

Τεχνοοικονομική Ανάλυση Σκοπιμότητας για την Εγκατάσταση Συστήματος Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας EC POWER XRGI® 20 σε Θερμοκήπιο

Στο παρόν κείμενο παρουσιάζεται συνοπτικά τεχνοοικονομική ανάλυση με την οποία εκτιμάται το αναμενόμενο οικονομικό όφελος από την εγκατάσταση Συστήματος Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘΥΑ) EC POWER XRGI® 20 σε θερμοκήπιο με ενδεικτική έκταση καλλιεργήσιμου εδάφους 2000 m². Η ανάλυση βασίζεται στον υπολογισμό των μηνιαίων απαιτήσεων θερμικής ενέργειας, μέρος των οποίων θα καλύπτεται από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ, ενώ το υπόλοιπο μέρος θα καλύπτεται από το υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης. Τόσο η μονάδα XRGI® 20, όσο και το υφιστάμενο σύστημα θεωρείται ότι λειτουργούν με φυσικό αέριο (ή εναλλακτικά με υγραέριο). Στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη τα γεωγραφικά και κλιματολογικά δεδομένα, τα κατασκευαστικά δεδομένα του θερμοκηπίου καθώς και οι επιθυμητές συνθήκες ανάπτυξης τις καλλιέργειας κατά τη διάρκεια τις ημέρας και τις νύχτας. Θεωρείται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είτε καταναλώνεται στις γενικότερες εγκαταστάσεις του θερμοκηπίου, είτε μπορεί να αξιοποιηθεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας τιμολογούμενη με το σύστημα εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού (virtual net metering).

Κλιματολογικά δεδομένα περιοχής εγκατάστασης

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα κλιματολογικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς. Τα αριθμητικά αυτά δεδομένα αντλούνται από βάσεις καταγραφής μετρήσεων αγρομετεωρολογικών σταθμών και εξαρτώνται από την τοποθεσία του θερμοκηπίου. Στον πίνακα έχουμε τις τιμές για τα ακόλουθα μεγέθη:

T_{min} (°C): Μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος,

T_{max} (°C): Μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος,

$T_{o,day}$ (°C): Μέση μηνιαία θερμοκρασία ημέρας εξωτερικού περιβάλλοντος,

Ηλιοφάνεια D_s (h): Μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας σε ώρες,

Ταχύτητα Ανέμου u_{10} (m/s): Ταχύτητα ανέμου σε ύψος 10 μέτρων από το έδαφος,

Σχετική υγρασία (%).

Το γεωγραφικό πλάτος της εγκατάστασης της παρούσας Τεχνο-Οικονομικής μελέτης λαμβάνεται ίσο με 38.45° και αντιστοιχεί στη γεωγραφική περιοχή της Θήβας στη Βοιωτία. Βάσει αυτού και των ανωτέρω κλιματολογικών δεδομένων υπολογίζεται η μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας $T_{o,night}$, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2, καθώς και οι μέσες διάρκειες της ημέρας (DL) και της νύχτας (NL) ανά μήνα σε ώρες.

Πίνακας 1: Κλιματολογικά δεδομένα.

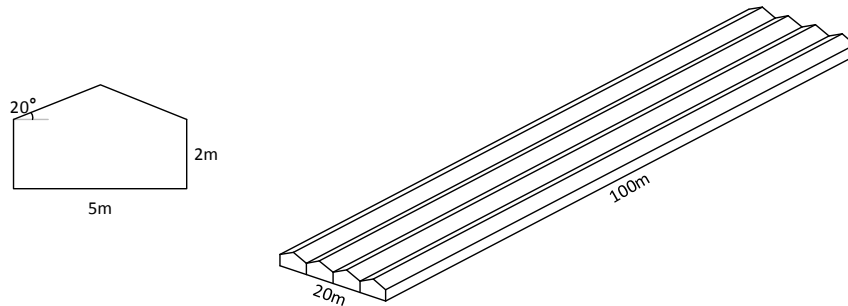
Μήνας	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{o,day} (°C)	Ηλιοφάνεια D _s (h)	Ταχύτητα Ανέμου u ₁₀ (m/s)	Σχετική υγρασία (%)
Ιαν	3.3	10	8.4	95.9	2.45	72
Φεβ	4.5	11.6	9.6	108.5	2.53	71
Μαρ	7.8	16.4	12	158.5	2.95	68
Απρ	8.8	18.8	16.7	212	2.02	62
Μαι	12.9	25.1	22.2	286.1	2.61	58
Ιουν	19.2	32.2	27.2	317.1	2.03	52
Ιουλ	19.8	33.4	28.7	337.1	1.95	48
Αυγ	21.2	33.2	27.9	379.1	2	49
Σεπ	17.2	28.9	24.4	246.3	1.8	56
Οκτ	14.2	25.2	18.5	170.8	1.47	66
Νοε	11.8	20.1	13.5	127.7	1.83	73
Δεκ	6.3	12.9	9.9	96.6	1.28	73

Πίνακας 2: Διάρκεια ημέρας και νύχτας και μέση θερμοκρασία νυκτός.

Μήνας	DL (h)	NL (h)	T _{o,night} (°C)
Ιαν	9.64	14.36	5.95
Φεβ	10.60	13.40	7.15
Μαρ	11.74	12.26	10.78
Απρ	13.01	10.99	11.97
Μαι	14.09	9.91	16.46
Ιουν	14.64	9.36	22.82
Ιουλ	14.39	9.61	23.67
Αυγ	13.46	10.54	24.88
Σεπ	12.23	11.77	21.12
Οκτ	10.97	13.03	18.21
Νοε	9.90	14.10	15.04
Δεκ	9.37	14.63	8.96

Κατασκευαστικά στοιχεία του θερμοκηπίου

Θεωρείται ότι το θερμοκήπιο είναι αμφικλινούς τύπου και ότι η επιφάνεια κάλυψης αποτελείται από απλά φύλλα πολυαιθυλενίου. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου και στον Πίνακα 3 τα κατασκευαστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς.



Εικόνα 1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου.

Πίνακας 3: Κατασκευαστικά στοιχεία θερμοκηπίου.

Έκταση καλλιέργειας (A_g) (m^2)	2000
Επιφάνεια καλύμματος (A_c) (m^2)	2600
Όγκος θερμοκηπίου (m^3)	4900
Επιφάνεια καλύμματος οροφής (A_{roof}) (m^2)	2130
Ποσοστό διέλευσης φωτεινής ακτινοβολίας (%)	89
Ποσοστό μετατροπής φωτεινής ακτινοβολίας (%)	85

Υπολογισμός απαιτήσεων θερμικής ενέργειας

Οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας για τη θέρμανση του θερμοκηπίου εξαρτώνται από τις επιθυμητές συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας. Αυτές διαφοροποιούνται σε απαιτήσεις ημέρας και απαιτήσεις νυκτός και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Επιθυμητές συνθήκες καλλιέργειας (Ενδεικτική Καλλιέργεια: Ντομάτα)

Επιθυμητή Θερμοκρασία Νυκτός ($^{\circ}C$)	15
Σχετική Υγρασία Νυκτός (%)	80
Επιθυμητή Θερμοκρασία Ημέρας ($^{\circ}C$)	22
Σχετική Υγρασία Ημέρας (%)	90

Κατά τη διάρκεια της νύκτας, οι απώλειες θερμότητας που πρέπει να αναπληρωθούν από το σύστημα θέρμανσης αποτελούνται από τις συνιστώσες των απωλειών ακτινοβολίας R_N προς το εξωτερικό περιβάλλον, των απωλειών συναγωγής αισθητής θερμότητας με τον εξωτερικό αέρα Q_{cc} , των απωλειών λόγω ανανέωσης του αέρα Q_v και των απωλειών δια μέσου του εδάφους Q_s . Η κάθε μία από αυτές παρουσιάζεται στον Πίνακα 5, εκφρασμένη σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο καλλιεργήσιμης επιφάνειας.

Οι αρνητικές τιμές που υπολογίζονται σε κάποιες καταχωρήσεις υποδηλώνουν ότι στις συγκεκριμένες συνθήκες, η σχετικές συνιστώσες δεν αφαιρούν θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου, αλλά αντιθέτως συνεισφέρουν στη θέρμανσή του. Για τον υπολογισμό της κάθε συνιστώσας, εκτός από την μέση θερμοκρασία $T_{o,night}$, υπολογίζονται και λαμβάνονται υπόψιν τα ακόλουθα μεγέθη:

R_N : διάρκεια ημέρας, θερμοκρασία ουρανού, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία καλύμματος,

Q_{cc} : ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία καλύμματος,

Q_v : ρυθμός ανανεώσεων αέρα, ψυχομετρικές συνθήκες εξωτερικού αέρα.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται επίσης η απαιτούμενη θερμότητα για την αναπλήρωση των απωλειών (σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο καλλιεργήσιμης επιφάνειας) Q_H , η οποία και μηδενίζεται όταν το σύνολο όλων των συνιστωσών απωλειών είναι αρνητικό.

Πίνακας 5: Απώλειες κατά τη διάρκεια της νύχτας σε $Watt/m^2$ και απαίτηση θέρμανσης.

Μήνας	R_N	Q_{cc}	Q_v	Q_s	Q_H
Ιαν	65.499	47.2792	29.846	7.5077	150.132
Φεβ	65.252	41.2400	27.466	7.0515	141.009
Μαρ	60.833	22.7688	19.905	5.4486	108.956
Απρ	64.613	15.3106	14.526	4.9718	99.421
Μαι	60.817	-7.7088	4.528	3.0339	60.670
Ιουν	45.959	-39.5856	-12.372	-0.3158	0
Ιουλ	45.212	-43.5673	-12.368	-0.5644	0
Αυγ	52.012	-49.8455	-17.071	-0.7846	0
Σεπ	46.600	-30.3481	-8.582	0.4037	8.073
Οκτ	43.390	-15.4110	-4.001	1.2622	25.239
Νοε	49.241	-0.1951	2.278	2.7017	54.026
Δεκ	60.850	28.3396	15.371	5.5040	110.064

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, πέραν των προαναφερθεισών απωλειών, στο εσωτερικό του θερμοκηπίου υφίσταται επιπλέον η απώλεια λανθάνουσας θερμότητας λόγω της διαπνοής των φυτών Q_L , και η οποία εξαρτάται από τις ψυχομετρικές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση αφορά στην άμεση πρόσληψη θερμότητας Q_R από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία εξαρτάται από την μέση διάρκεια ημέρας και τη γεωγραφική τοποθεσία και η οποία στην μεγαλύτερη διάρκεια του έτους εκμηδενίζει την ανάγκη για θέρμανση του θερμοκηπίου με σύστημα θέρμανσης με χρήση καυσίμου. Οι απώλειες και η απαίτηση θέρμανσης κατά τη διάρκεια της ημέρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Απώλειες κατά τη διάρκεια της ημέρας σε Watt/m² και απαίτηση θέρμανσης.

Μήνας	R _N	Q _{cc}	Q _v	Q _s	Q _L	Q _R	Q _H
Ιαν	77.504	71.083	51.906	12.029	28.026	-135.452	105.096
Φεβ	77.085	65.176	49.774	11.551	27.398	-173.741	57.242
Μαρ	74.482	53.990	47.975	10.745	27.684	-225.063	0
Απρ	71.723	26.790	27.194	7.557	17.845	-286.190	0
Μαι	63.973	-1.057	13.710	4.691	12.496	-336.374	0
Ιουν	52.892	-26.307	-1.948	1.539	4.595	-361.208	0
Ιουλ	50.149	-33.663	-4.206	0.869	4.233	-369.300	0
Αυγ	63.383	-29.772	-2.144	1.931	5.211	-404.992	0
Σεπ	57.533	-11.896	5.084	3.052	7.264	-302.192	0
Οκτ	64.658	16.778	16.962	5.786	11.520	-216.239	0
Νοε	73.838	42.248	30.868	8.673	17.800	-163.896	9.531
Δεκ	80.554	56.751	33.862	9.988	18.575	-129.116	70.615

Από τους ανωτέρω υπολογισμούς, υπολογίζονται πλέον οι συνολικές μηνιαίες απαιτήσεις θέρμανσης, οι ώρες λειτουργίας του συστήματος XRGI® 20 ανά 24ωρο και η αποδιδόμενη θερμική και ηλεκτρική ισχύς από αυτό, καθώς και οι αποδιδόμενη θερμότητα από το υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης. Τα μεγέθη αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Μηνιαίες απαιτήσεις θέρμανσης και αποδιδόμενη ενέργεια από την σύστημα XRGI®20.

Μήνας	Συνολική μηνιαία απαίτηση θερμικής ενέργειας (kWh)	Ώρες λειτουργίας XRGI® 20 ανά 24ωρο	Μηνιαία αποδιδόμενη θερμική ενέργεια XRGI® 20 (kWh)	Μηνιαία αποδιδόμενη θερμική ενέργεια από υφιστάμενο σύστημα (kWh)	Αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια XRGI® 20 (kWh)
Ιαν	196467	24.00	28793	167674	14880
Φεβ	139807	24.00	26006	113801	13440
Μαρ	82794	12.26	14704	68090	7599
Απρ	65566	10.99	12761	52805	6595
Μαι	37277	9.91	11889	25388	6144
Ιουν	0	0	0	0	0
Ιουλ	0	0	0	0	0
Αυγ	0	0	0	0	0
Σεπ	5699	4.91	5699	0	2945
Οκτ	20388	13.03	15631	4757	8078
Νοε	51380	18.98	22034	29345	11387
Δεκ	140865	24.00	28793	112072	14880

Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του συστήματος XRGI® υπολογίζεται σε 4297 ώρες ανά έτος. Επισημαίνεται ότι σε πλήρες φορτίο, η μονάδα XRGI® 20 αποδίδει 38.7 kW θερμικής και 20 kW ηλεκτρικής ισχύος, ενώ καταναλώνει 67.89 kW θερμικής ισχύος καυσίμου κατά ΑΘΔ.

Υπολογισμός οικονομικού οφέλους

Για τον υπολογισμό του οικονομικού οφέλους από την εγκατάσταση του συστήματος XRGI®20, θεωρείται ότι το υφιστάμενο σύστημα λειτουργεί με φυσικό αέριο με κόστος αγοράς ενέργειας αερίου 0.055€/kWh κατά ΑΘΔ καυσίμου και έχει βαθμό απόδοσης 90%. Το κόστος αγοράς ενέργειας φυσικού αερίου για χρήση σε συστήματα ΣΗΘ θεωρείται ίσο με 0.045€/kWh κατά ΑΘΔ καυσίμου (επιδοτούμενη τιμή συμπαραγωγής), ενώ το μέσο κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας τίθεται ίσο με 0.12€/kWh. Στον Πίνακα 8 παρουσιάζεται το μηνιαίο κόστος για τη θέρμανση του θερμοκηπίου και στις δύο περιπτώσεις (χωρίς χρήση συστήματος ΣΗΘΥΑ και με χρήση συστήματος συμπαραγωγής XRGI® 20) καθώς και η εξοικονόμηση που προκύπτει από την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής.

Πίνακας 8: Μηνιαία κόστη θέρμανσης και εξοικονόμηση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Μήνας	Κόστος καυσίμου προϋπάρχοντος συστήματος χωρίς XRGI® 20 (€)	Κόστος καυσίμου προϋπάρχοντος συστήματος με XRGI® 20 (€)	Κόστος καυσίμου συστήματος XRGI® 20 (€)	Κέρδος από τη χρήση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (€)
Ιαν	13340	11385	2273	1786
Φεβ	9493	7727	2053	1613
Μαρ	5622	4623	1161	912
Απρ	4452	3586	1007	791
Μαι	2531	1724	939	737
Ιουν	0	0	0	0
Ιουλ	0	0	0	0
Αυγ	0	0	0	0
Σεπ	387	0	450	353
Οκτ	1384	323	1234	969
Νοε	3489	1993	1739	1366
Δεκ	9565	7610	2273	1786
ΣΥΝΟΛΟ	50263	38971	13129	10314

Από τον παραπάνω πίνακα, φαίνεται ότι το συνολικό ετήσιο όφελος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ ανέρχεται στα 10314 € ανά έτος. Το επιπλέον ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμου στην περίπτωση εγκατάστασης συστήματος XRGI® 20 είναι 1836 €. Συνεπώς το **συνολικό ετήσιο κέρδος** για ένα θερμοκήπιο καλλιεργούμενης έκτασης 2000 m2 (με ενδεικτική καλλιέργεια: Ντομάτα) από την εγκατάσταση του συστήματος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας (ΣΗΘΥΑ) της EC POWER Δανίας (Μοντέλο XRGI® 20) υπολογίζεται στα **8478 € ανά έτος**.