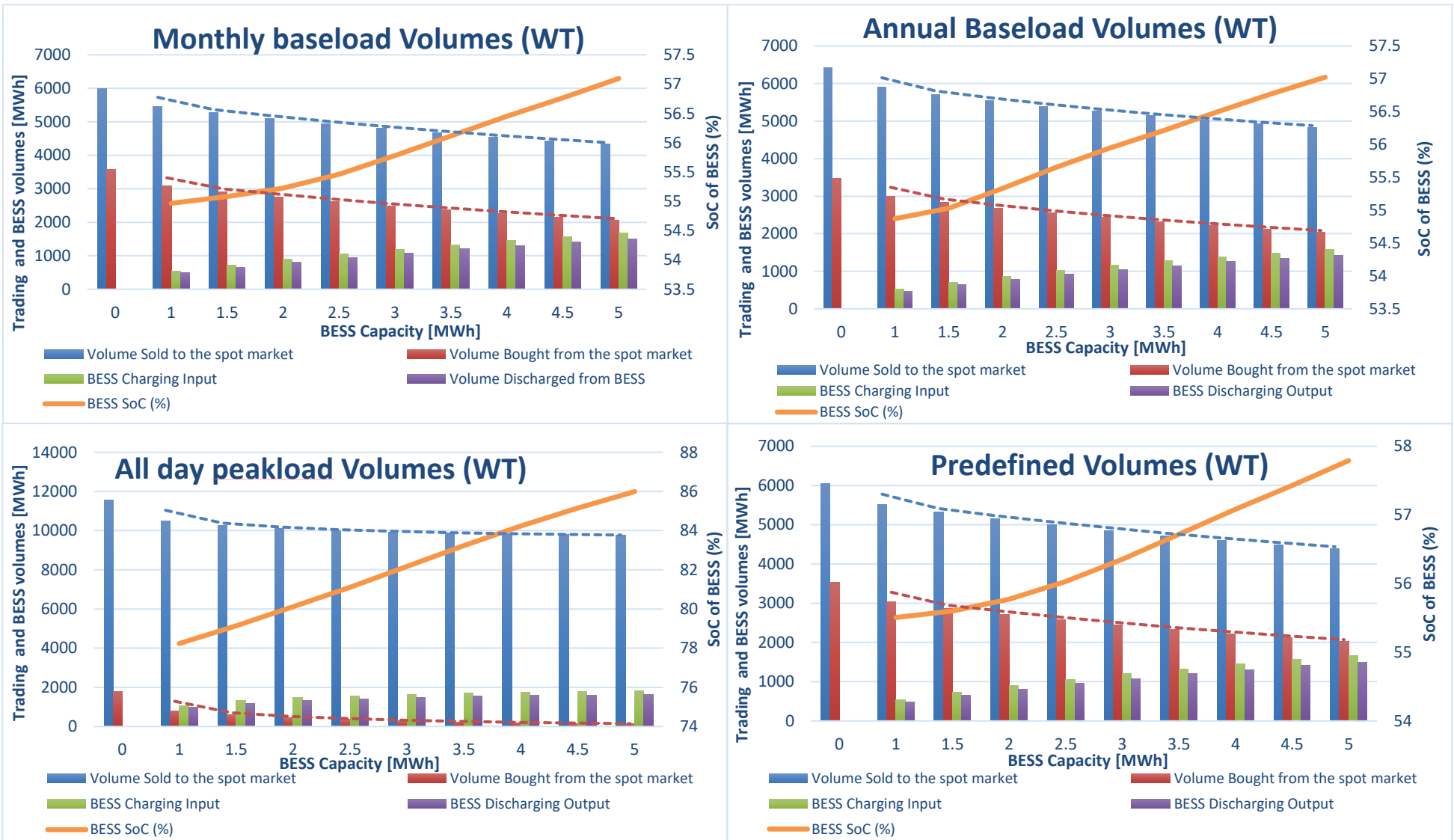
Για το ΦΒ, η αδιαμεσολάβητη (μη εισερχόμενη στο BESS) συνιστώσα της παραγωγής εξαρτάται σημαντικά από την επιλεγμένη δομή παράδοσης. Για παράδειγμα, η καταλληλότητα του προκαθορισμένου προφίλ για το ΦΒ αποδεικνύεται από το υψηλό ποσοστό (87.8 %) της παραγωγής που το εξυπηρετεί, άμεσα. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο εφόσον μια τέτοια δομή λαμβάνει υπόψη τόσο την ωριαία όσο και την μηνιαία εποχικότητα και συνεπώς προσαρμόζεται «στα μέτρα» του εξεταζόμενου έργου. Η συμβολή της μπαταρίας φαίνεται, από ποσοτικής σκοπιάς, καθοριστική στις δομές ελαχίστου φορτίου, αφού η αξιοποίηση της πλεονασματικής παραγωγής δείχνει να ελαττώνει σε μεγάλο βαθμό (μέχρι και 80%) την ανάγκη του παραγωγού για πρόσθετες αγορές. Μάλιστα, παρόλο που οι δομές ελαχίστου φορτίου θεωρούνται απαγορευτικές για τα ΦΒ, η προσθήκη μιας μπαταρίας μακράς διάρκειας δείχνει να περιορίζει σημαντικά τον εμπορικό κίνδυνο του παραγωγού.

Προκειμένου να υπάρξει πληρέστερη εικόνα σχετικά με τους όγκους συναλλαγών του παραγωγού και τη συμβολή του συστήματος BESS, κρίνεται σκόπιμη σύγκριση των ακόλουθων μεταβλητών:

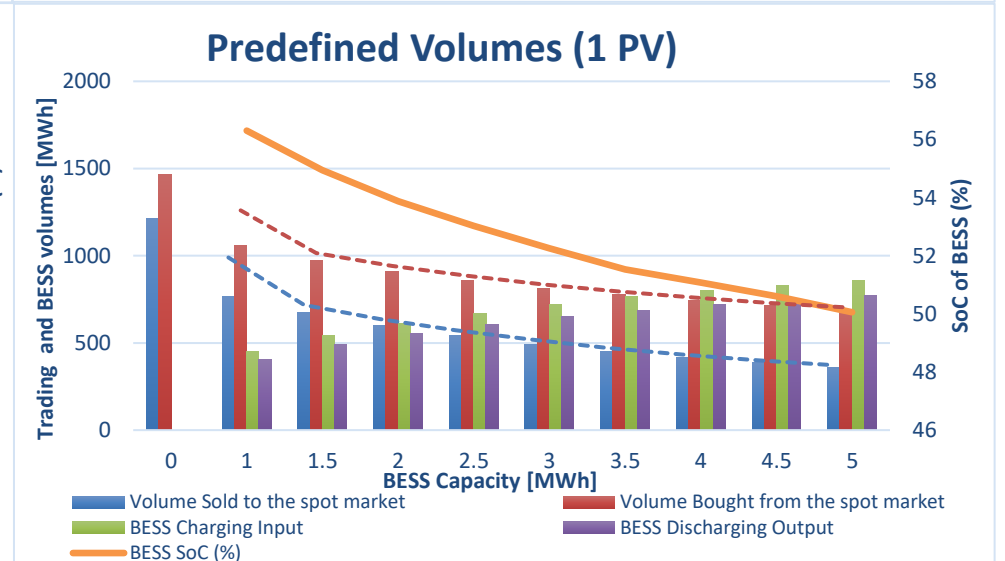
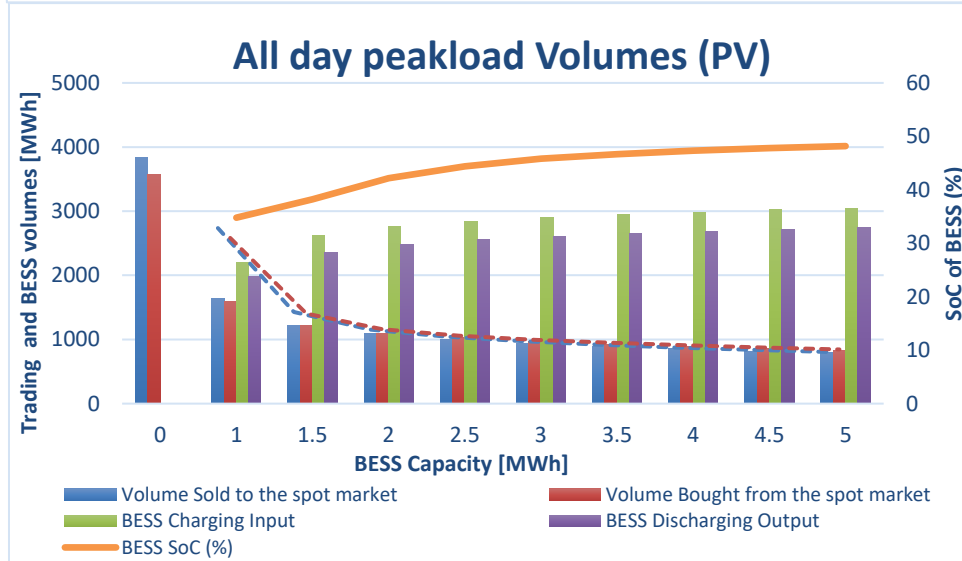
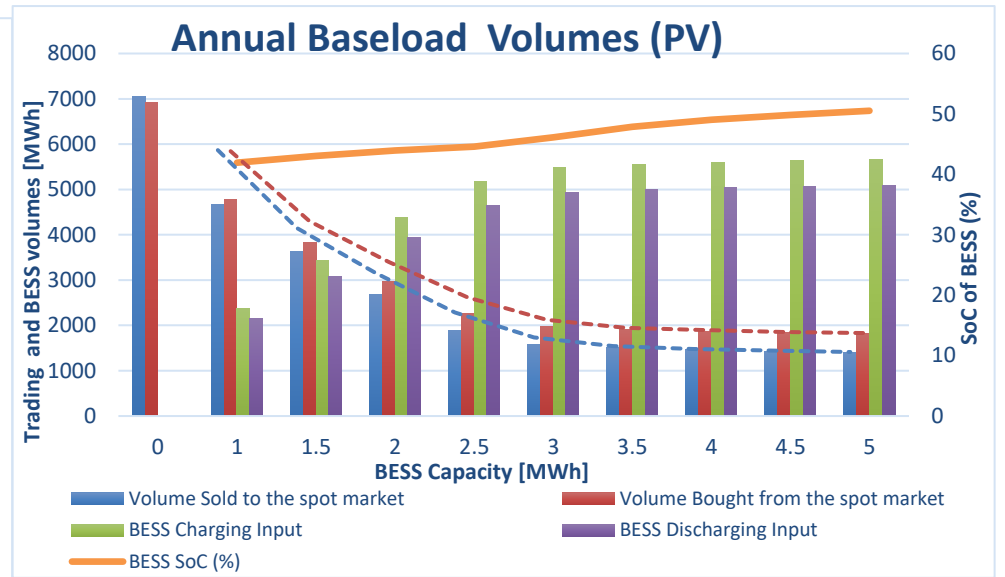
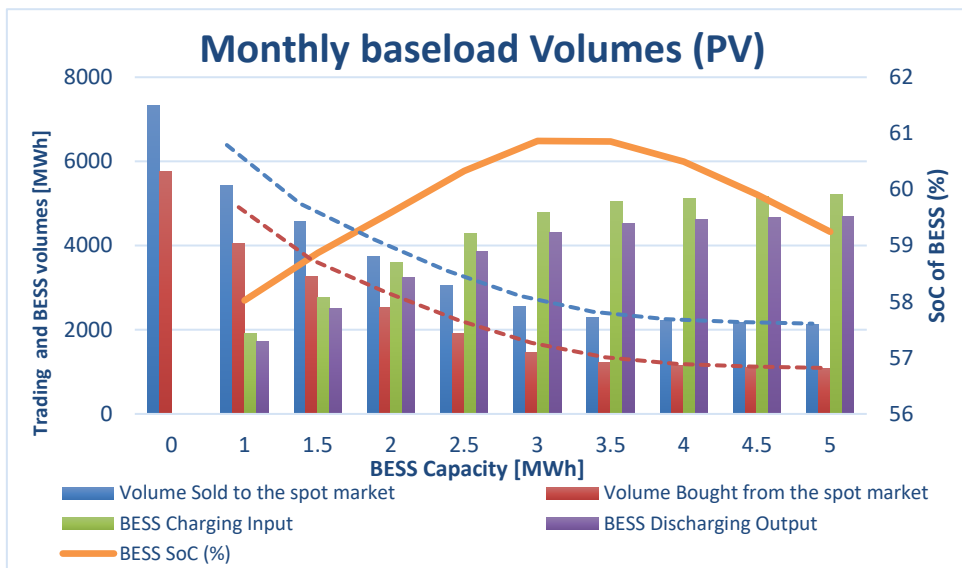
- Η ενέργεια που διοχετεύει ο παραγωγός στη αγορά (Volume Sold to the spot market)
- Η ενέργεια που προμηθεύεται ο παραγωγός από την αγορά (Volume Bought from the spot market)
- Η ενέργεια διαθέσιμη προς απορρόφηση από το σύστημα BESS (BESS Charging Input)
- Η ενέργεια που εγχέει το σύστημα BESS (BESS Discharging Output)
- Το μέσο επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (BESS SoC (%))

Τα ποσοτικά μεγέθη είναι αθροιστικά (σε MWh) για όλη τη διάρκεια του PPA και αφορούν Α/Γ και ΦΒ εγκατεστημένης ισχύος 1 MW. Από τα διαγράμματα γίνεται κατανοητή η βασική επίδραση της μονάδας BESS. Η εφαρμοσμένη μέθοδος λειτουργίας του υβριδικού συστήματος αποσκοπεί στη μέγιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων, γεγονός που αποτυπώνεται στη ταυτόχρονη μείωση των πωλήσεων και των αγορών που πραγματοποιεί ο παραγωγός. Ωστόσο, ο ρυθμός μείωσης των αγορών είναι βραδύτερος από εκείνο των πωλήσεων, γεγονός που αποδίδεται στις απώλειες του συστήματος BESS κατά τις διαδικασίες φόρτισης και αποφόρτισης (RTE=90%). Οι απώλειες αυτές είναι φανερές και στη σύγκριση της εισερχόμενης με την εξερχόμενη από το σύστημα BESS, ενέργεια. Σε απόλυτα μεγέθη, η συνεισφορά της μπαταρίας είναι υψηλότερη στον ΦΒ απ' ό τι στον αιολικό σταθμό (με εξαίρεση τη δομή του προκαθορισμένου προφίλ). Αυτό εξηγείται από τη διαδικασία κατασκευής των υπό μελέτη προφίλ, μέσω της οποίας τέθηκαν για το ΦΒ, όρια παράδοσης αρκετά χαμηλότερα από εκείνα που δύναται να παρέχει τις ώρες με ηλιοφάνεια, ως αντιστάθμισμα για τις βραδινές ώρες. Έτσι, η μπαταρία απέκτησε μια κυκλική λειτουργία, καθώς έγινε αποδέκτης των συχνών πλεονασματικών ποσοτήτων, κυρίως τις μεσημεριανές ώρες, τις οποίες όμως αποδέσμευσε σταδιακά με τη μείωση της παραγωγής. Από

την άλλη μεριά, η ενσωμάτωση της μπαταρίας στην Α/Γ, κατέστησε τη λειτουργία της λιγότερο προβλέψιμη: η ορθή διαστασιολόγηση των ορίων παράδοσης και η έντονη στοχαστικότητα της παραγωγής, οδήγησαν τη μπαταρία να βρίσκεται για παρατεταμένα διαστήματα στο ανώτατο ή κατώτατο επίπεδο φόρτισης της, ή ακόμα και να εκτελεί ρηχές φορτίσεις και αποφορτίσεις με αποτέλεσμα τον χαμηλότερο βαθμό εκμεταλλευσιμότητας της. Τέλος, επισημαίνεται ότι για την Α/Γ, το μέσο επίπεδο φόρτισης σε όλη 8-ετία βαίνει αυξανόμενο με την προσθήκη χωρητικότητας, καθώς αυξάνεται το καθαρό ενεργειακό περιεχόμενο της μπαταρίας, λόγω του μεγαλύτερου περιθωρίου που προσφέρει για αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο σε κάποιες δομές του ΦΒ (Μηνιαίο προφίλ αιχμής, προκαθορισμένο προφίλ), εκεί όπου η προσθήκη χωρητικότητας δεν συνοδεύεται με επαρκή απορρόφηση ηλιακής ενέργειας για την αντίστοιχη αύξηση του ενεργειακού περιεχομένου της μπαταρίας.



Εικόνα 43: Όγκοι συναλλαγών παραγωγού και ποσότητες φόρτισης, εκφόρτισης αλλά και μέσο επίπεδο φόρτισης μετά το πέρας του PPA, για υβριδικό σύστημα A/I-BESS



Εικόνα 44: Όγκοι συναλλαγών παραγωγού και ποσότητες φόρτισης, εκφόρτισης αλλά και μέσο επίπεδο φόρτισης μετά το πέρας του PPA, για υβριδικό σύστημα ΦΒ-BESS

3.2.2 Οικονομικά αποτελέσματα

Στη επόμενη σελίδα παρουσιάζονται μια σειρά από οικονομικά αποτελέσματα, ανά τεχνολογία, για τον παραγωγό και το καταναλωτή τόσο σε επίπεδο έτους, όσο και στον χρονικό ορίζοντα της κοινής τους σύμβασης. Τα αποτελέσματα, όπως και προηγουμένως, αφορούν Α/Γ και ΦΒ σταθμούς εγκατεστημένης ισχύος 1 MW.

Τα πρώτα αποτελέσματα αφορούν την οικονομική έκβαση κάθε τομέα δραστηριοποίησης του παραγωγού (συμβόλαιο και συμμετοχή στην αγορά) συναρτήσει της χωρητικότητας του συστήματος BESS για το σύνολο της 8-ετίας. Αναλυτικότερα:

- Για το σενάριο της απλής εγκατάστασης (BESS capacity = 0), οι δομές ημερήσιου προφίλ αιχμής για την Α/Γ και ετήσιου φορτίου βάσης για το ΦΒ, αποδίδουν συνολικά το μεγαλύτερο κέρδος, καθώς ο παραγωγός δείχνει να επωφελείται περισσότερο από την ενεργή συμμετοχή του στη χονδρική αγορά.
- Η προσθήκη ολοένα και μεγαλύτερης μονάδας αποθήκευσης αποτιμάται θετικά ως προς το συνολικό κέρδος του παραγωγού. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ενσωμάτωση του ολοένα και αυξανόμενου κόστους της μονάδας αποθήκευσης στη τελική συμφωνημένη τιμή (P_{strike}) κάτι που οδηγεί σε αντίστοιχη αύξηση του κέρδους από το PPA (PPA Profit).
- Η μεθοδολογία λειτουργίας του συστήματος BESS, που αποσκοπεί στη ολοένα και υψηλότερη αξιοποίηση των διαθέσιμων ανανεώσιμων πόρων, έχει μεικτή επίδραση στο κέρδος του παραγωγού από τη spot αγορά (Spot market Profit). Στις δομές φορτίου βάσης και για τις 2 τεχνολογίες, η επίδραση αυτή είναι θετική, ενώ σε απόλυτα μεγέθη και για τις 8 περιπτώσεις (4 ανά τεχνολογία) η ουσιαστικότερη συνεισφορά αποτιμάται στη περίπτωση του ημερήσιου προφίλ αιχμής για το ΦΒ (~20.000 €). Η μεγάλη διάρκεια της μονάδας αποθήκευσης διευκόλυνε σημαντικά την μετατόπιση της περίσσειας ενέργειας από τις μεσημεριανές στις απογευματινές ώρες, και σε συνδυασμό με την αποφυγή συναλλαγών κατά τις βραδινές ώρες (σε αντίθεση με τις δομές φορτίου βάσης), προέκυψε το προαναφερθέν αποτέλεσμα.

Η δεύτερη σειρά αποτελεσμάτων έρχεται να συμπληρώσει την πρώτη, καθώς εστιάζει στις επιμέρους ταμειακές ροές (cash flows) που συνθέτουν το συνολικό κέρδος του παραγωγού ανά έτος (Total Profit) για την περίπτωση της απλής εγκατάστασης, όπως επίσης και στο καθαρό όφελος που θα είχε, αν διέθετε όλη την ενέργεια του σταθμού του στη χονδρική αγορά (BAU Profit). Εδώ γίνονται οι εξής παρατηρήσεις:

- Το καθαρό κέρδος του παραγωγού εάν διέθετε όλη την ενέργεια του στη χονδρική αγορά (Business-as-Usual case), θα ήταν σημαντικά υψηλότερο σε σχέση με την επιλογή του να συμβολαιοποιήσει ένα μεγάλο τμήμα της. Για την Α/Γ, αυτή η διαφορά αποδίδεται στην «εκτίναξη» των τιμών της αγοράς, τα δυο τελευταία έτη, ενώ στο ΦΒ, η συμφωνημένη τιμή ήταν εξαρχής, κατά μέσο όρο, χαμηλότερη της τιμής της αγοράς.
- Η ζημία από τη μερική συμμετοχή του παραγωγού στη spot αγορά, για όλες τις δομές του ΦΒ (πλην του μηνιαίου προφίλ βάσης) αποδίδεται επίσης στην «εκτίναξη» των τιμών της αγοράς, τα τελευταία δυο έτη.

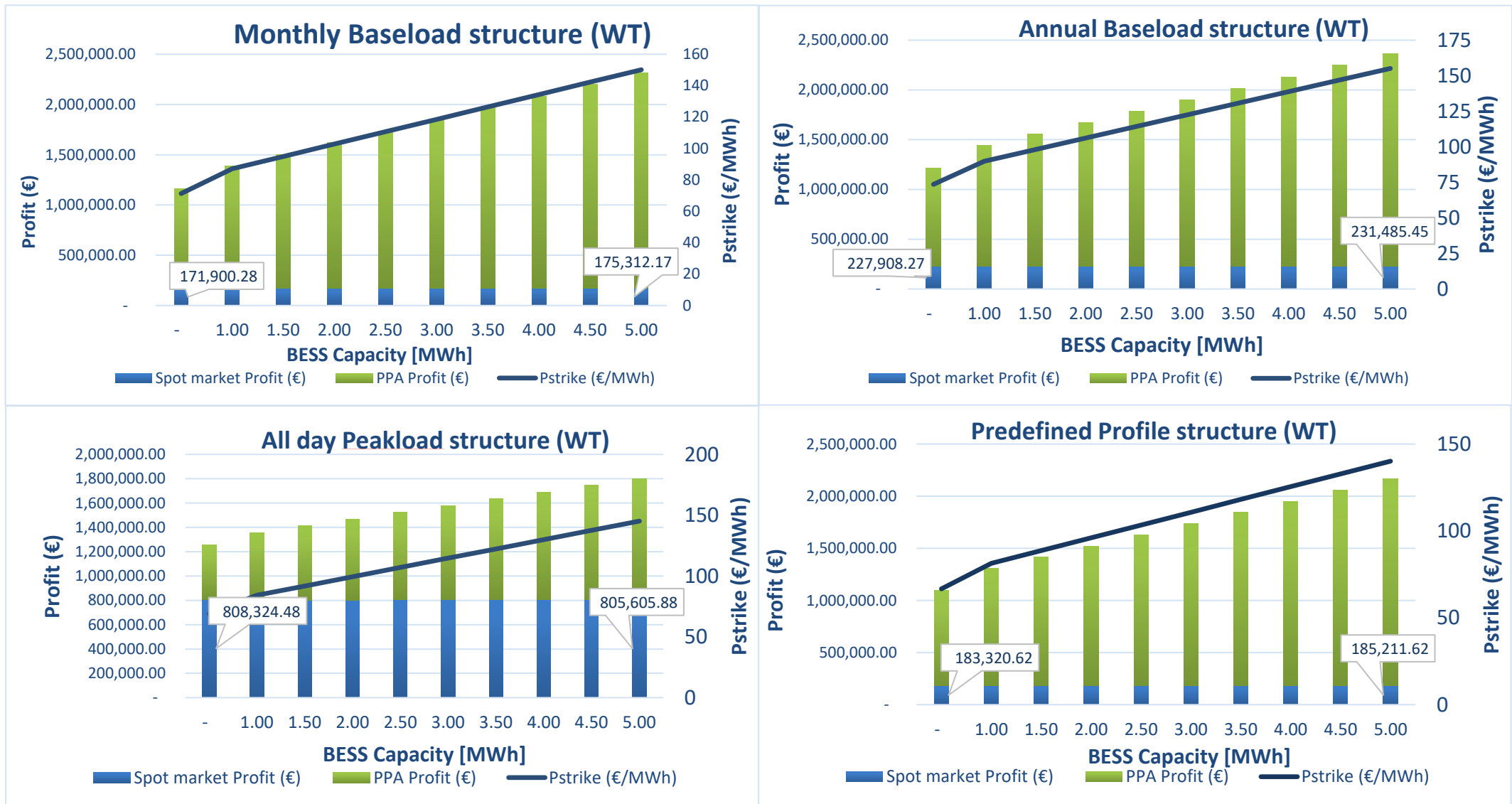
- Οι δαπάνες του παραγωγού για την εκπροσώπηση του (Intermediary's expenses) δεν αποτελούν καθοριστική συνιστώσα στο οικονομικό αποτέλεσμα.

Η τρίτη σειρά αποτελεσμάτων παρέχει μια συγκριτική εικόνα της τιμής της αγοράς (DAM) και με τις τιμές στις οποίες ο παραγωγός διεκπεραίωσε τις συναλλαγές του στα εξεταζόμενα σενάρια της απλής εγκατάστασης. Οι τιμές αυτές είναι:

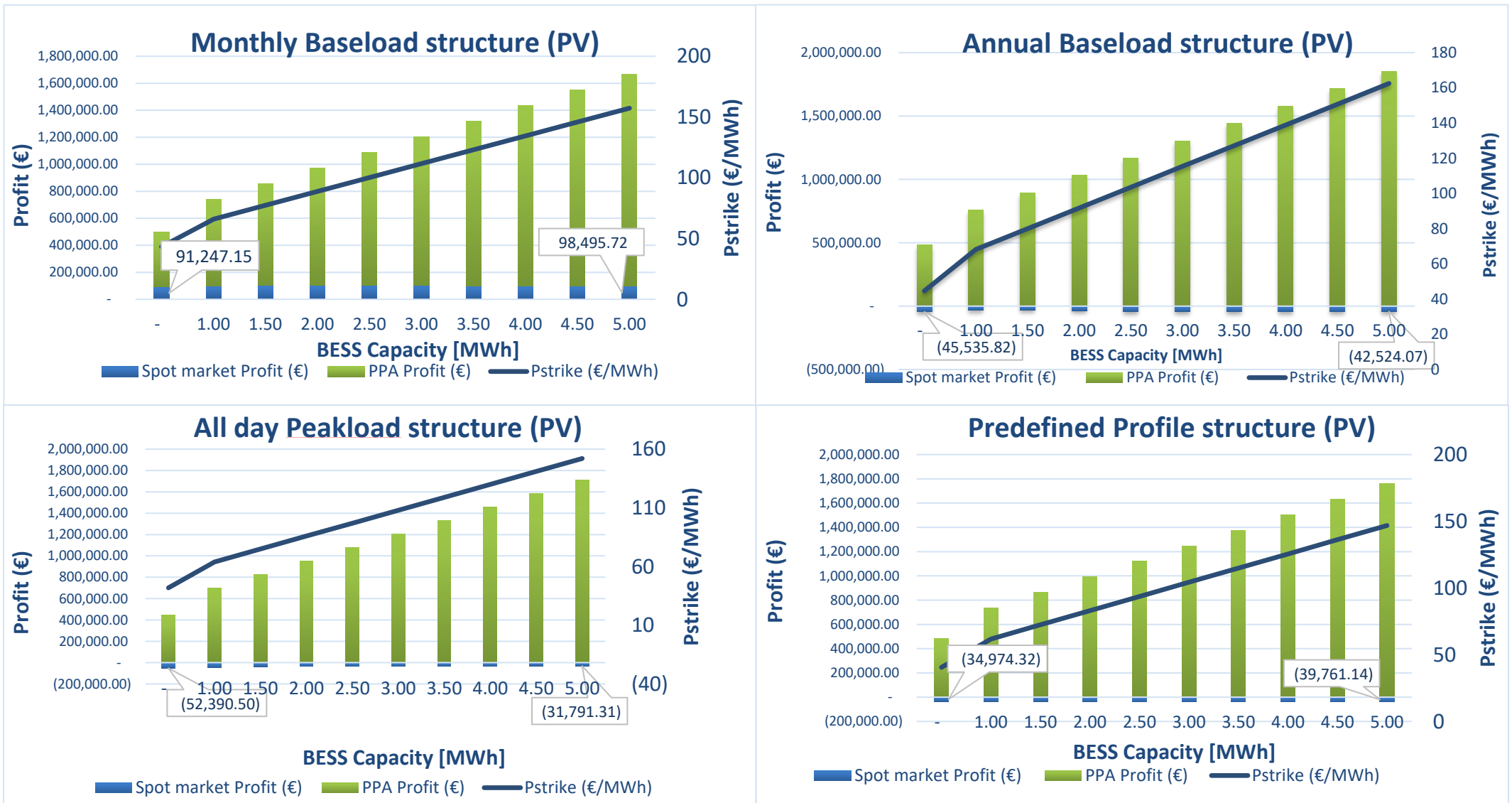
- Η τιμή αιχμαλώτισης (Capture Price) είναι η τιμή που θα εξασφάλιζε ο παραγωγός αν διοχέτευε το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά. Η τιμή αυτή είναι αισθητά χαμηλότερη από την DAM (~3 / 5 €/MWh για A/Γ ή ΦΒ) υποδηλώνοντας πως η συχνότητα και το διαθέσιμο δυναμικό της παραγωγής συμπίπτει περισσότερο με τις φθηνότερες απ' ό τι με τις ακριβότερες ώρες (φαινόμενο κανιβαλισμού).
- Η συμφωνημένη τιμή (P_{strike}) είναι μέχρι και 26 €/MWh χαμηλότερη από την DAM για A/Γ και μέχρι 49 €/MWh για ΦΒ, γεγονός που ενισχύει τις προηγούμενες παρατηρήσεις σχετικά με τη συνήθη περίπτωση (Business as Usual case).
- Η τιμή πώλησης της περίσσειας ενέργειας (Price for residual sells) και η τιμή αγοράς της υπολειπόμενης ενέργειας (Price for residual purchases) έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο κέρδος του παραγωγού, με την δεύτερη, στη πλειοψηφία των περιπτώσεων, να έχει δυσμενέστερη επιρροή για κάθε MWh (η διαφορά της με την DAM είναι υψηλότερη κατά απόλυτη τιμή).

Η τελευταία σειρά αποτελεσμάτων αφορά την οικονομική αποτίμηση του καταναλωτή καθ' όλη τη διάρκεια της σύμβασης αλλά και την επίδραση κάθε πρόσθετης MWh αποθήκευσης στο ποσό της εξοικονόμησης (Consumer's savings) που μπορεί να επιτύχει. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώνεται ότι:

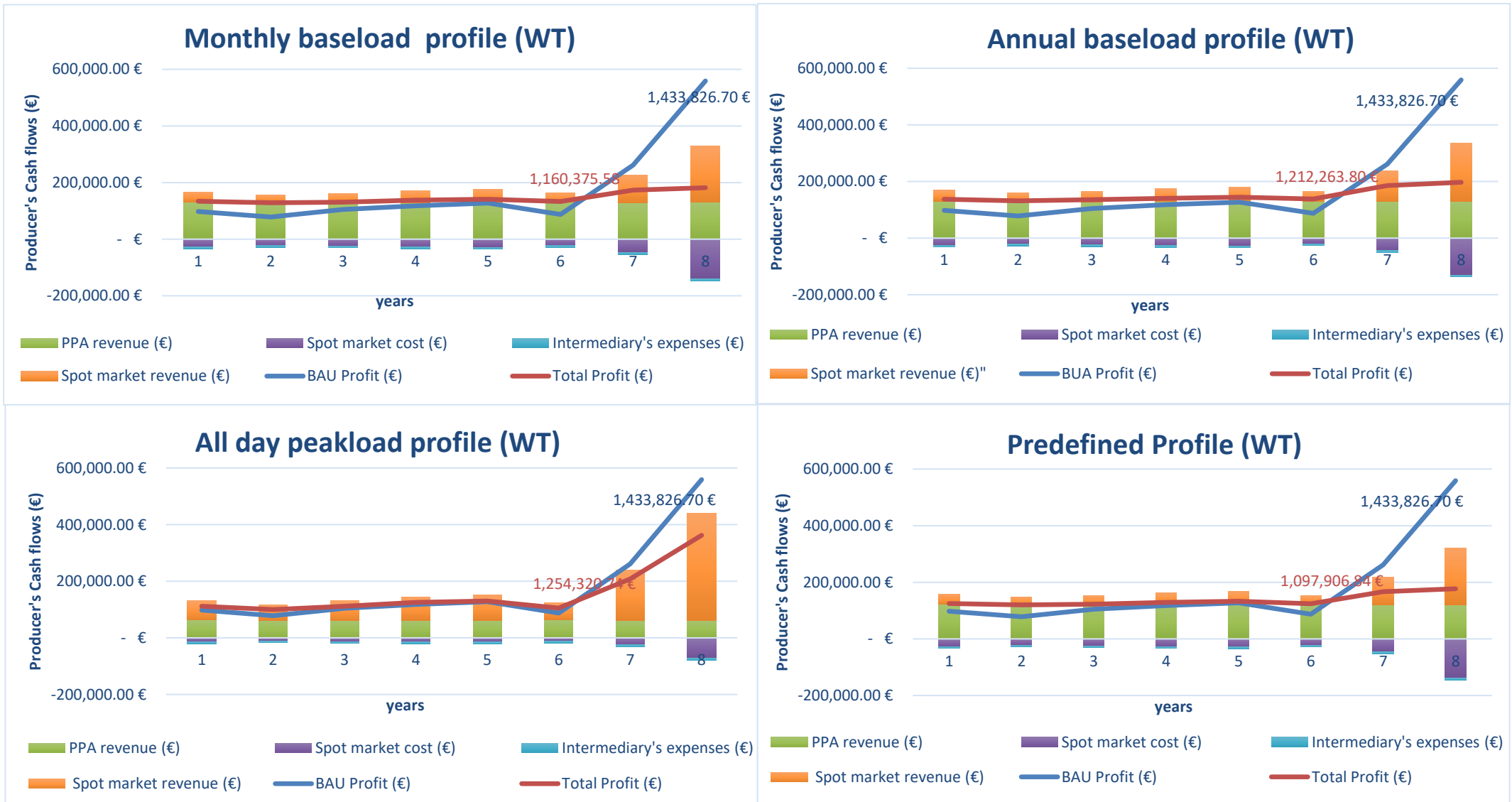
- 1) Στη περίπτωση της σύμβασης με μια απλή εγκατάσταση, ο καταναλωτής εξοικονομεί (σε σχέση με τη συνήθη περίπτωση αποκλειστικής προμήθειας από τη spot αγορά) ένα ελάχιστο ποσό > 180.000 € για A/Γ και >425.000 € για ΦΒ. Η μερίδα του λέοντος προκύπτει τα τελευταία δυο έτη, εκεί όπου ο καταναλωτής έχει «κλειδώσει» σε σταθερή τιμή ένα ικανό μερίδιο της ζήτησης του.
- 2) Παρά το πολύ υψηλό κόστος της μονάδας BESS, ο καταναλωτής θα μπορούσε να διατηρήσει ένα θετικό πρόσημο εξοικονόμησης σε χαμηλές χωρητικότητες (<1.5 MWh για A/Γ και ≤ 2 MWh για ΦΒ).



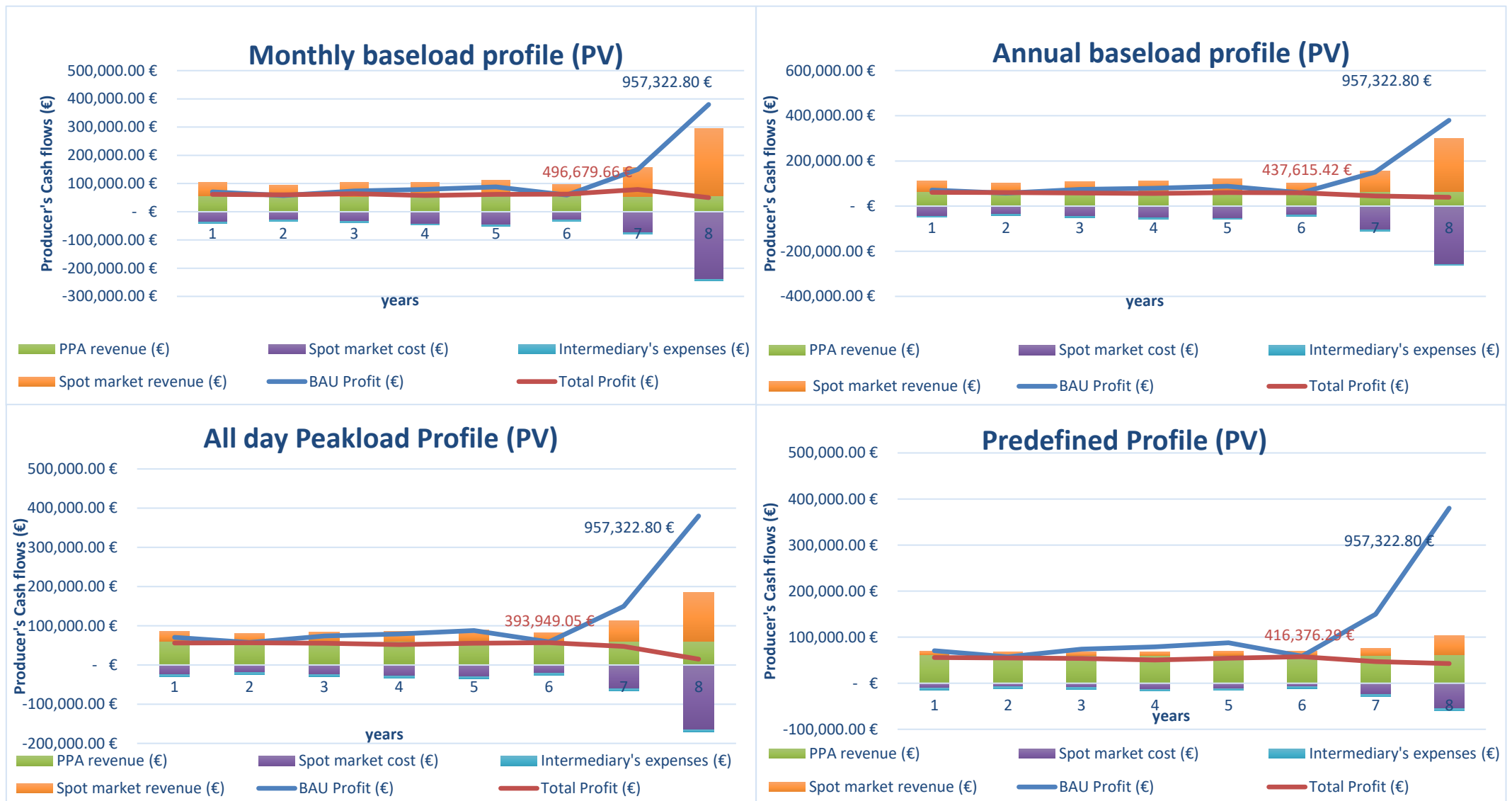
Εικόνα 45: Μεταβολή κερδών παραγωγού και συμφωνημένης τιμής συναρτήσεως της χωρητικότητας του συστήματος BESS, για κάθε δομή παράδοσης με A/T.



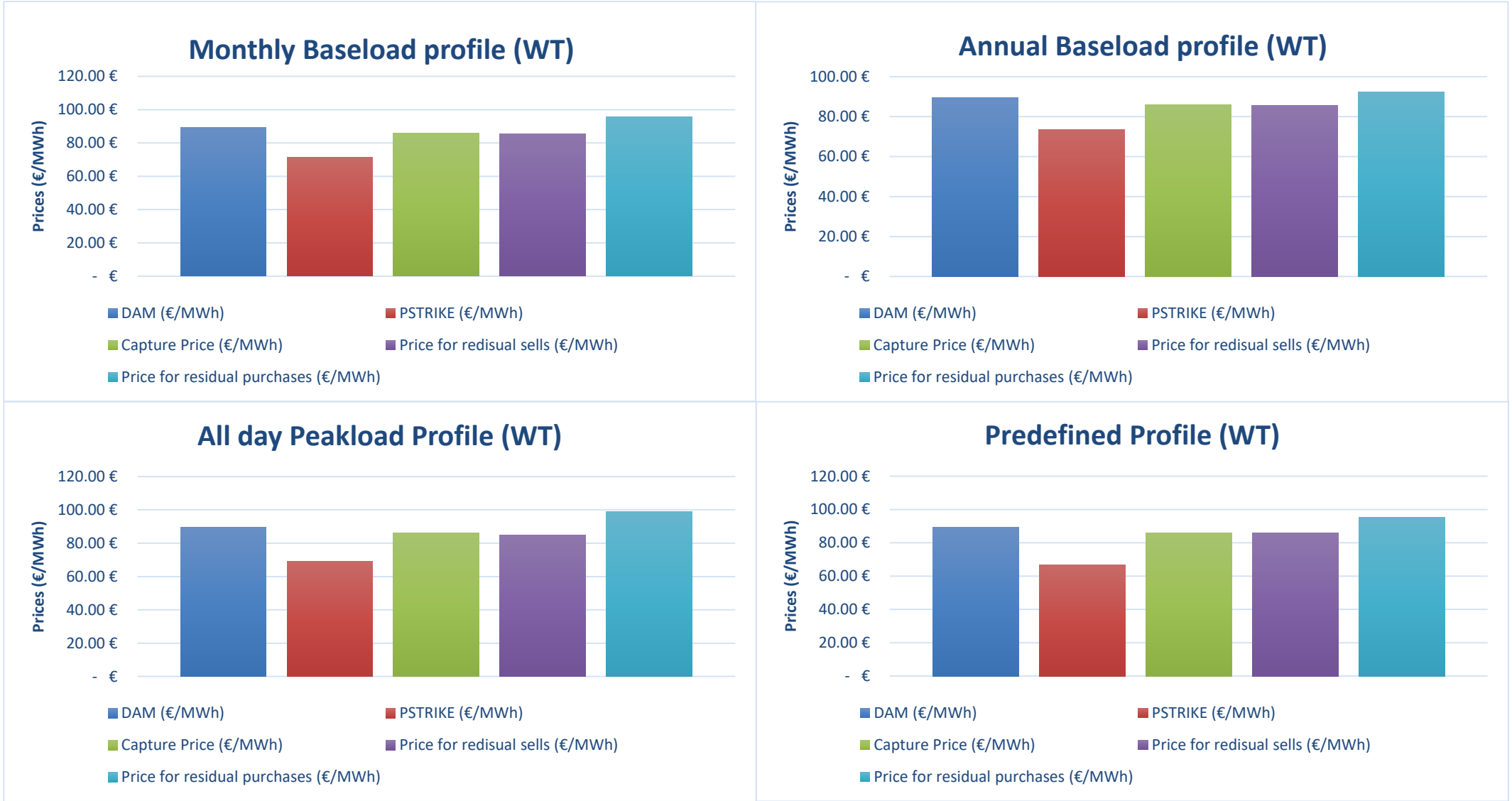
Εικόνα 46: Μεταβολή κερδών παραγωγού και συμφωνημένης τιμής συναρτήσεως της χωρητικότητας του συστήματος BESS, για κάθε δομή παράδοσης με ΦΒ.



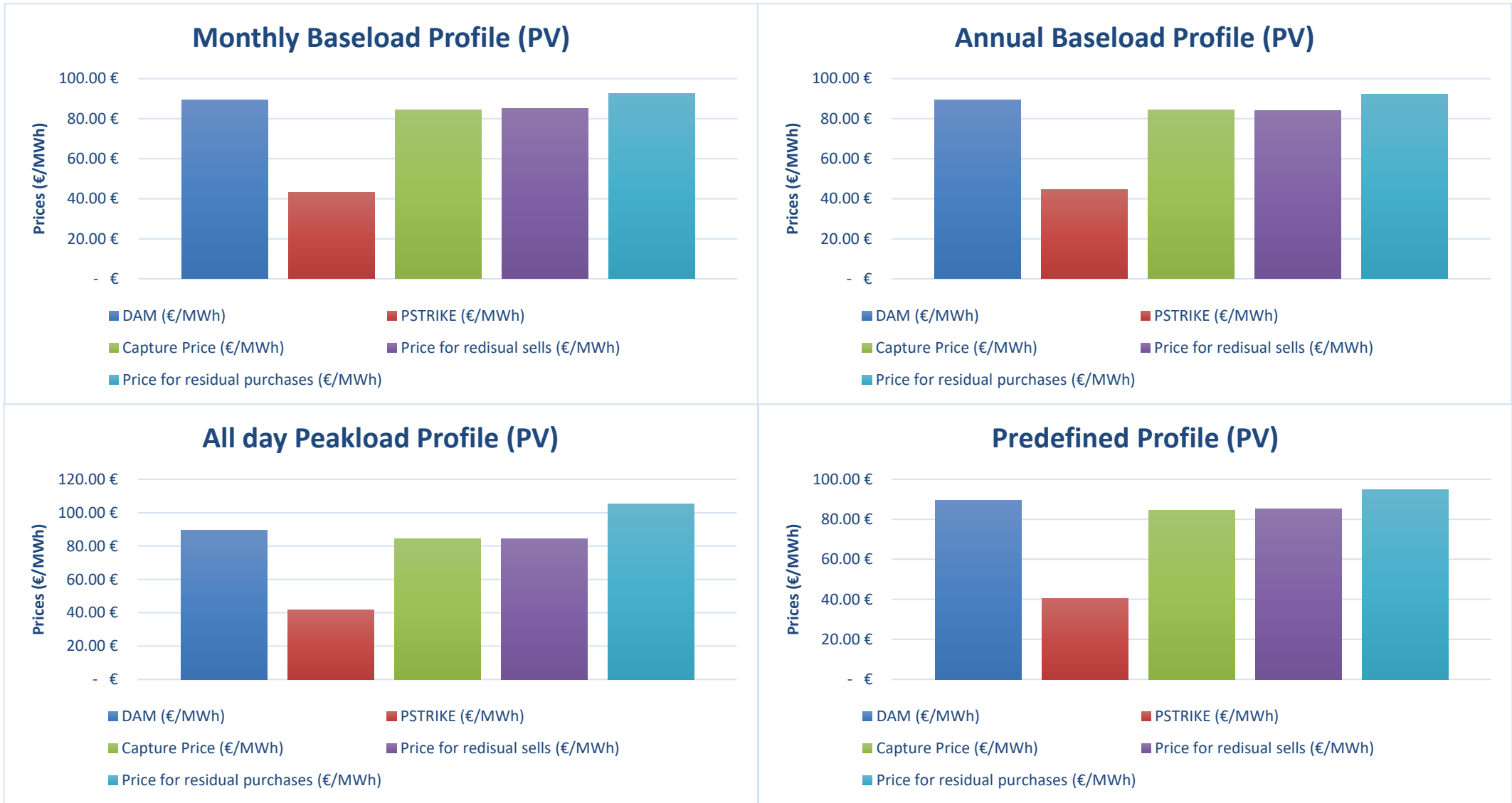
Εικόνα 47: Ταμειακές ροές παραγωγού και σύγκριση του καθαρού κέρδους του με τη συνήθη περίπτωση ανά έτος, για όλες τις δομές παράδοσης με A/T.



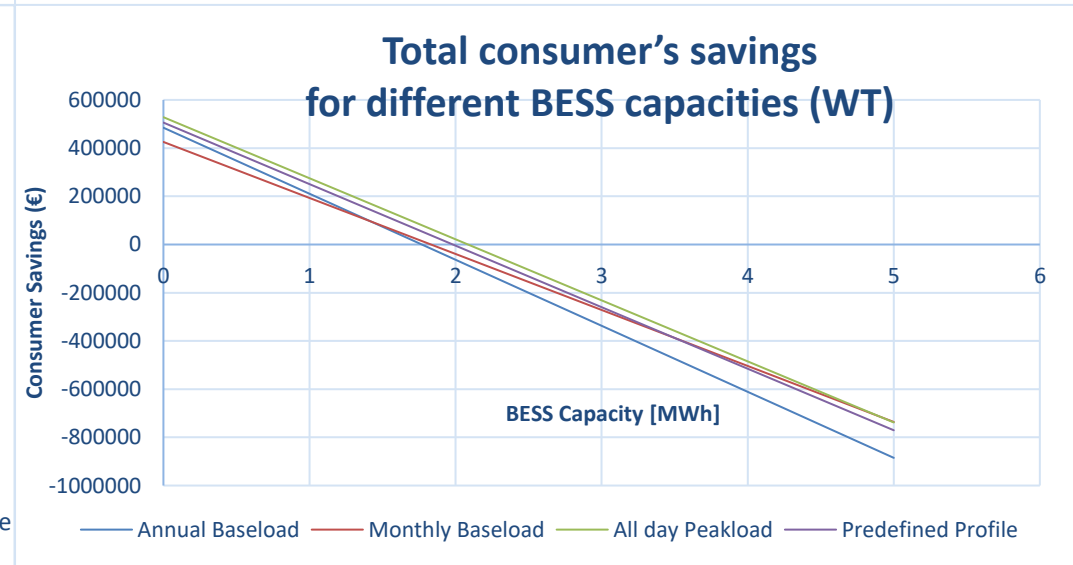
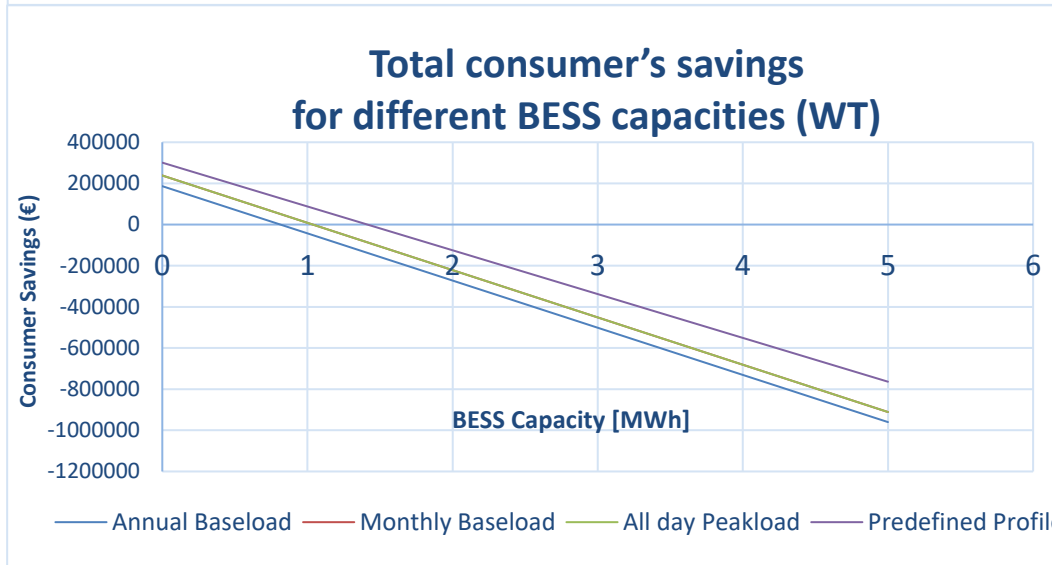
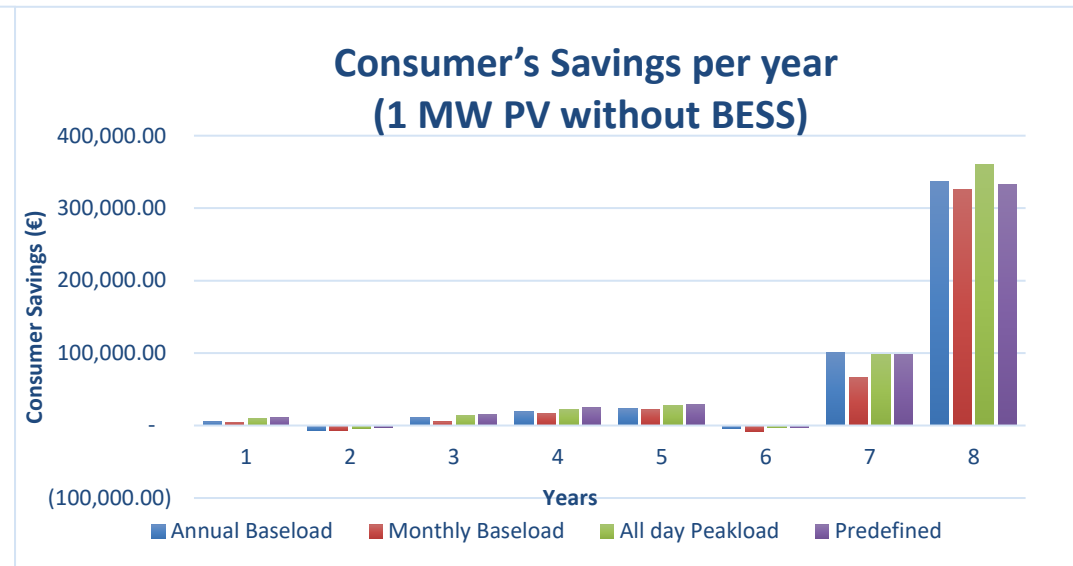
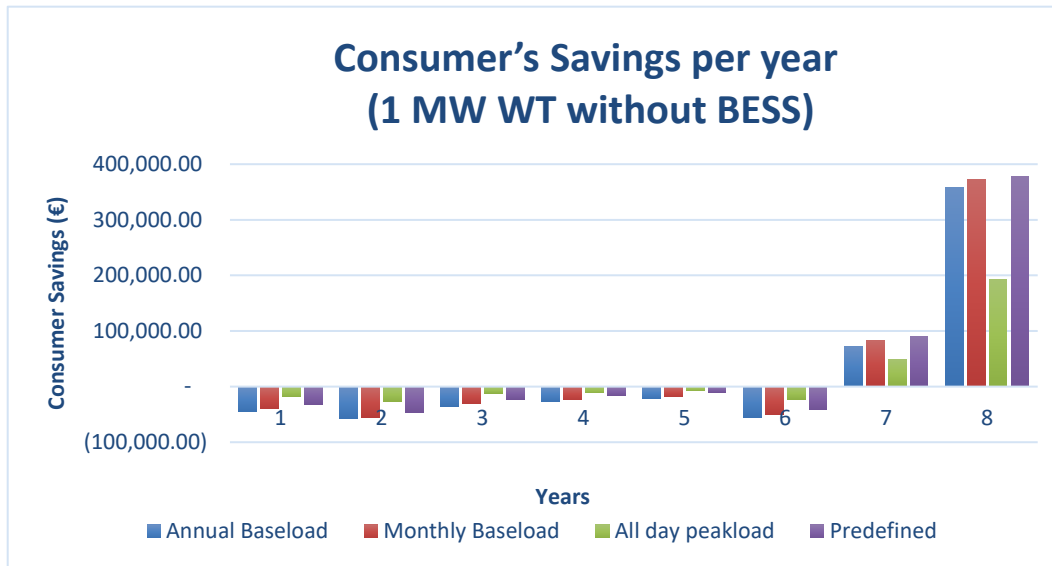
Εικόνα 48: Ταμειακές ροές παραγωγού και σύγκριση του καθαρού κέρδους του με τη συνήθη περίπτωση ανά έτος, για όλες τις δομές παράδοσης με ΦΒ.



Εικόνα 49: Συγκριτική απεικόνιση τιμής αγοράς επόμενης ημέρας με τις τιμές τις οποίες συναλλάσσεται ο παραγωγός, σε όλες τις δομές, για την περίπτωση απλής εγκατάστασης Α/Γ



Εικόνα 50: Συγκριτική απεικόνιση τιμής αγοράς επόμενης ημέρας με τις τιμές τις οποίες συναλλάσσεται ο παραγωγός, σε όλες τις δομές, για την περίπτωση απλής εγκατάστασης ΦΒ



Εικόνα 51: Σχηματική απεικόνιση ετήσιας εξοικονόμησης καταναλωτή και επίδρασης του συστήματος BESS σε αυτή, ανά τεχνολογία (ΑΓ & ΦΒ)

Κεφαλαίο 4°

Συμπεράσματα-Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Επιθυμώντας τη διερεύνηση της επάρκειας των τεχνολογιών ΑΠΕ στη εκπλήρωση συμβατικών δομών PPA με αυστηρούς χρονικούς και ποσοτικούς περιορισμούς παράδοσης καθώς και την ενδεχόμενη συμβολή μιας μονάδας αποθήκευσης με μπαταρίες, υλοποιήθηκε αριθμητική εφαρμογή με αντικείμενο τη συμβολαιοποίηση ενέργειας δυο σταθμών ΑΠΕ, ενός ΦΒ και μιας Α/Γ. Κατασκευάζοντας 4 επιλεγμένα προφίλ παράδοσης (Ημερήσιο Προφίλ αιχμής, προκαθορισμένο προφίλ, ετήσιου και μηνιαίου φορτίου βάσης) ελέγχθηκε το ποσοστό κάλυψης που δύναται να παρέχουν στον καταναλωτή, η εξάρτηση που έχει ο παραγωγός από τη spot αγορά για την τήρηση των δεσμεύσεων του αλλά και η λειτουργία της μονάδας BESS (σε διάφορες χωρητικότητες) με τους σταθμούς παραγωγής, όταν αξιοποιείται για χρονική μετατόπιση της παραγωγής. Επισημαίνεται ότι τα βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη συγκεκριμένη διαδικασία είναι άμεσα εξαρτώμενα από τις επιλεγμένες παραμέτρους (πχ σταθερή μέθοδος τιμολόγησης), και διατυπώνονται ως εξής:

Α) Το προφίλ παράδοσης που θα αποφασιστεί από κοινού (αγοραστή και πωλητή) οφείλει να εξυπηρετεί τα χαρακτηριστικά της ζήτησης και να είναι προσαρμοσμένο στη δυναμική του εκάστοτε σταθμού παραγωγής αλλά και τον κίνδυνο (ποσότητας, μορφής, κανιβαλισμού) που ο παραγωγός θέλει να αναλάβει. Στη προκειμένη περίπτωση, εάν η επιθυμία του καταναλωτή (με σταθερή και προβλέψιμη ζήτηση) είναι ένα υψηλό ποσοστό κάλυψης της ετήσιας ζήτησης του, μια Α/Γ σε δομή φορτίου βάσης αποδεικνύεται ικανοποιητικότερη λύση, ενώ σε χαμηλότερα ποσοστά, αναδύεται ο βαθμός αποτελεσματικότητας του κόστους (Cost effectiveness) του ΦΒ.

Β) Η εφαρμοσμένη μέθοδος λειτουργίας της μονάδας αποθήκευσης, μειώνει σημαντικά την αλληλεπίδραση του παραγωγού με τη χονδρική αγορά, χωρίς όμως να οδηγεί σε πλήρη αυτονομία της παραγωγής, ακόμη και σε υψηλές χωρητικότητες. Μάλιστα, η μπαταρία εγγχεί σημαντικά χαμηλότερη ενέργεια από εκείνη που θα μπορούσε να προσφέρει ετησίως με βάση το όριο των κύκλων φόρτισης-αποφόρτισης που έχει τεθεί (ετήσια ισοδύναμη ενέργεια).

Γ) Το καθαρό όφελος που προκύπτει από τη λειτουργία της μπαταρίας για τη χρήση αυτή, δεν αιτιολογεί τις πρόσθετες δαπάνες της, τις οποίες, στη προκειμένη περίπτωση, τις επωμίζεται ο καταναλωτής μέσω της συμφωνημένης τιμής (P_{strike}). Η μείωση του κόστους ως αποτέλεσμα της ελάττωσης των ποσοτήτων που προμηθεύεται ο παραγωγός από τη spot αγορά, συχνά αλληλοαναιρείται από τη μείωση των εσόδων πώλησης από την αντίστοιχη ενέργεια που δεν διατέθηκε στην αγορά. Έτσι, γίνεται φανερό ότι σε τέτοιες περιπτώσεις είναι αναγκαία η επιβολή οικονομικών κριτηρίων αλλά και η παράλληλη εκμετάλλευση της μπαταρίας σε περισσότερες χρήσεις (πχ υπηρεσίες δικτύου, arbitrage).

Δ) Για τον καταναλωτή, τα αποτελέσματα εξοικονόμησης θα ήταν εντελώς διαφορετικά, εάν το PPA είχε πιο περιορισμένη χρονική διάρκεια. Το PPA λειτούργησε προστατευτικά από εξωγενείς παράγοντες που ώθησαν τις τιμές ηλεκτρισμού σε ακραία επίπεδα κατά τα έτη 2021 και 2022.

Δεδομένης της έλλειψης μελετών στο πεδίο εφαρμογής των PPAs και της ανοδικής τάσης στη συμβολαιοποίηση των υβριδικών εγκαταστάσεων, οι αναγνώστες της παρούσας εργασίας ενθαρρύνονται να δημιουργήσουν τις δικές τους δομές συμβολαίων. Ενδεικτικά:

- Να ελέγξουν την καταλληλότητα των 4 προαναφερθέντων δομών παράδοσης και τη δυνατότητα προσαρμογής τους σε καταναλωτές με προφίλ ζήτησης που εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις ή ακόμα και να δημιουργήσουν νέες, πρωτότυπες, δομές.
- Να εφαρμόσουν διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης (πχ κυμαινόμενης τιμής) ή και να διερευνήσουν την χρησιμότητα των μπαταριών σε εικονικά PPAs.
- Να ελέγξουν την οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας αποθήκευσης όταν αυτή προορίζεται αποκλειστικά για χρονική μετατόπιση της παραγωγής με οικονομικά κριτήρια ή και το ενδεχόμενο παράλληλης διαχείρισης της μονάδας αποθήκευσης από τους δυο αντισυμβαλλόμενους, δίχως σύγκρουση συμφερόντων.

Βιβλιογραφία

- [1]: European Commission. (2021). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism (COM(2021) 564 final, 2021/0214(COD)). Brussels.
- [2]: European Commission. (2021). European Climate Law. Energy, Climate change, Environment: Climate Action. Retrieved from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en
- [3]: U.S. Department of Commerce. (n.d.). Understanding Power Purchase Agreements – Second Edition. U.S. Secretary of Commerce.
- [4]: German Energy Agency (dena). (2019). *How to use PPAs for cost-efficient extension of renewable energies: Experiences with Power Purchase Agreements from Europe and the U.S. / Lessons learned for China*. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). <https://www.dena.de>
- [5]: Baines, S., Wrubell, S., Kennedy, J., Bohn, C., & Richards, C. (2019). #HOWTOPPA: An examination of the regulatory and commercial challenges and opportunities arising in the context of private power purchase agreements for renewable energy. *Alberta Law Review*, 57(2), 390-410.
- [6]: The World Bank Group. (2021). Power Purchase Agreements (PPAs) and Energy Purchase Agreements (EPAs). Public-Private Partnership Legal Resource Center. Retrieved from <https://www.ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sector/energy/energy-power-agreements/power-purchase-agreements>
- [7]: Pexapark. (2021). What is a PPA? THE Guide to Power Purchase Agreement. Retrieved from <https://pexapark.com/solar-power-purchase-agreement-ppa/>
- [8]: Pexapark. (2023). European PPA Market Outlook 2023.
- [9]: DAPEEP. "Εγγραφή στο Μητρώο Εγγυήσεων Προέλευσης." [Date of access, if available]. <https://dapeep.gr/energeia/eguisseis-proeleusis/eggrafi-sto-mitroo-egguiseon/>
- [10]: RE-Source. "Guarantees of Origin and Corporate Procurement Options." October 2021. European platform for corporate renewable energy sourcing.
- [11]: Advancing Renewable Energy through Community Research." Future Energy. [Online]. Available: futureenergygo.com/the-rising-price-of-the-european-guarantees-of-origin-and-future-go-market-outlook
- [12]: Introduction to Corporate Sourcing of Renewable Electricity in Europe." RE-Source: European platform for corporate renewable energy sourcing. January 2020
- [13]: WBCSD. (2020, December). *Cross-border renewable PPAs in Europe: An overview for corporate buyers*. RE-Source
- [14]: World Business Council for Sustainable Development. "How multi-technology PPA structures could help companies reduce risk." Maison de la Paix, Chemin Eugène-Rigot 2B, CP 2075, 1211 Geneva 1, Switzerland, [Year of Publication, if available]. www.wbcds.org
- [15]: Risk mitigation for corporate renewable PPAs." RE-Source: European platform for corporate renewable energy sourcing. March 2020
- [16]: Innovation in POWER PURCHASE AGREEMENT STRUCTURES." WBCSD
- [17]: A Local Government's Guide to Off-Site Renewable PPA Risk Mitigation." RMI. 22830 Two Rivers Road, Basalt, CO, 81621 USA. [Online]. [Accessed: Date of Access]. www.rmi.org. © February 2021 RMI
- [18]: Kowalczyk, A. (2020). *Everything You Always Wanted to Know About PPAs (But Were Afraid to Ask)*. LinkedIn Pulse. Retrieved from www.linkedin.com/pulse/everything-you-always-wanted-know-ppas-were-afraid-ask-anna-kowalczyk/
- [19]: de Jong, C. (2020). *The financials of renewable power and PPA contracts*. KYOS. Retrieved from www.kyos.com

- [20]: Pexapark. (2022). *Deconstructing Baseload PPA: Essential tips for developers and lenders*. Pexapark AG.
- [21]: Iberdrola. (2023). *Power Purchase Agreements: What is a PPA, and what are the main benefits?*. Retrieved from <https://www.iberdrola.com/about-us/contracts-ppa-energy>
- [22]: Pricing structures for corporate renewable PPAs." World Business Council for Sustainable Development. WBCSD. [Image]. www.wbcsd.org.
- [23]: Zeigo. (2021, September 21). *A simple guide to PPA pricing structures*. Zeigo by Schneider Electric. <https://zeigo.com/blog/ppa-pricing-structure-easy/>
- [24]: Adolfsson, E. (Year of publication). *Future-competing battery chemistries for large-scale energy storage: Alternatives to be used instead of lithium-ion in the coming 5-10 years* (Degree Project in Technology, Second cycle, 30 credits). KTH Royal Institute of Technology.
- [25]: Jansson, S. (2019). *Evaluation of KPIs and Battery Usage of Li-ion BESS for FCR Application* (Examensarbete 30 hp). Uppsala Universitet
- [26]: Bowens, Thomas; Chernyakhovskiy, Ilya; Denholm, Paul. "Grid-Scale Battery Storage: Frequently Asked Questions." National Renewable Energy Laboratory, September 2019. www.greeningthegrid.org | www.nrel.gov/usaid-partnership.
- [27]: Halsey, Richard., Bridle, Richard., & Geddes, Anna. "Watts in Store: Part 1: Explainer on how energy storage can help South Africa's electricity crisis." International Institute for Sustainable Development (IISD) Report. June 2023. IISD.org.
- [28]: The World Bank. "Guidelines to implement battery energy storage systems under public-private partnership structures." January 2023. World Bank Group
- [29]: Eureka, K., Murphy, C., Cole, W., Frazier, W., Brown, P., & Schleifer, A. (2021). Representing DC-Coupled PV+Battery Hybrids in a Capacity Expansion Model. National Renewable Energy Laboratory (NREL). NREL/TP-5000-77917. Retrieved from www.nrel.gov/publications.
- [30]: Pexapark. "Renewables-Plus-Storage Co-location Trends: Hybrid PPAs and More."