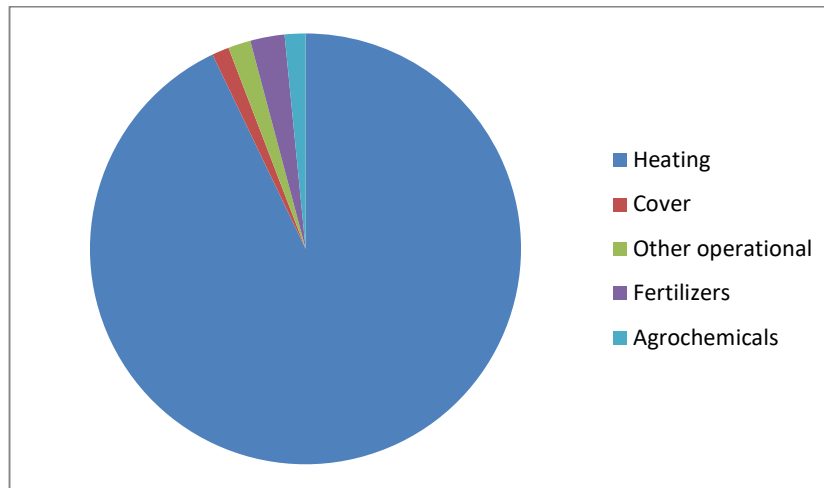


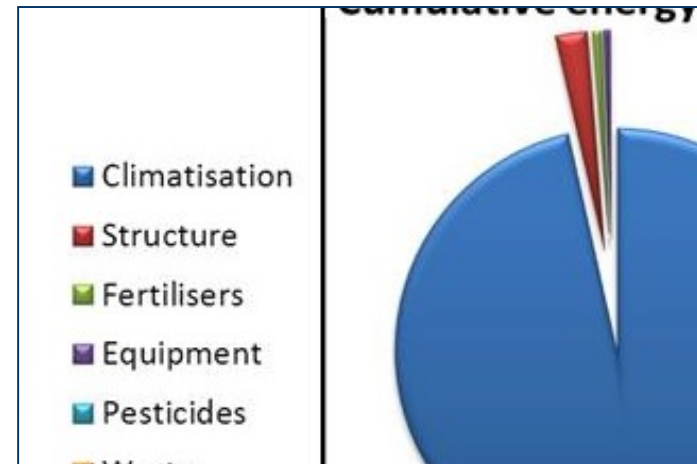
Θέρμανση - Εξοπλισμός



Κατανομή κατανάλωσης ενέργειας στο θερμοκήπιο



ΕΛΛΑΔΑ



ΟΛΛΑΝΔΙΑ

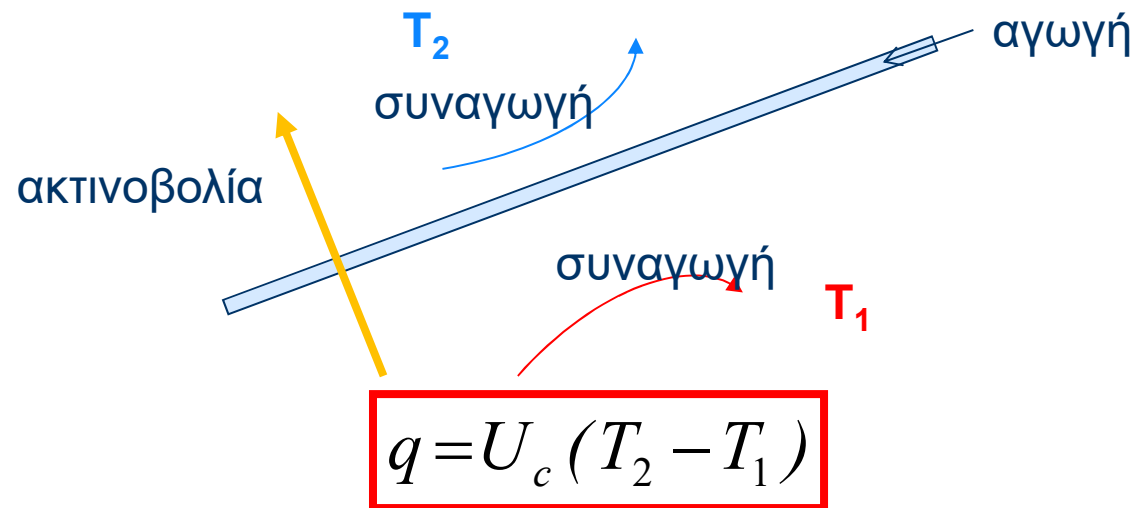
Η θέρμανση είναι βασική κατανάλωση ενέργειας στο θερμοκήπιο

Ενδεικτικές μέσες καταναλώσεις ενέργειας σε θερμοκήπια στην Ελλάδα

Τυπική κατανάλωση ενέργειας σε θερμοκήπιο με πλαστικό κάλυμμα όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό έχει ρυθμιστεί στους 18°C

Τοποθεσία	Κατανάλωση ενέργειας (MJ m ⁻²)
Ηράκλειο	600
Αττική	780
Θεσσαλονίκη	1220

Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας

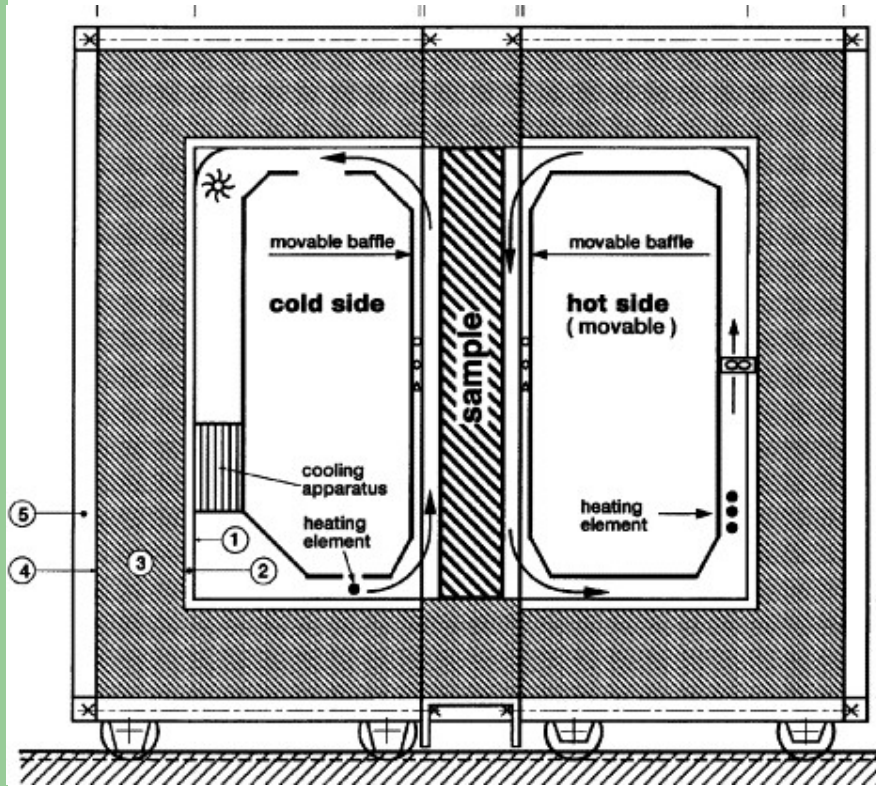


q : ροή θερμότητας ($W m^{-2}$)

T : θερμοκρασία (K)

U_c : συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($W m^{-2} K^{-1}$)

Μέθοδος μέτρησης του συντελεστή μεταφοράς U



Μέθοδος μέτρησης συντελεστή U_c



Πειραματική εγκατάσταση μέτρησης συντελεστή U_c

Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας υλικών

Property Profile	Value	Test Method
Panel width ctc Standard length	1042.4 ± 2.0mm ≤6 meter -0+20 mm >6 meter -0+30 mm	
Panel thickness	38mm ±0.8 mm	
Weight	4.7 kg/m ² ±5%	
Hail impact	diam 20 mm V≥ 21m/sec	TNO Test
Temperature resistance	-40 up to +100°C	UL 746 B
U-Value	1.245 W/m ² K	ISO10077 (EN673)
Coefficient of linear thermal expansion	7 x 10 ⁻⁵ 1/°C	DIN 53752

ISO 10077-1: Thermal performance of windows, doors and shutters -- Calculation of thermal transmittance

Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας θερμοκηπίου

$$Q = U A (T_{in} - T_{out})$$

Q : ρυθμός κατανάλωσης θερμότητας (W)

A : επιφάνεια καλύμματος (m²)

T_{in} : θερμοκρασία θερμοκηπίου (C)

T_{out} : θερμοκρασία περιβάλλοντος (C)

U : συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών (W m⁻² K⁻¹)

Χαρακτηριστικές τιμές συνολικού συντελεστή θερμικών απωλειών

Τυπικές τιμές συνολικού συντελεστή θερμικών απωλειών σε διάφορα θερμοκήπια

Τύπος καλύμματος	U ($W m^{-2} \text{ }^{\circ}C$)
Υαλόφρακτο 6mm	6-7.5
Απλό φύλο πολυαιθυλενίου	7.5-8.5
Διπλό φύλο πολυαιθυλενίου	4.0-5.0
Διπλό πολυκαρβονικό σκληρό πλαστικό	3.5

Χαρακτηριστικές τιμές συνολικού συντελεστή θερμικών απωλειών

Table 1. Comparison of glazing material properties

Material	% light transmission	U-value ¹	% thermal transmission ²	Life expectancy (years)
Glass				
Single	88–93	1.1	3	25+
Double	75–80	0.7	< 3	25+
Acrylic				
Single	90	1.13	< 5	30+
Double	84	0.49–0.56	< 3	30+
Polycarbonate				
Single	90	1.1	< 3	10–15
Double (6–10 mm thick)	78–82	0.53–0.63	< 3	10–20
Triple (8–16 mm thick)	74–76	0.42–0.53	< 3	10–20
Polyethylene film				
Single	87	1.2	50	3–4
Double	78	0.7	50	3–4
Double, with IR	78	0.5	< 20	3–4

U (Btu ft⁻² F⁻¹ h⁻¹)

• **1Btu = 1055 Joule**

• **1ft = 0.3048 m**

• **°C = (F – 32) / 1.8**

Φυσικά φαινόμενα που έχουν σχέση με τη θέρμανση

1.Συναγωγή

2.Αγωγή

3.Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

1. ΤΟΠΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. Θερμάστρες
2. Θέρμανση με ακτινοβολία
3. Αερόθερμα

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

1. Συστήματα θερμού αέρα
2. Συστήματα θερμού νερού
3. Συστήματα ατμού

Αερόθερμα τοπικά



Οροφής

Τροχήλατο εδάφους



Τα τοπικά αερόθερμα χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό ή καύσιμο (αέριο, πετρέλαιο)

Αερόθερμα κεντρικά



Αερόθερμο οροφής



Πλαστικός σωλήνας διανομής θερμού αέρα. Οι οπές είναι πλάγια κάτω

Τα κεντρικά αερόθερμα επίσης χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό ή καύσιμο (αέριο, πετρέλαιο)

Αερόθερμα κεντρικά



Αερόθερμο δαπέδου



Πλαστικός σωλήνας διανομής θερμού αέρα τοποθετημένος στο δάπεδο. Οι οπές είναι πλάγια

Συστήματα θέρμανσης νερού ή ατμού

1. Λεβητοστάσιο

1. Καυστήρας
2. Λέβητας

2. Σωληνώσεις

1. Σωληνώσεις δαπέδου
2. Σωληνώσεις στα πλευρικά τοιχώματα
3. Σωληνώσεις κοντά στην οροφή
4. Άλλες διατάξεις σωληνώσεων

Λεβητοστάσιο



Λεβητοστάσιο θερμοκηπίου



Χαρακτηριστικά λέβητα και καυστήρα

Χαρακτηριστικά	Τιμές
Ονομαστική θερμική ισχύς	kW (170 W m ⁻²)
Τύπος καυσίμου	Πετρέλαιο, αέριο, ή βιομάζα
Πίεση λειτουργίας	3-4 bar
Μέγιστη ηλεκτρική κατανάλωση	kW

Σωληνώσεις διανομής ζεστού νερού



Επιδαπέδιες σωληνώσεις θέρμανσης μεταλλικές ή πλαστικές. Μερικές φορές προσφέρονται και για άλλες λειτουργίες εκτός της θέρμανσης

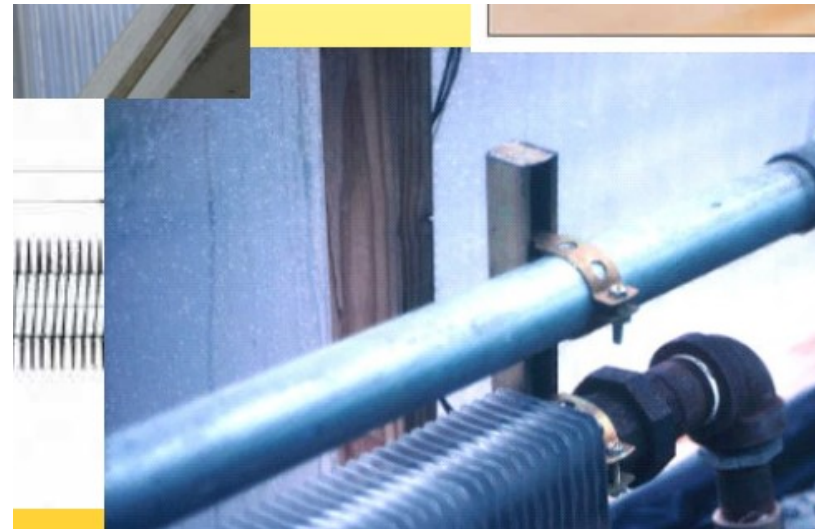
Σωληνώσεις με εναλλάκτες



Οι σωληνώσεις έχουν μορφή που διευκολύνει την ανταλλαγή θερμότητας με συναγωγή



Όσο αυξάνεται η επιφάνεια επαφής σωληνώσεων και αέρα βελτιώνεται η απόδοση του συστήματος



Σωληνώσεις στα πλευρικά τοιχώματα



Οι σωληνώσεις των πλευρικών τοιχωμάτων χρησιμοποιούνται συχνά και για τη μεταφορά του ζεστού νερού από το καυστήρα
Λειτουργούν ως φράγμα απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον

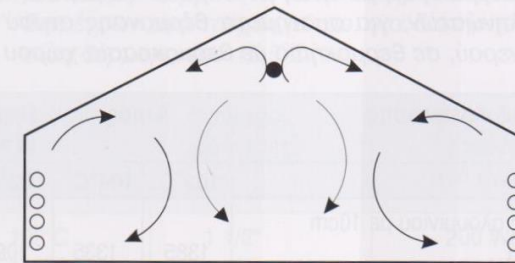
Σωληνώσεις οροφής



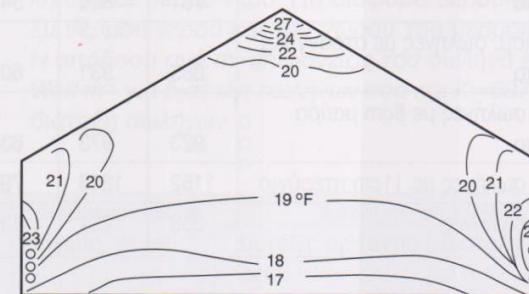
Εικόνα 48

Διακρίνονται οι σωλήνες θέρμανσης στην οροφή του θερμοκηπίου

Οι σωληνώσεις οροφής θερμαίνουν τα φυτά με ακτινοβολία



Κυκλοφορία του αέρα σε θερμοκήπιο θερμαινόμενο με σωλήνες θερμού νερού κατά μήκος των πλευρών και με συμπληρωματικούς σωλήνες στο επάνω μέρος του κέντρου



Κατανομή της θερμοκρασίας σε θερμοκήπιο με σωλήνες θέρμανσης στην περιφέρεια

Διάγραμμα 101

Μετακινούμενες σωληνώσεις εντός του όγκου των φυτών



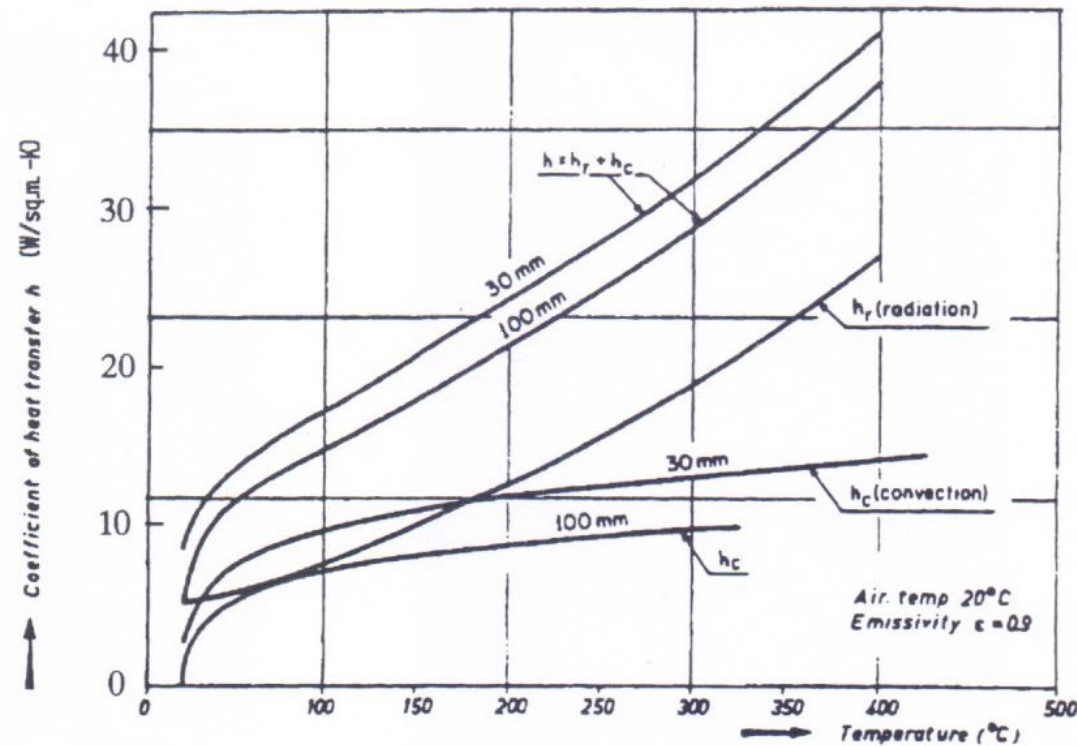
Μετακινούμενες σωληνώσεις χρησιμοποιούνται συνήθως στα καλλωπιστικά. Στα κηπευτικά χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά με τους επιδαπέδιους σωλήνες

Μεταφοράς θερμότητας μέσω σωληνώσεων

Table 4-11. Heat transfer (watts per linear meter) for various temperature differences between pipe and greenhouse air [van de Braak, 1995].

Temperature difference (C)	Steel pipe diameter (mm)			Plastic tube diameter (mm)
	51	33.2	26.4	25
20	34	23	18	14
30	55	38	31	24
10	15	10	8	6
40	77	53	44	35
50	101	71	58	46
60	128	90	73	--
70	156	108	90	--
80	185	129	107	--

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας των σωλήνων εξαρτάται από τη θερμοκρασία

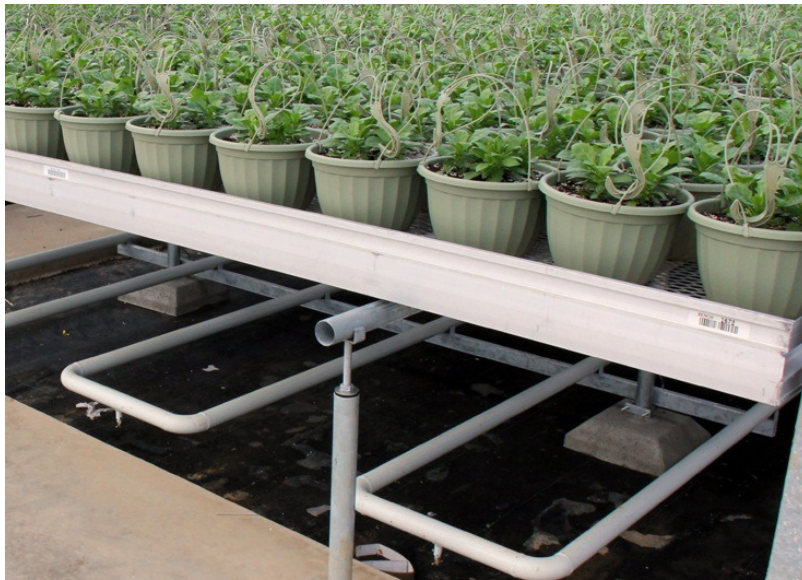


$$q = \sigma \epsilon A (T_w^4 - T^4)$$

$$q = h A (T_w - T)$$

Fig. 4-40. Effect of pipe temperature on convective (h_c) and radiative (h_r) heat transfer coefficients of steel pipe (30 and 100 mm diameter) [Businger, 1966].

Θέρμανση θερμοκηπίου με γλάστρες

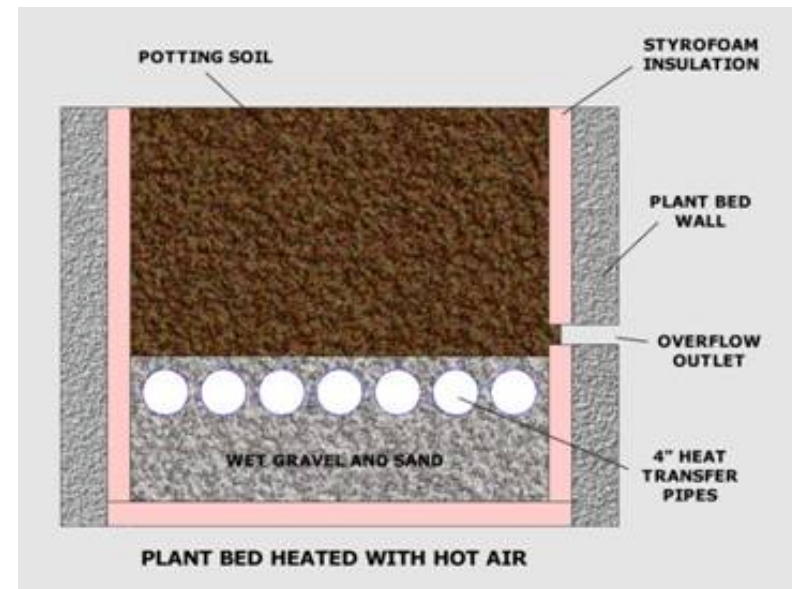


Οι σωλήνες ζεστού νερού
βρίσκονται κάτω από τα τραπέζια
ή τις σχάρες



Θέρμανση του εδάφους

Σωλήνες ζεστού νερού πάνω ή μέσα στο χώμα



Θέρμανση εδάφους με ζεστό αέρα

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα τοπικών συστημάτων θέρμανσης

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μεγαλύτερη ευελιξία	Μεγαλύτερο κόστος
Γρήγορη ανταπόκριση σε μεταβολές των εξωτερικών συνθηκών	Παραγωγή καυσαερίων εντός του θερμοκηπίου
	Μεγάλος συνολικός όγκος που δυσκολεύει άλλες λειτουργίες του θερμοκηπίου
	Ταχεία απώλεια θερμότητας σε περίπτωση βλάβης

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα κεντρικών συστημάτων θέρμανσης με αέρα

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Γρήγορη ανταπόκριση σε μεταβολές των εξωτερικών συνθηκών	Μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρισμού επειδή η δυναμική μείξη του εσωτερικού αέρα είναι απαραίτητη
Δυναμική μείξη του εσωτερικού αέρα και ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας	Δε προσφέρεται θέρμανση με ακτινοβολία που για αρκετά φυτά είναι απαραίτητη
	Η κίνηση του εσωτερικού αέρα πρέπει να ελέγχεται για να μη καταπονεί τα φυτά

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα κεντρικών συστημάτων θέρμανσης με νερό

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού αυξάνει τη θερμική αδράνεια του συστήματος	Απαιτείται προσεκτικός προγραμματισμός της θέρμανσης επειδή η αδράνεια του συστήματος είναι μεγάλη
Συνδυάζεται ευκολότερα με πολλές πηγές ενέργειας και καύσιμα	Μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης σωληνώσεων
Θερμαίνει το έδαφος και τις ρίζες των φυτών	
Ο εσωτερικός αέρας θερμαίνεται με ελεύθερη συναγωγή	

ΚΑΥΣΙΜΑ

1. Πετρέλαιο (40 MJ/kg)

2. Φυσικό αέριο (35 MJ/m³)

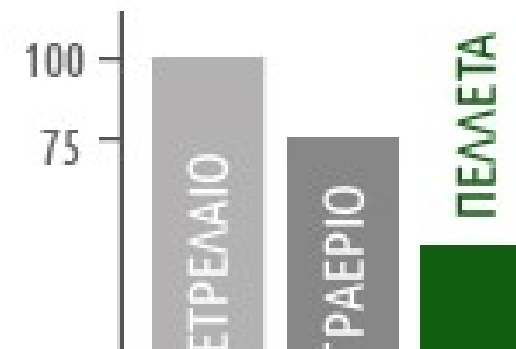
3. Βιομάζα - pellets (18-20 MJ/kg) Τα υπολείμματα επεξεργασίας φυτικών προϊόντων είναι ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας (πυρηνόξυλο, κουκούτσια)

Η βιομάζα ως καύσιμο



Καυστήρας βιομάζας

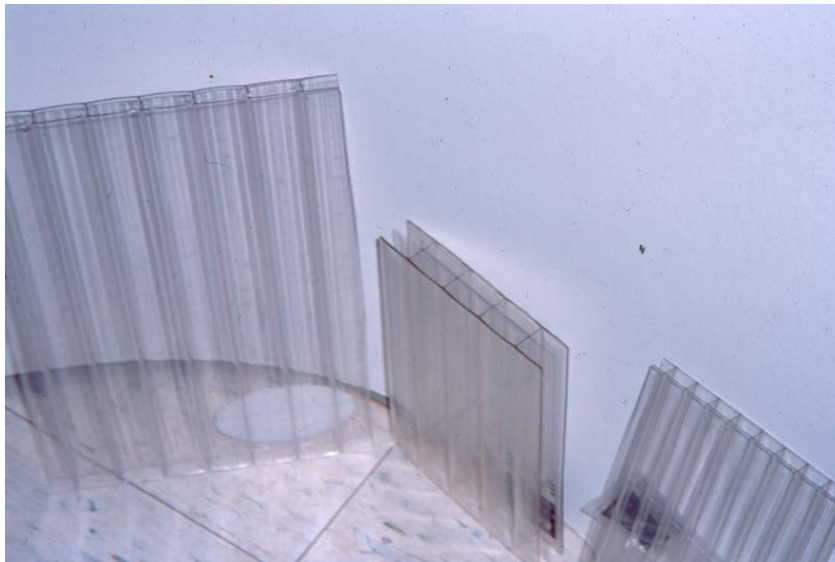
ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΒΕΛΩΝΙΑΝΣΙ



Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας

- Μόνωση – μείωση των απωλειών λόγω αγωγής
- Θερμοκουρτίνες – μείωση των απωλειών λόγω ακτινοβολίας
- Προστασία από τον άνεμο - μείωση των απωλειών λόγω συναγωγής
- Συστήματα αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας
- Χρήση γεωθερμίας

Μονωτικά υλικά



$$q = \lambda A \frac{T_2 - T_1}{d}$$

Θερμική αγωγιμότητα αέρα
(1 bar) $0.026 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Θερμοκήπια με διπλό φουσκωτό κάλυμμα



Αντλίες αέρα με πιεσοστάτη διατηρούν σταθερή τη πίεση μεταξύ των δύο φύλλων

Η μικρή θερμική αγωγιμότητα του αέρα εμποδίζει τις απώλειες



Θερμοκουρτίνες



Οι θερμοκουρτίνες έχουν μεγάλη ανακλαστικότητα σε όλα τα μήκη κύματος. Έτσι ανακλούν τη θερμική ακτινοβολία στα φυτά



Οι θερμοκουρτίνες εμποδίζουν τη κίνηση του θερμού αέρα προς το κάλυμμα και μειώνουν τις απώλειες λόγω συναγωγής

Συστήματα αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας

Το νερό και κάποια πετρώματα έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα



Θερμικό σύστημα συλλογής ηλιακής ενέργειας σε νερό. Το ζεστό νερό αποθηκεύεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

Σύστημα αποθήκευσης θερμότητας σε πέτρες



Συστήματα αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας



Μαύρα δοχεία που περιέχουν νερό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα αποθήκευσης θερμότητας

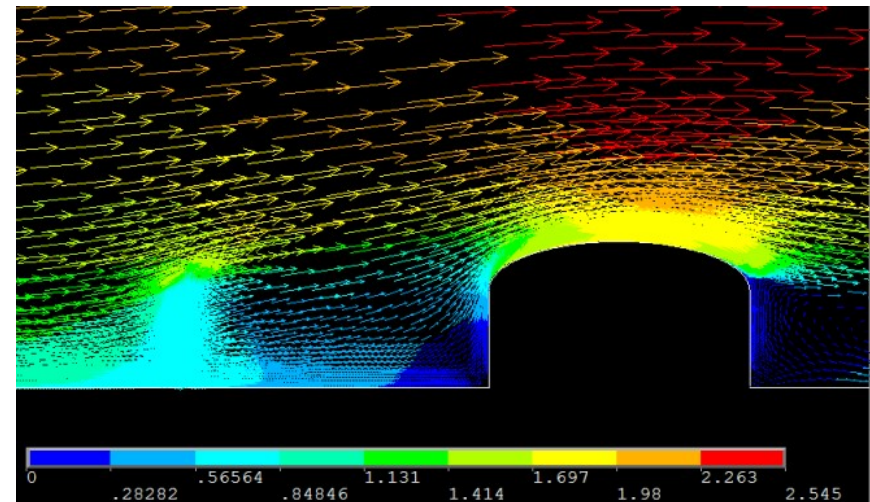
Ανεμοθραύστες



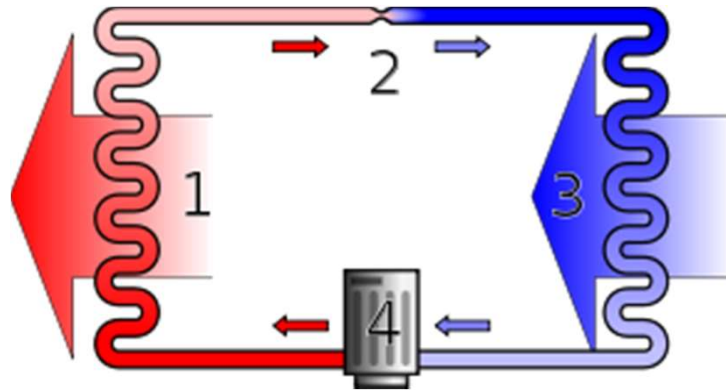
Ανεμοθραύστες χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τα φορτία ανέμου στα θερμοκήπια

Η εξοικονόμηση ενέργειας λόγω του ανεμοθραύστη μπορεί να ξεπεράσει το 25%

Οι ανεμοθραύστες μειώνουν τις απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής αφού μειώνουν τη ταχύτητα του αέρα γύρω από το θερμοκήπιο.



Αντλίες θερμότητας



Η αντλία θερμότητας θερμαίνει μεταφέροντας θερμότητα από ένα ψυχρό χώρο σε ένα θερμότερο. Συνεπώς έχει απόδοση μεγαλύτερη από 1

Ο συντελεστής απόδοσης η μεγαλώνει όσο η διαφορά θερμοκρασίας $T_{hot} - T_{cold}$ μικραίνει

https://www.youtube.com/watch?v=TLow7N_kdQ0



$$\eta \leq \frac{T_{hot}}{T_{hot} - T_{cold}}$$

Ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας

Θέρμανση εδάφους με πυκνές σωληνώσεις μέτριας θερμοκρασίας 35-40°C



Το σύστημα αυτό προσφέρει ήπια ομοιόμορφη θέρμανση και συνδυάζεται με αντλία θερμότητας

Γεωθερμία



Μεγάλου μήκους σωληνώσεις τοποθετούνται στη γεωθερμική πηγή δημιουργώντας εναλλάκτη

Η γεωθερμία συνδυάζεται με αντλίες θερμότητας αυξάνοντας την απόδοσή τους

ΣΥΝΟΨΗ: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και θερμοκήπιο

1. Ηλιακή ενέργεια (ηλιακοί συλλέκτες – αποθήκες θερμότητας)
2. Γεωθερμία (απ' ευθείας χρήση ή μέσω αντλίας θερμότητας)
3. Βιομάζα – βιοάεριο
4. Απόβλητη ενέργεια βιομηχανίας
5. Ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ΑΠΕ (αιολική, υδατοπτώσεις)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Η θέρμανση είναι η πιο απαιτητική λειτουργία στο θερμοκήπια ως προς το κόστος εγκατάστασης και τη κατανάλωση ενέργειας
2. Υπάρχει μεγάλο εύρος τεχνολογικών λύσεων που ικανοποιούν τις τοπικές συνθήκες και τις προσωπικές προτιμήσεις του καλλιεργητή
3. Η τεχνολογία θέρμανσης των θερμοκηπίων εξελίσσεται συνεχώς και είναι απαραίτητη η συνεχής συστηματική ενημέρωση
4. Τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία τριάντα χρόνια αλλά λίγες από αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως
5. Ο βέλτιστος σχεδιασμός του θερμοκηπίου είναι δυνατόν να μειώσει ή και να μηδενίσει τις ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου