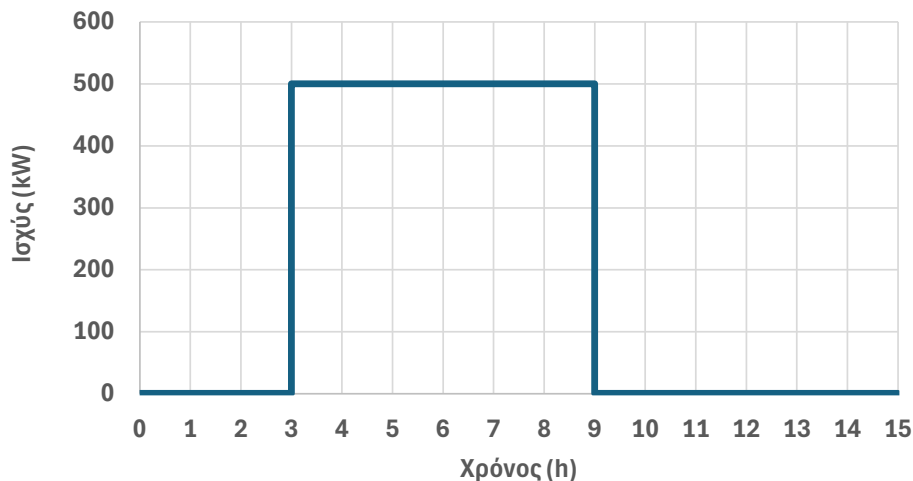


Υβριδικό σύστημα ανανεώσιμης ενέργειας περιλαμβάνει μονάδες ΑΠΕ, συμβατική θερμική μονάδα παραγωγής, ισχύος 500 kW, που λειτουργεί εφεδρικά για την κάλυψη των ελλειμμάτων, και μονάδα αποθήκευσης ενέργειας. Στην **Εικόνα 1** δίνεται το απλοποιημένο θερμικό προφίλ της συμβατικής μονάδας, ενώ η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας έχει μέγιστη χωρητικότητα 3000 kWh, μέγιστη ισχύ 500 kW (κατά προσέγγιση κοινή για τη φόρτιση και την εκφόρτιση), βαθμό απόδοσης κύκλου ίσο με 70%, και αμελητέες απώλειες αυτοεκφόρτισης.



Εικόνα 1: Θερμικό προφίλ συμβατικής μονάδας παραγωγής.

Στον **Πίνακα 1** δίνονται τα δεδομένα μέσης ωριαίας ζήτησης και αντίστοιχης παραγωγής ισχύος από τις ΑΠΕ, για διάστημα μίας ημέρας. Με βάση αυτά, υπολογίστε το ωριαίο ενεργειακό ισοζύγιο και τα συγκεντρωτικά του μεγέθη στην ημερήσια κλίμακα, για τις ακόλουθες διατάξεις του συστήματος:

Διάταξη 1: Σύστημα αποτελούμενο αποκλειστικά από τις ΑΠΕ

Διάταξη 2: Σύστημα αποτελούμενο από τις ΑΠΕ και τη θερμική μονάδα

Διάταξη 3: Σύστημα αποτελούμενο από τις ΑΠΕ και τη μονάδα αποθήκευσης, θεωρώντας αρχικό βάθος φόρτισης ίσο με το 10% της χωρητικότητάς της

Διάταξη 4: Πλήρες υβριδικό σύστημα

Πίνακας 1: Ωριαία δεδομένα ζήτησης και παραγωγής μέσης ηλεκτρικής ισχύος από ΑΠΕ (kW)

Ωρα	Ζήτηση	Παραγωγή ΑΠΕ	Ωρα	Ζήτηση	Παραγωγή ΑΠΕ
1	700	1150	13	688	547
2	790	801	14	26	746
3	548	620	15	109	524
4	759	895	16	56	419
5	863	400	17	55	1030
6	237	903	18	350	500
7	702	748	19	200	480
8	621	141	20	180	224
9	1081	770	21	90	313
10	71	287	22	290	320
11	99	242	23	1084	751
12	486	940	24	870	455

Διάταξη 1: Σύστημα αποτελούμενο αποκλειστικά από τις ΑΠΕ

Η κατάρτιση του ενεργειακού ισοζυγίου, η οποία συνοψίζεται στον **Πίνακα 2**, είναι πολύ απλή, καθώς σε κάθε χρονικό βήμα (ώρα) η ζήτηση ενέργειας είτε υπολείπεται είτε υπερβαίνει την αντίστοιχη παραγωγή από τις ΑΠΕ. Στην πρώτη περίπτωση, προκύπτει περίσσεια ενέργειας, που ελλείψει μέσου αποθήκευσης ή δυνατότητας απορρόφησής της από άλλο δίκτυο οδηγεί σε απόρριψη του υπερβάλλοντος φορτίου από τις ΑΠΕ. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση παράγονται ελλείμματα, τα οποία πρέπει να αντικατασταθούν από κάποια εξωτερική πηγή.

Συναθροίζοντας τα παραπάνω μεγέθη στην ημερήσια κλίμακα, παρατηρείται ότι αν και η παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ (14 206 kWh) υπερβαίνει εμφανώς τις αντίστοιχες ανάγκες σε ηλεκτρισμό (10 956 kWh), το σύστημα είναι ισχυρά ελλειμματικό (2 143 kWh, ήτοι περίπου 20% της ζήτησης), έχοντας παράλληλα σημαντικές απορρίψεις φορτίου (3 395 kWh, ήτοι περίπου 39% της παραγωγής).

Σημειώνεται ότι λόγω του ωριαίου βήματος των υπολογισμών, οι αριθμητικές τιμές της μέσης ωριαίας ισχύς και η της ωριαίας ενέργειας, που δίνονται σε kW και kWh, ταυτίζονται.

Πίνακας 2: Ενεργειακό ισοζύγιο διάταξης 1 (kWh)

Ώρα	Ζήτηση	Παραγωγή από ΑΠΕ	Έλλειμμα	Απόρριψη φορτίου
1	700	1150	0	450
2	790	801	0	11
3	548	620	0	72
4	759	895	0	136
5	863	400	463	0
6	237	903	0	666
7	702	748	0	46
8	621	141	480	0
9	1081	770	311	0
10	71	287	0	216
11	99	242	0	143
12	486	940	0	454
13	688	547	141	0
14	26	746	0	720
15	109	524	0	415
16	56	419	0	363
17	55	1030	0	975
18	350	500	0	150
19	200	480	0	280
20	180	224	0	44
21	90	313	0	223
22	290	320	0	30
23	1084	751	333	0
24	870	455	415	0
Σύνολο	10 956	14 206	2 143	5 394

Διάταξη 2: Σύστημα αποτελούμενο από τις ΑΠΕ και τη θερμική μονάδα

Η εισαγωγή της θερμικής μονάδας προϋποθέτει ότι τα ενεργειακά ελλείμματα είναι εκ των προτέρων γνωστά, που σε επιχειρησιακή κλίμακα γίνεται μέσω κατάλληλων μοντέλων πρόγνωσης. Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 2**, ελλείμματα δημιουργούνται τις ώρες 5, 8, 9, 13, 23 και 24.

Με βάση το θερμικό προφίλ της **Εικόνα 1**, συμβατικής μονάδας, απαιτείται ένα διάστημα 3 ωρών (ramp rate) προκειμένου να αποδοθεί η μέγιστη ισχύς των 500 kW, ενώ απαιτούνται άλλες 6 ώρες (minimum downtime) για να επανέλθει η μονάδα σε κατάσταση αδράνειας. Συνεπώς, η μονάδα θα πρέπει να τεθεί σε λειτουργία από τη 2^η ώρα, προκειμένου να τροφοδοτήσει το δίκτυο με την ισχύ των 500 kW την 6^η ώρα, που αναμένεται το πρώτο έλλειμμα. Η μονάδα θα συνεχίσει να αποδίδει τη μέγιστη ισχύ ως την 13^η ώρα, θα παραμείνει ενεργή, αλλά χωρίς να αποδίδει ισχύ για άλλες 6 ώρες (δηλαδή ως την 19^η ώρα), και θα τεθεί σε λειτουργία εκ νέου ώστε να καλύψει τα ελλείμματα της 23^{ης} και 24^{ης} ώρας. Οι σχετικοί υπολογισμοί συνοψίζονται στον **Πίνακα 3**.

Πίνακας 3: Ενεργειακό ισοζύγιο διάταξης 2 (kWh)

Ώρα	Ζήτηση	Παραγωγή από ΑΠΕ	Αρχικό έλλειμμα (πρόβλεψη)	Παραγωγή θερμικής μονάδας	Συνολική παραγωγή	Απόρριψη φορτίου
1	700	1150	0	-	1150	450
2	790	801	0	0	801	11
3	548	620	0	0	620	72
4	759	895	0	0	895	136
5	863	400	463	500	900	37
6	237	903	0	500	1403	1166
7	702	748	0	500	1248	546
8	621	141	480	500	641	20
9	1081	770	311	500	1270	189
10	71	287	0	500	787	716
11	99	242	0	500	742	643
12	486	940	0	500	1440	954
13	688	547	141	500	1047	359
14	26	746	0	0	746	720
15	109	524	0	0	524	415
16	56	419	0	0	419	363
17	55	1030	0	0	1030	975
18	350	500	0	0	500	150
19	200	480	0	0	480	280
20	180	224	0	0	224	44
21	90	313	0	0	313	223
22	290	320	0	0	320	30
23	1084	751	333	500	1251	167
24	870	455	415	500	955	85
Σύνολο	10 956	14 206	2 143	5 500	19 706	8 750

Παρατηρείται ότι χάρη στη θερμική μονάδα, τα ελλείμματα μηδενίζονται. Ωστόσο, δημιουργούνται μεγάλες απορρίψεις φορτίου, καθώς εξαιτίας των λειτουργικών περιορισμών του θερμικού προφίλ, παράγεται σημαντικά παραπάνω ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με την απαιτούμενη, ακόμα και σε χρονικές περιόδους που δεν υπάρχουν ελλείμματα (6^η, 7^η, 10^η, 11^η και 12^η ώρα).

Συναθροίζοντας τα παραπάνω μεγέθη στην ημερήσια κλίμακα, προκύπτει ότι η παραγωγή ενέργειας από τη θερμική μονάδα (5 500 kWh) είναι υπερδιπλάσια των αναγκών που είχαν προκύψει από τα ελλείμματα των ΑΠΕ (2 143 kWh). Πλέον, οι συνολικές απορρίψεις φορτίου ανέρχονται σε 8 750 kWh, ήτοι στο 44% της συνολικής παραγωγής από τις ΑΠΕ και τη θερμική μονάδα (19 706 kWh).

Διάταξη 3: Σύστημα αποτελούμενο από τις ΑΠΕ και τη μονάδα αποθήκευσης

Η προηγούμενη διάταξη, αν και αντιμετωπίζει πλήρως το πρόβλημα των ελλειμμάτων, οδηγεί σε πολύ μεγάλες φορτίου. Η εισαγωγή ενός συστήματος αποθήκευσης (αντί τη θερμικής μονάδας) αποσκοπεί σε μια πιο αποτελεσματική διαχείριση των δύο αυτών αντιδιαμετρικών πτυχών ενός ενεργειακού μίγματος που εξυπηρετείται από μη ελέγχιμες πηγές (ΑΠΕ), ήτοι των ελλειμμάτων και περισσειών.

Στην εκφώνηση αναφέρεται ότι το αρχικό βάθος φόρτισης της μονάδας αποθήκευσης είναι ίσος με το 10% της χωρητικότητάς της, συνεπώς ισούται με $0.10 \times 3000 = 300$ kWh. Ο βαθμός απόδοσης του κύκλου (round-trip efficiency, η_{PHS}) ανέρχεται σε 70%, και ελλείψεις άλλης πληροφορίας επιμερίζεται σε δύο ίσους βαθμούς απόδοσης κατά την φόρτιση (charge) και εκφόρτιση (discharge), ήτοι:

$$\eta_{PHS} = \eta_c \eta_d \Rightarrow \eta_c = \eta_d = \sqrt{\eta_{PHS}}$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι $\eta_c = \eta_d = 0.837$. Συνεπώς, η καθαρή ενέργεια (ή ισχύς, αν αναφερόμαστε σε στιγμιαία μεγέθη) που αποθηκεύεται κατά την φόρτιση είναι το 83.7% αυτής που παρέχεται από το δίκτυο, ενώ η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που επιστρέφει στο δίκτυο κατά την εκφόρτιση είναι το 83.7% της αντίστοιχης αποθηκευμένης ποσότητας. Επισημαίνεται ότι επειδή οι απώλειες λόγω αυτοεκφόρτισης (self-discharge) είναι αμελητέες, ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης είναι μονάδα, διαφορετικά ο συνολικός βαθμός απόδοσης του κύκλου θα έπρεπε να υπολογιστεί ως το γινόμενο τριών επιμέρους συντελεστών.

Συμβολίζοντας με S_{t-1} την αποθήκευση ενέργειας στην αρχή του κάθε χρονικού βήματος t , με αρχική συνθήκη $S_0 = 300$ kWh, η κατάρτιση του ενεργειακού ισοζυγίου της μονάδας αποθήκευσης συνιστά ένα πρόβλημα προσομοίωσης, με άγνωστες μεταβλητές την αποθήκευση, S_t , στο πέρας του χρονικού βήματος, τη φόρτιση, $E_{c,t}$, και την εκφόρτιση, $E_{d,t}$, που κατ' αντιστοιχία με μια δεξαμενή, έχουν το ρόλο της εισροής και εκροής, αντίστοιχα, έτσι ώστε:

$$S_t = S_{t-1} + E_{c,t} - E_{d,t}$$

Η υπολογιστική διαδικασία υλοποιείται ως ακολούθως:

Η φόρτιση της μονάδας αποθήκευσης πραγματοποιείται στα χρονικά βήματα κατά τα οποία υπάρχει περίσσεια παραγωγής ενέργειας, ήτοι $\Delta E_t = E_t - D_t > 0$ (όπου E_t η παραγωγή ενέργειας και D_t η αντίστοιχη ζήτηση). Η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να απορροφηθεί από τη μονάδα, υπόκειται σε δύο περιορισμούς, ήτοι τη μέγιστη ισχύ, P_{max} (που σε όρους ενέργειας γράφεται $E_{max} = P_{max} \Delta t$, όπου Δt το χρονικό βήμα των υπολογισμών), και την υπολειπόμενη χωρητικότητα, $S_{max} - S_{t-1}$. Με βάση τα παραπάνω, η ενέργεια που αποθηκεύεται κατά τη διαδικασία φόρτισης υπολογίζεται ως:

$$E_{c,t} = \min(\eta_c \Delta E_t, \eta_c E_{max}, S_{max} - S_{t-1})$$

Τονίζεται ότι ο περιορισμός της υπολειπόμενης χωρητικότητας αφορά στην καθαρή ενέργεια που δύναται να αποθηκευτεί, δεδομένου ότι κατά την φόρτιση ένα μέρος της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από το δίκτυο χάνεται σε απώλειες. Η διαδικασία μετατροπής εκφράζεται

μέσω του βαθμού απόδοσης της φόρτισης, η_c . Στο πέρας του χρονικού βήματος, η ενέργεια φόρτισης $E_{c,t}$ προστίθεται στη μονάδα αποθήκευσης, συνεπώς $S_t = S_{t-1} + E_{c,t}$, ενώ η ποσότητα $E_{c,t}/\eta_c$ αφαιρείται από το δίκτυο, και ο όρος της περίσσειας αναθεωρείται σε $\Delta E_t = E_t - D_t - E_{c,t}/\eta_c$.

Κατ' αντιστοιχία, η εκφόρτιση της μονάδας πραγματοποιείται στα ελλειμματικά χρονικά βήματα, με $\Delta E_t = E_t - D_t < 0$. Η αποθηκευμένη ενέργεια που μπορεί να εκφορτιστεί επίσης υπόκειται σε δύο περιορισμούς, ήτοι την ποσότητα E_{max} , και την τρέχουσα αποθήκευση, S_t . Με βάση τα παραπάνω, η ενέργεια που παραλαμβάνεται από τη μονάδα αποθήκευσης ισούται με:

$$E_{d,t} = \min (|\Delta E_t|/\eta_d, E_{max}/\eta_d, S_t)$$

ενώ η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που επιστρέφει στο δίκτυο κατά τη διαδικασία εκφόρτισης, ήτοι μετά την αφαίρεση των αντίστοιχων απωλειών, είναι ίση με $\eta_d E_{d,t}$. Στο πέρας του χρονικού βήματος, η ενέργεια εκφόρτισης $E_{d,t}$ αφαιρείται από τη μονάδα αποθήκευσης, συνεπώς $S_t = S_{t-1} - E_{d,t}$, ενώ η ποσότητα $\eta_d E_{d,t}$ εισάγεται στο δίκτυο, και ο όρος του ελλείμματος αναθεωρείται σε $\Delta E_t = E_t + \eta_d E_{d,t} - D_t$.

Η αναλυτική κατάρτιση του ενεργειακού ισοζυγίου για την εξεταζόμενη διάταξη, τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο μονάδα αποθήκευσης, δίνεται στον **Πίνακα 4**, ενώ στην **Εικόνα 2** φαίνεται η εξέλιξη της αποθηκευμένης ενέργειας από την αρχή της 1^{ης} ώρας έως το πέρας της 24^{ης} (25 τιμές).

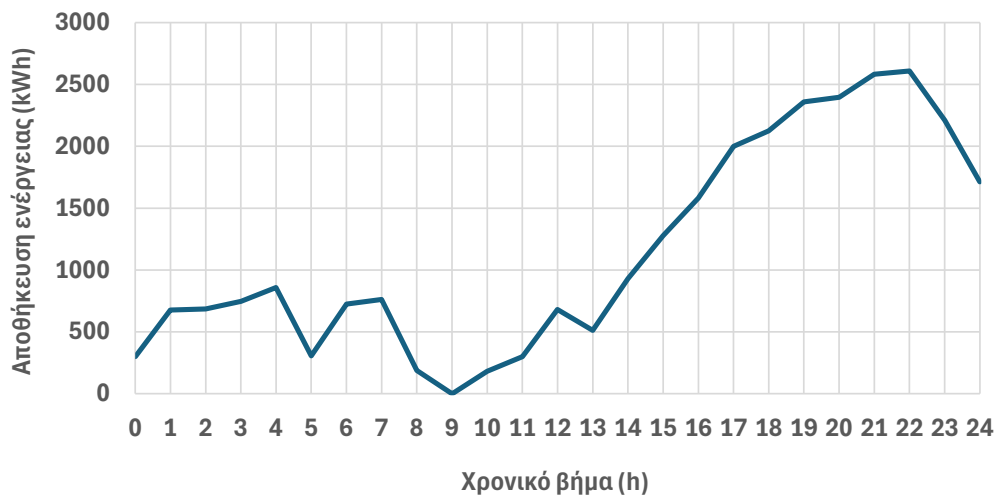
Στο 1^ο χρονικό βήμα, το τρέχον βάθος φόρτισης (αποθήκευση) ανέρχεται σε 300 kWh, ενώ διατίθεται περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας $\Delta E_t = 450$ kWh. Για τη δεδομένη ισχύ της μονάδας ($P_{max} = 500$ kW, που για $\Delta t = 1$ h αντιστοιχεί σε $E_{max} = 500$ kWh), η ενέργεια αυτή *δύναται να καταναλωθεί* στο σύνολό της κατά τη διαδικασία μετατροπής. Η ενέργεια που απομένει μετά την αφαίρεση των απωλειών υπολογίζεται σε $0.837 \times 450 = 376$ kWh, η οποία *δύναται να αποθηκευτεί* στο σύνολό της, καθώς υπάρχει επάρκεια χωρητικότητας ($3000 - 300 = 2700$ kWh). Η ηλεκτρική ενέργεια που τελικά καταναλώνεται κατά τη φόρτιση είναι ίση με $376/0.837 = 450$ kWh, οπότε δεν προκύπτει η ανάγκη απόρριψης φορτίου. Αντίθετα, στο 6^ο χρονικό βήμα, η περίσσεια της παραγόμενης ενέργειας από τις ΑΠΕ ανέρχεται σε 666 kWh, επειδή όμως δεν δύνανται να καταναλωθούν πάνω από 500 kWh (που αντιστοιχούν σε καθαρή φόρτιση $0.837 \times 500 = 418$ kWh), προκύπτει μια απομένουσα ηλεκτρική ενέργεια ίση με $666 - 500 = 166$ kWh, που αναγκαστικά απορρίπτεται.

Όσον αφορά στην εκφόρτιση, στη διάταξη που εξετάζεται αυτή λαμβάνει για πρώτη φορά χώρα στο 5^ο χρονικό βήμα, κατά το οποίο το έλλειμα ενέργειας (διαφορά παραγωγής από ΑΠΕ και ζήτησης) έχει υπολογιστεί σε 463 kWh, ενώ η τρέχουσα αποθηκευτικότητα ανέρχεται σε 859 kWh. Για να δοθούν στο δίκτυο 463 kWh (το οποίο είναι υλοποιήσιμο, καθώς υπολείπεται του ορίου των 500 kWh), θα πρέπει να εκφορτιστούν από τη μονάδα αποθήκευσης $463/0.837 = 554$ kWh. Η ποσότητα αυτή είναι διαθέσιμη, και θα αφαιρεθεί από την τρέχουσα αποθήκευση ενέργειας, που στο πέρας του χρονικού βήματος θα μειωθεί σε $859 - 554 = 305$ kWh. Γενικά, το στο εξεταζόμενο 24ωρο καλύπτονται όλα τα ελλείμματα, με εξαίρεση το 9^ο βήμα, κατά το οποίο ζητούνται 311 kWh από το δίκτυο, που αντιστοιχούν σε εκφόρτιση $311/0.837 = 372$ kWh, όμως στη μονάδα αποθήκευσης διατίθενται μόνο 189 kWh. Από την εκφόρτιση αυτών, επιστρέφουν τελικά στο δίκτυο $0.837 \times 189 = 158$ kWh.

Συναθροίζοντας τα μεγέθη του ωριαίου ενεργειακού ισοζυγίου του **Πίνακα 4** στην ημερήσια κλίμακα, προκύπτει ότι από την διαθέσιμη περίσσεια ενέργειας (5 394 kWh) απορροφώνται τα 4 533 kWh, ήτοι ποσοστό 84%, ενώ το υπόλοιπο 16% (861 kWh) τελικά απορρίπτεται. Αυτό συμβαίνει την 6^η, 14^η και 17^η ώρα, και οφείλεται στον περιορισμό ισχύος της μονάδας αποθήκευσης (καταναλώνονται 500 kWh, που αντιστοιχούν σε φόρτιση 418 kWh). Όσον αφορά στα ελλείμματα, στην ημερήσια κλίμακα καλύπτονται σχεδόν στο σύνολό τους (1 191 kWh έναντι 2 143 kWh, ποσοστό 93%), με εξαίρεση την 9^η ώρα, που λόγω περιορισμένης αποθήκευσης παραμένει μια μικρή ποσότητα ζήτησης ίση με 153 kWh που δεν μπορεί να καλυφθεί ούτε από τις ΑΠΕ ούτε από τη μονάδα αποθήκευσης.

Πίνακας 4: Ενεργειακό ισοζύγιο διάταξης 3 (kWh). Για εξοικονόμηση χώρου, δεν απεικονίζονται η ζήτηση και παραγωγή από τις ΑΠΕ (βλ. Πίνακα 1).

Ωρα	Αρχικό έλλειμμα	Αρχική περίσσεια	Αρχική αποθήκευση	Εισροή από το δίκτυο	Φόρτιση	Εκφόρτιση	Τελική αποθήκευση	Εκροή στο δίκτυο	Τελικό έλλειμμα	Απόρριψη φορτίου
1	0	450	300	450	376	0	676	0	0	0
2	0	11	676	11	9	0	685	0	0	0
3	0	72	685	72	60	0	746	0	0	0
4	0	136	746	136	114	0	859	0	0	0
5	463	0	859	0	0	554	305	463	0	0
6	0	666	305	500	418	0	724	0	0	166
7	0	46	724	46	39	0	762	0	0	0
8	480	0	762	0	0	573	189	480	0	0
9	311	0	189	0	0	189	0	158	153	0
10	0	216	0	216	181	0	181	0	0	0
11	0	143	181	143	120	0	301	0	0	0
12	0	454	301	454	380	0	680	0	0	0
13	141	0	680	0	0	169	512	141	0	0
14	0	720	512	500	418	0	930	0	0	220
15	0	415	930	415	347	0	1277	0	0	0
16	0	363	1277	363	304	0	1581	0	0	0
17	0	975	1581	500	418	0	1999	0	0	475
18	0	150	1999	150	125	0	2125	0	0	0
19	0	280	2125	280	234	0	2359	0	0	0
20	0	44	2359	44	37	0	2396	0	0	0
21	0	223	2396	223	187	0	2582	0	0	0
22	0	30	2582	30	25	0	2607	0	0	0
23	333	0	2607	0	0	398	2209	333	0	0
24	415	0	2209	0	0	496	1713	415	0	0
Σύνολο	2 143	5 394	-	4 533	3 792	2 379	-	1 991	153	861



Εικόνα 2: Αποθήκευση ενέργειας στο πέρας κάθε χρονικού βήματος για τη διάταξη 3.

Διάταξη 4: Πλήρες υβριδικό σύστημα

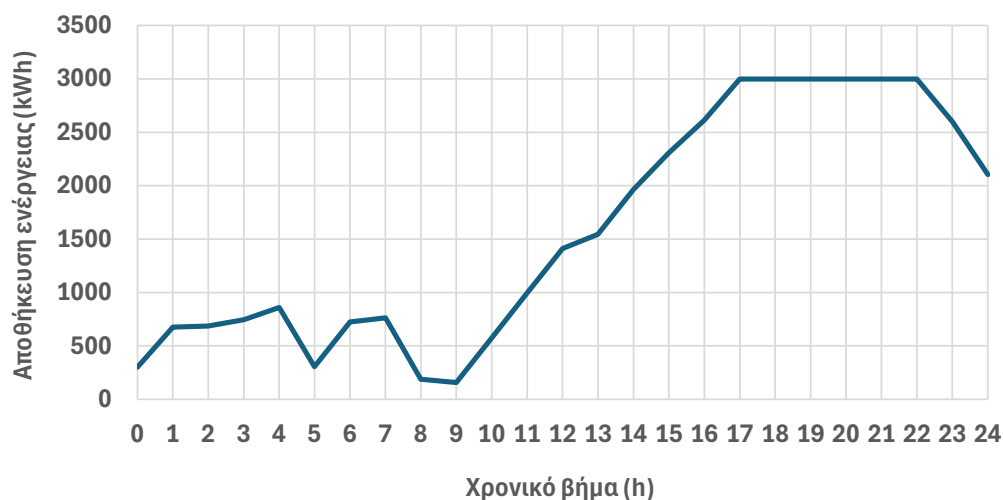
Η διάταξη που περιλαμβάνει τη μονάδα αποθήκευσης δεν κατορθώνει να εξισορροπήσει πλήρως το ενεργειακό ισοζύγιο που βασίζεται αποκλειστικά στις ΑΠΕ, καθώς προκύπτει ένα μικρό έλλειμμα την 9^η ώρα, ενώ γίνονται και κάποιες περιορισμένες απορρίψεις φορτίου. Η κάλυψη του ελλείμματος θα γίνει από τη θερμική μονάδα, που καλείται ωστόσο να λειτουργήσει σύμφωνα με το θερμικό της προφίλ, άρα να ενεργοποιηθεί από την 6^η έως την 8^η ώρα με μηδενική παραγωγή, και στη συνέχεια να παράξει 500 kWh για διάστημα έξι ωρών (**Πίνακας 5**). Συνεπώς, η θερμική μονάδα θα υποχρεωθεί σε ημερήσια παραγωγή 3 000 kWh, προκειμένου να καλύψει το ένα και μοναδικό ωριαίο έλλειμμα των 153 kWh, το οποίο προκύπτει την 9^η ώρα.

Την ώρα εκείνη, παράγονται 770 kWh από τις ΑΠΕ και άλλες 500 kWh από τη θερμική μονάδα (η οποία, αναγκαστικά, λειτουργεί στη μέγιστη ισχύ της), προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση των 1081 kWh. Η περίσσεια που προκύπτει ανέρχεται σε $1081 - (770 + 500) = 189$ kWh, που μπορούν να καταναλωθούν στο σύνολό τους, καθώς υπάρχει επαρκής χώρος στη μονάδα αποθήκευσης. Ωστόσο, εξαιτίας της υπερβάλλουσας παραγωγής από τη θερμική μονάδα, στο πέρας της 17^{ης} ώρας η μονάδα αποθήκευσης φτάνει στη μέγιστη χωρητικότητά της, και συνεπώς δεν δύναται να απορροφήσει άλλη περίσσεια ενέργειας, οδηγώντας έτσι σε συνεχείς απορρίψεις φορτίου από την 17^η ως την 22^η ώρα. Απορρίψεις φορτίου γίνονται και σε προηγούμενα βήματα, που δεν οφείλονται σε εξάντληση της χωρητικότητας της μονάδας αποθήκευσης, αλλά σε εξάντληση της διαθέσιμης ισχύος της. Στην 24ωρη κλίμακα, το συνολικό φορτίο που απορρίπτεται ανέρχεται σε 2 490 kWh.

Στην **Εικόνα 3** φαίνεται η εξέλιξη της αποθηκευμένης ενέργειας από την αρχή της 1^{ης} ώρας έως το πέρας της 24^{ης}, που είναι αρκετά διαφορετική σε σχέση με την προηγούμενη διάταξη, καθώς η εισαγωγή της θερμικής μονάδας οδηγεί σε μεγαλύτερες και εντατικότερες φορτίσεις.

Ένα πιο αποτελεσματικό σύστημα παραγωγής και διαχείρισης της ενέργειας προϋποθέτει κατάτμηση της συνολικής ισχύος της εφεδρικής μονάδας, και κατάλληλο προγραμματισμό των επιμέρους υπομονάδων, σε επιχειρησιακό επίπεδο. Πρόκειται για ένα σύνθετο πρόβλημα βελτιστοποίησης της κατανομής της παραγόμενης και αποθηκευμένης ενέργειας, που στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως *unit commitment problem*.

Στον **Πίνακα 6** γίνεται σύγκριση των βασικών συνιστωσών του ενεργειακού ισοζυγίου κάθε διάταξης.



Εικόνα 3: Αποθήκευση ενέργειας στο πέρας κάθε χρονικού βήματος για τη διάταξη 4 (μεταξύ της 9^{ης} και 14^{ης} ώρας η θερμική μονάδα λειτουργεί σε πλήρη ισχύ).

Πίνακας 5: Ενεργειακό ισοζύγιο διάταξης 4 (kWh). Για εξοικονόμηση χώρου, δεν απεικονίζονται η ζήτηση και παραγωγή από τις ΑΠΕ (βλ. Πίνακα 1).

Ωρα	Αρχικό έλλειμμα	Αρχική αποθήκευση	Εκφόρτιση	Εκροή στο δίκτυο	Νέο έλλειμμα	Παραγωγή θερμικής μονάδας	Αρχική περίσσεια	Φόρτιση	Εισροή από το δίκτυο	Τελική αποθήκευση	Απόρριψη φορτίου
1	0	300	0	0	0	-	450	376	450	676	0
2	0	676	0	0	0	-	11	9	11	685	0
3	0	685	0	0	0	-	72	60	72	746	0
4	0	746	0	0	0	-	136	114	136	859	0
5	463	859	554	463	0	-	0	0	0	305	0
6	0	305	0	0	0	0	666	418	500	724	166
7	0	724	0	0	0	0	46	39	46	762	0
8	480	762	573	480	0	0	0	0	0	189	0
9	311	189	189	158	153	500	189	158	189	158	0
10	0	158	0	0	0	500	716	418	500	577	216
11	0	577	0	0	0	500	643	418	500	995	143
12	0	995	0	0	0	500	954	418	500	1413	454
13	141	1413	169	141	0	500	359	300	359	1545	0
14	0	1545	0	0	0	500	1220	418	500	1963	720
15	0	1963	0	0	0	0	415	347	415	2310	0
16	0	2310	0	0	0	0	363	304	363	2614	0
17	0	2614	0	0	0	0	975	386	462	3000	514
18	0	3000	0	0	0	0	150	0	0	3000	150
19	0	3000	0	0	0	0	280	0	0	3000	280
20	0	3000	0	0	0	0	44	0	0	3000	44
21	0	3000	0	0	0	-	223	0	0	3000	223
22	0	3000	0	0	0	-	30	0	0	3000	30
23	333	3000	398	333	0	-	0	0	0	2602	0
24	415	2602	496	415	0	-	0	0	0	2106	0
Σύνολο	2 143	-	2 379	1 991	153	3 000	7 942	4 185	5 002	-	2 940

Πίνακας 6: Σύγκριση βασικών μεγεθών ενεργειακού ισοζυγίου των τεσσάρων διατάξεων (kWh).

	Διάταξη 1	Διάταξη 2	Διάταξη 3	Διάταξη 4
Ζήτηση ενέργειας	10 956	10 956	10 956	10 956
Παραγωγή από ΑΠΕ	14 206	14 206	14 206	14 206
Παραγωγή θερμικής μονάδας	-	5 500	-	3 000
Παραγωγή μονάδας αποθήκευσης	-	-	1 991	1 991
Ελλείμματα ζήτησης	2 143	0	153	0
Απορρίψεις φορτίου	5 394	8 750	861	2 940