Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

5ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

Ενέργεια από βιομάζα

Νίκος Μαμάσης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ακαδημαϊκό έτος 2025-26

Εισαγωγή

Βιομάζα είναι η ύλη που έχει βιολογική προέλευση.

Πρακτικά, στον όρο εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο.

Οι φυτικές ύλες που προέρχονται από φυσικά οικοσυστήματα αυτοφυή φυτά και δάση

Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής,

π.χ. άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.

Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών

π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας)

π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.

Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Εισαγωγή

Βιοενέργεια είναι η δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας, αποτέλεσμα φωτοσύνθεσης

$$H_2O + CO_2 + \text{ανόργανα} \xrightarrow{\text{ηλιακή ενέργεια}} \text{βιομάζα} + O_2$$

- Η βιοενέργεια παράγεται σε κύκλο.
- Αέναη χρήση φυσικών ενεργειακών ροών που μιμείται τους οικολογικούς κύκλους.
  - Ο άνθρακας προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα και επιστρέφει σε αυτήν
  - Οι θρεπτικές ουσίες λαμβάνονται από το έδαφος και επιστρέφουν σε αυτό
  - Τα υπολείμματα ενός σταδίου συνιστούν τις εισροές του επόμενου σταδίου.

- **1 τόνος ξηρής ουσίας βιομάζας ισοδυναμεί με 0,4 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ)**
- **1 ποτιστικό στρέμμα παράγει 3-4 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 1-1,6 ΤΙΠ.**
- **1 ξηρικό στρέμμα παράγει 2-3 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 0,7-1,2 ΤΙΠ.**

Πλεονεκτήματα

- Δεν συνεισφέρει στην παραγωγή CO_2 αφού οι παραγόμενες κατά την καύση ποσότητες CO_2 δεσμεύονται εκ νέου μέσω της φωτοσύνθεσης.
- Δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με SO_2 γιατί η βιομάζα δεν περιέχει θείο.
- Μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα
- Εξασφάλιση θέσεων εργασίας και συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών

Μειονεκτήματα

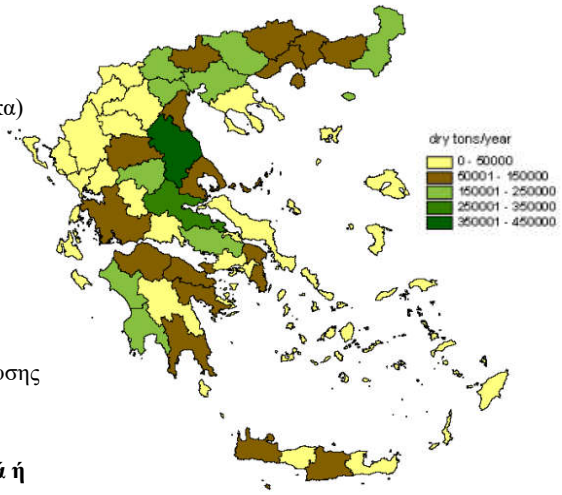
- Μεγάλος όγκος και υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας
- Δυσκολία συλλογής, μεταφοράς, αποθήκευσης, έναντι συμβατικών καυσίμων
- Υψηλό κόστος αξιοποίησης (δαπανηρές εγκαταστάσεις και εξοπλισμός)
- Χωρική διασπορά και εποχιακή παραγωγή
- Για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα συνεργάζονται δύο διαφορετικού χαρακτήρα συστήματα:
  - ένα σύστημα τροφοδοσίας που παράγει, συλλέγει και παραδίδει το καύσιμο
  - και ένας σταθμός που παράγει και διαθέτει τον ηλεκτρισμό.

Πρώτες ύλες

Άμεσα διαθέσιμη βιομάζα στην Ελλάδα

- **Υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών (7.500.000 t/year)**
  - Πυρηνόξυλο
  - Εκκοκκιστήρια βάμβακος
  - Πυρήνες φρούτων (ροδάκινα, βερίκοκα)
  - Άχυρο
  - Ρυζοφλοιοί
  - Στελέχη & σπάδικες καλαμποκιού
  - Κλαδοδέματα οπωροφόρων, ελιάς κι αμπελιού
- **Δασικά υπολείμματα υλοτομίας (2.700.000 t/year)**
  - Θρυμματισμένο ξύλο δασικής προέλευσης
  - Υπολείμματα από διαχείριση δασικών οικοσυστημάτων (κορυφές, φλοιοί,)
- **Ενεργειακές καλλιέργειες για στερεά ή υγρά βιοκαύσιμα.**
- **Βιοαποδομήσιμο κλάσμα αστικών απορριμμάτων (ζυμώσιμα και χαρτί)**

Θεωρητικό δυναμικό γεωργικών υπολειμμάτων στην Ελλάδα ανά νομό



Πηγή: cres.gr

Πρώτες ύλες

Δυναμικό Βιομάζας από στερεά υπολείμματα στην Ελλάδα το 2015

	tn	GJ	GJ/tn	tn/toe	Mtoe
Σημειακές πηγές	459 548	7 247 710	15.8	2.66	0.17
Αροτραίες καλλιέργειες	1 854 167	33 065 178	17.8	2.36	0.79
Θερμοκηπιακά	94 447	906 694	9.6	4.37	0.02
Δενδρώδεις καλλιέργειες	1 090 483	18 932 614	17.4	2.42	0.45
Άμπελοι	231 495	4 386 839	19.0	2.22	0.10
Δάση	821 124	15 994 400	19.5	2.16	0.38
Σύνολο	**4 551 266**	**80 533 436**	**17.7**	**2.37**	**1.92**

Πηγή: ΚΑΠΕ-CRES, 2015
https://geodata.gov.gr/dataset/dunamiko-biomazas-apo-sterea-upoleimmata

Πρώτες ύλες

Ενεργειακές καλλιέργειες

Φυτείες που καλλιεργούνται ειδικά για τη χρήση τους ως καύσιμα:

Ταχεία ανάπτυξη

Ανθεκτικές στην ξηρασία και τα παράσιτα

Εύκολη συγκομιδή

Ανταγωνιστικές τιμές

Περιλαμβάνουν δένδρα, θάμνους και πόες:

Υβρίδια λεύκας, ιτιά, αρούντο, ευκάλυπτος, ψευδοακακία

Καλάμι, αγριαγκινάρα, σακχαρούχο σόργο, μίσχανθος, ελαιοκράμβη

Περίοδος μεταξύ συγκομιδών για ξυλώδεις καλλιέργειες 3-10 έτη.

Ελαιοκράμβη

Ηλίανθος

Αγριαγκινάρα

Καλάμι

Πρώτες ύλες

Ενεργειακές καλλιέργειες

Καλλιέργειες	Παραγωγή ξηρής ουσίας (tn/στρέμμα)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Συλλογή
Αγριαγκινάρα	1 - 2	18	Ιούλιο-Αύγουστο
Καλάμι	2 - 3	18,6	Ιανουάριο-Φεβρουάριο
Μίσχανθος	1 - 2	17,3	Δεκέμβριο-Φεβρουάριο
Ευκάλυπτος	1,8 - 3,2	19	Όλο το έτος
Switchgrass	1,4 - 2,5	17,4	Νοέμβριο-Φεβρουάριο
Κενάφ	0,7 - 2	17	Οκτώβριο-Δεκέμβριο
Σόργο	1 - 3	17,2	Οκτώβριο

Κενάφ

Μίσχανθος

Σόργο

Πρώτες ύλες

Απόβλητα

Υπολείμματα από τη βιομηχανία τροφίμων

- Φλοιοί και υπολείμματα φρούτων και λαχανικών
- Τρόφιμα που δεν ανταποκρίνονται στα πρότυπα ποιότητας
- Πολτός από ίνες από την εξαγωγή ζάχαρης και αμύλου
- Υγρά απόβλητα από το πλύσιμο κρέατος και λαχανικών, τη λεύκανση των φρούτων και λαχανικών, το προ-μαγείρεμα. Είναι κατάλληλα για παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης ή ζύμωση για παραγωγή αλκοόλης

Ζωικά απόβλητα

- Κοπριές από χοιρινά, κοτόπουλα και βοοειδή (σε εκτροφεία). Στο παρελθόν διασκορπίζονταν στους αγρούς σαν λίπασμα.Σήμερα η διάθεση τους αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα
- Δυνατότητα αξιοποίησης μέσω της αναερόβιας χώνευσης για παραγωγή βιοαερίου

Αστικά λύματα

•Η ιλύς από την επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί καλό συστατικό για παραγωγή βιοαερίου

Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

- Σύσταση ΑΣΑ: 40-60% Υπολείμματα τροφίμων, 15-20% Χαρτί , 7-15% Πλαστικό, 4-10% Μέταλλα, 4-10% Αδρανή
- Μετατροπή σε ενέργεια με άμεση καύση ή με αναερόβια χώνευση . Θερμογόνος δύναμη 8-12 GJ/τόνο
- Φυσική παραγωγή βιοαερίου σε ΧΥΤΑ. Αξιοποίηση σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή αεριοστροβίλους

Πρώτες ύλες

Χαρακτηριστικά

Καλλιέργειες	Μέρος Φυτού	Υγρασία μετά την συγκομιδή (%)	Παραγωγή ξηράς ουσίας (kg/στρέμμα)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Περίοδος Συλλογής
Σιτάρι	Άχυρο	10	217	18,5	Ιούνιος-Αύγουστος
Κριθάρι	Άχυρο	10	120	18,2	Ιούνιος-Αύγουστος
Καλαμπόκι	Στέλεχος	14,7	1010	18	Σεπτέμβριος-Νοέμβριος
Βρώμη	Άχυρο	8,5	355	18	Ιούνιος-Αύγουστος
Σίκαλη	Άχυρο	8	200	18,3	Ιούνιος-Αύγουστος
Βαμβάκι	Στέλεχος	40	350	18	Σεπτέμβριος-Οκτώβριος
	Υπολείμματα εκκοκκισμού	15	100	17,5	Σεπτέμβριος-Οκτώβριος

Καλλιέργειες	Μέρος Φυτού	Υγρασία μετά την συγκομιδή (%)	Παραγωγή ξηράς ουσίας (kg/στρέμμα)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Περίοδος Συλλογής
Ελιές	Κλαδέματα	43	37,2	19	Δεκέμβριος-Μάρτιος
	Πυρήνας	48	120	19,7	Νοέμβριος-Φεβρουάριος
Ροδακινιές	Κλαδέματα	41	52,1	18,8	Δεκέμβριος-Μάρτιος
	Πυρήνας	20	180	19,3	Μάιος-Σεπτέμβριος
Αμπέλια	Κλαδέματα	39	32,1	18,7	Ιανουάριος-Φεβρουάριος
Βερικοκιές	Κλαδέματα	38	53,2	17,8	Δεκέμβριος-Μάρτιος
Αχλαδιές	Κλαδέματα	39	48,7	18,7	Ιανουάριος-Μάρτιος
Αμυγδαλιές	Κελύφη	20	220	19,1	Αύγουστος-Σεπτέμβριος

Πρώτες ύλες

Χαρακτηριστικά

Καύσιμο	Υγρασία (%)	Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	Τέφρα (%)
Ξύλο	15	4,3	0 – 1,5
Χαρτί	6	4,1	6
Φλοιός βαμβακόσπορων	9	4,1	12
Φλοιός ξηρών καρπών	11-24	3,7-5,1	1 – 4
Άχυρο	8	4,0	2
Ορυζοφλοιός	9	3,4	18 – 20
Εκκοκκιστηρίο βάμβακα	13	4,1	16

Πηγή: Α. Ζαμπανιώτου. «Μικρές κινούμενες μονάδες αεριοποίησης για πράσινη ενέργεια και επιχειρηματικότητα», 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας , Καρδίτσα 21 /11/2010

Βιομάζα	Πυκνότητα (kg/m3)	Υγρασία (%)	Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	Τιμή πώλησης (€/t)
Πυρηνόξυλο	650	20	5,28	42-60
Κουκούτσια ροδάκινου	540	5	5,67	50
Θρυμματισμένο ξύλο	175-200	25	4,22	30
Pellets	650	<10	4,72	150-170
Άχυρόμπαλα	100	15	4,0	50

Πηγή: Παπαμιχαήλ Ι. ΚΑΠΕ «Διαθεσιμότητα βιομάζας για υποψήφια έργα» Συνάντηση εργασίας του προγράμματος BIOSOLESCO, Αθήνα 2-2-2010

Πρώτες ύλες

Η διαδικασία παραγωγής σύμπηκτων

- Τα σύμπηκτα (pellets) είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια συμπιεσμένης βιομάζας (από διάφορες καλλιέργειες, πχ δασική βιομάζα, υπολείμματα βιομηχανίας ξύλου πχ πριονίδια κτλ) διαφόρων μεγεθών (διαμέτρου 3-25 mm και μήκους 5-40 mm).
- Απόδοση:
  - 0,30 kg pellets/kg κλαδέματος
  - 1 τόνος pellets = 0,43 ΤΙΠ
- Η παραγωγή των πελλετών (pellets) γίνεται σε αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας με την ακόλουθη διαδικασία:

  Θρυμματισμός → Άλεση → Ξήρανση → Πελλετοποίηση → Ψύξη → Συσκευασία
- Η βιομηχανία παραγωγής καυστήρων πελλέτας έχει κάνει μεγάλα τεχνολογικά άλματα με αποτέλεσμα οι καυστήρες πελλέτας που κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα να έχουν πολύ μεγάλη απόδοση, **παρόμοια πλέον με την απόδοση των καυστήρων πετρελαίου (80-85%)**.

Ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας

Μετατροπή βιομάζας σε ενέργεια

- Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμες μορφές ενέργειας με διαφορετικές διαδικασίες.
- Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε δύο κύρια προϊόντα :
  - (α) ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρισμού και θερμότητας και
  - (β) καύσιμα μεταφοράς ή για αυτόνομη χρήση
- Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τη χρήση τριών κατηγοριών διαδικασιών:
  - Θερμοχημικές διαδικασίες
  - Βιοχημικές/Βιολογικές διαδικασίες
  - Μηχανικές (με εστεροποίηση) για παραγωγή βιοντήζελ (rapeseed methyl ester – RME)
- Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας, κατά σειρά σημαντικότητας, είναι:
  - Η επιθυμητή μορφή ενέργειας, πχ ηλεκτρισμός, καύσιμο
  - Ο τύπος και η ποσότητα της διαθέσιμης βιομάζας
  - Περιβαλλοντικοί περιορισμοί
  - Οικονομικές παράμετροι
  - Οι ειδικότερες συνθήκες της περιοχής

Θερμοχημικές διεργασίες

Αεριοποίηση

- Αεριοποίηση είναι η μετατροπή της βιομάζας σε μίγμα εύφλεκτων αερίων από τη μερική οξείδωση της οργανικής ύλης παρουσία ατμού σε υψηλές θερμοκρασίες, στην περιοχή 800-900 ˚C.
- Η βιομάζα προσφέρεται για αεριοποίηση λόγω του υψηλού περιεχομένου σε πτητικά συστατικά (70-86% σε ξηρή βάση).
- Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης που είναι μίγμα υδρογόνου (H), μεθανίου (CH4) και μονοξειδίου (CO), καθώς και μικρών ποσοτήτων διοξειδίου και υδρογονανθράκων, έχει χαμηλή θερμαντική δύναμη (4-6 MJ/Nm3)
- Ακαθαρσίες (αλκάλια, SO2 και τέφρα) μπορούν να απομακρυνθούν από συστήματα καθαρισμού, αφήνοντας ένα καθαρό καύσιμο αέριο με ενεργειακό περιεχόμενο περίπου το 20-25% του φυσικού αερίου.
- Το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο για να τροφοδοτήσει αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ενέργειας.
- Εναλλακτικά το αέριο (syngas) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη στην παραγωγή υγρών καυσίμων για τη μεταφορά, πχ μεθανόλη και υδρογόνο.

Καύση

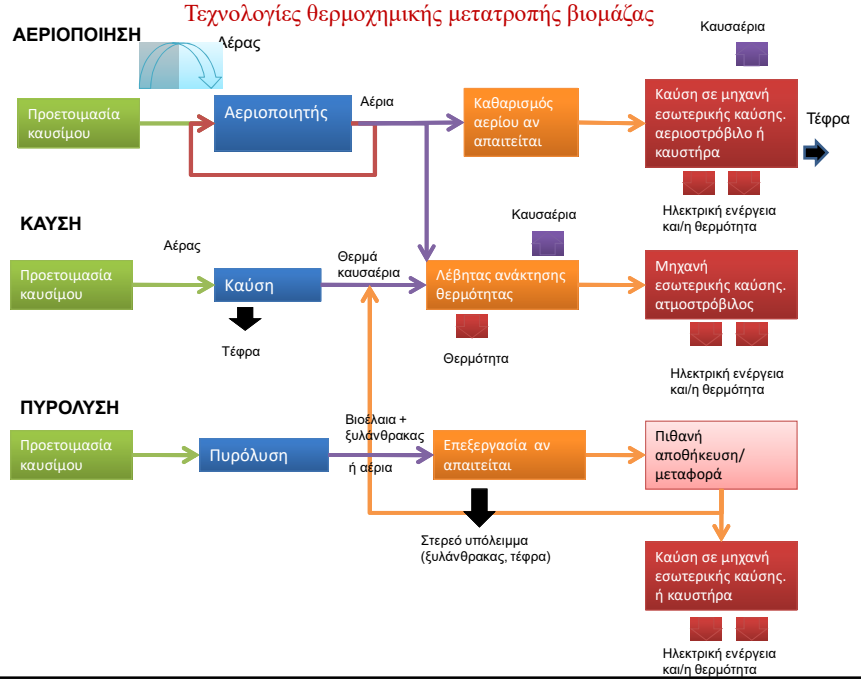
- Η καύση της βιομάζας γίνεται σε μεγάλη ποικιλία εξοπλισμού, από απλά τζάκια, σόμπες, μέχρι εξελιγμένους ειδικής διαμόρφωσης καυστήρες σταθερής και ρευστοποιημένης κλίνης και λέβητες (κύκλος Rankine).
- Τα καυσαέρια έχουν θερμοκρασία 800-1000˚C
- Όλα τα είδη βιομάζας μπορεί να καούν αλλά η καύση δεν είναι πρακτική όταν η υγρασία > 50%
- Ιδιαίτερα συμφέρουσα είναι η Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)
- Σύγκαυση βιομάζας με λιγνίτη είναι ιδιαίτερα ελκυστική (7-10% του καυσίμου προέρχεται από βιομάζα):
- Ο βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται από 20-40%

Πυρόλυση

- Πυρόλυση είναι η μετατροπή της βιομάζας σε υγρά (βιοέλαιο), στερεά και αέρια προϊόντα με τη θέρμανσή της απουσία αέρα σε θερμοκρασία γύρω στους 500 ˚C.
- Η πυρόλυση μπορεί να παράγει αποκλειστικά βιοέλαιο, με βαθμό απόδοσης μέχρι και 80% με τη διαδικασία της **αστραπιαίας πυρόλυσης** (flash pyrolysis).
- Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του πετρελαίου (έχει λιγότερο από τη μισή θερμογόνο δύναμη) σε εφαρμογές θέρμανσης, λέβητες , φούρνους αλλά και μηχανές εσωτερικής καύσης.
- Εναλλακτικά το βιοέλαιο υφίσταται αεριοποίηση για την παραγωγή συνθετικού αερίου (syngas) που στη συνέχεια μετατρέπεται σε καύσιμο (πχ sundiesel).
- Τα υποπροϊόντα της πυρόλυσης που δεν αεριοποιούνται είναι κάρβουνο και τέφρα.

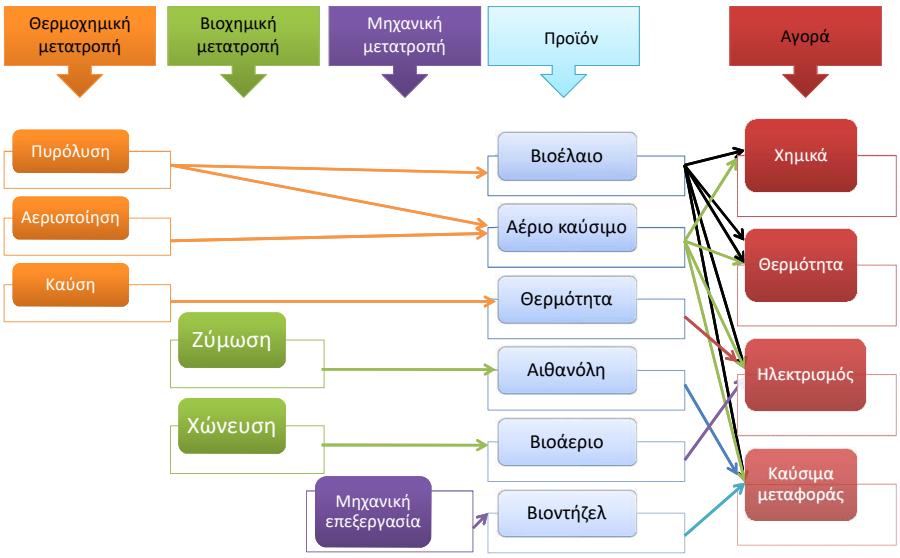
Θερμοχημικές διεργασίες

Τεχνολογίες θερμοχημικής μετατροπής βιομάζας



Βιοκαύσιμα

Διαδικασίες μετατροπής βιομάζας, προϊόντα και αγορές



Βιοκαύσιμα

Ζύμωση

- Η ζύμωση είναι μια διαδικασία που εφαρμόζεται σε εμπορική κλίμακα για την παραγωγή βιοαιθανόλης από τη ζύμωση σακχαρούχων (ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα) και αμυλούχων καλλιεργειών (καλαμπόκι, σιτάρι).
- Η βιομάζα αλέθεται και το άμυλο μετατρέπεται από ενζυμα σε σάκχαρα και στη συνέχεια σε αλκοόλη. Η αλκοόλη καθαρίζεται από προσμίξεις με απόσταξη .
- Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κίνησης σε κινητήρες οχημάτων, ως έχει ή σε πρόσμιξη με βενζίνη.
- Ένας τόνος καλαμποκιού παράγει 450 λίτρα βιοαιθανόλης.
- Το στερεό υπόλειμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αγελαδοτροφή ή στην περίπτωση της βαγάσης να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη σε εργοστάσιο αεριοποίησης .

Αναερόβια χώνευση

- Αναερόβια χώνευση είναι η μετατροπή οργανικής ύλης σε βιοαέριο (μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα) με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε ένα περιβάλλον αναερόβιο.
- Η ενεργειακή αξία ισοδυναμεί με το 20-40% της θερμογόνου δύναμης της βιομάζας.
- Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτεί απ' ευθείας ένα αεριοστρόβιλο ή μια μηχανή εσωτερικής καύσης για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και ενέργειας.

Μηχανική παραγωγή βιοντήζελ

Η κύρια πρώτη ύλη είναι το rapeseed που καλλιεργείται κυρίως στην Ευρώπη, 85% της συνολικής παραγωγής, και ακολουθούν οι ηλιόσποροι, το φοινικέλαιο και οι σπόροι σόγιας.

Η βιομηχανική διαδικασία παραγωγής περιλαμβάνει:

Ξήρανση των σπόρων για μείωση της υγρασίας από 15% σε 9%

Πλύσιμο των σπόρων και για ορισμένους σπόρους (πχ ηλιόσπορους) ξεφλούδισμα.

Θραύση ή λειοτρίβιση των σπόρων και ρύθμιση υγρασίας και θερμοκρασίας στους 80 ˚C

Πρεσάρισμα για εξαγωγή του ελαίου. Στο στάδιο αφαιρείται περίπου το 75% του περιεχόμενου ελαίου

Το έλαιο υφίσταται **φιλτράρισμα** για καθαρισμό και αφυδάτωση και οδηγείται σε περαιτέρω εξευγενισμό για την παραγωγή βιοντήζελ

Το στερεό υπόλειμμα που περιέχει το 25% του συνολικού ελαίου υφίσταται λειοτρίβιση και στη συνέχεια με την προσθήκη εξανίου εξάγεται και το υπόλοιπο λάδι.

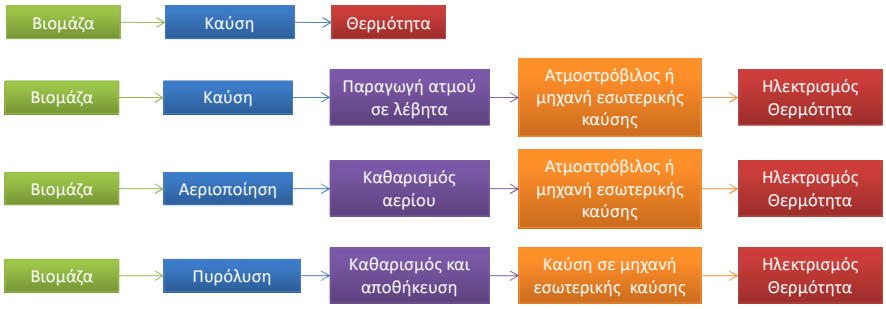
Το εξάνιο απομακρύνεται από το παραγόμενο λάδι και επαναχρησιμοποιείται

Εξευγενισμό του παραγόμενου ελαίου με διαδικασίες αφαίρεσης των φωσφατιδίων, των οξέων του χρώματος των οσμών και της υγρασίας.

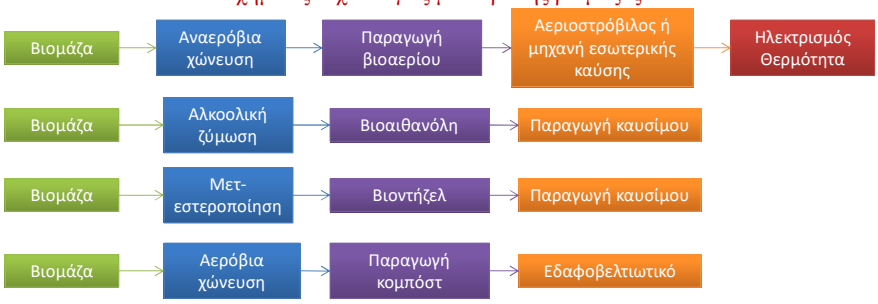
Το τελικό προϊόν είναι το καθαρό φυτικό λάδι (PPO) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο ή να μετατραπεί σε βιοντήζελ με τη διαδικασία της μετ-εστεροποίησης ή αλκοόλυσης

Ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας

Θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας



Βιοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας



Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης

Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυτάλλειας

Στο ΚΕΛ Ψυτάλλειας τα εισερχόμενα λύματα (της τάξης των 730.000 m^3 ανά μέρα) αποτελούν πηγή ενέργειας. Συγκεκριμένα, κατά τη διεργασία της χώνευσης της μικτής ιλύος, παράγεται βιοαέριο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις δύο μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, με συνολική ηλεκτρική ισχύ **11,4 MWe** και θερμική ισχύ **17,3 MWth.**

Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους και έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, Η λειτουργία των Μονάδων συμβάλλει στην αυτοδυναμία της εγκατάστασης του κέντρου της Ψυτάλλειας, καθώς μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου του ΑΔΜΗΕ, εξασφαλίζοντας έτσι την αποδοτική και αδιάλειπτη λειτουργία των εγκαταστάσεων που εξυπηρετούν.

Πηγή: https://www.eydap.gr/TheCompany/Energy/CooperationProjects/

Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης

Εργοστάσιο συμπαραγωγής με καύση υπολειμμάτων ξυλείας

- Διαθέσιμα 15.000 t/year υπολείμματα ξυλείας
- Κατανάλωση
  - Μέση κατανάλωση καυσίμου = 1,7 τόνοι/ώρα
  - Ώρες λειτουργίας = 8000 ώρες
- Ετήσια κατανάλωση καυσίμου = 14.000 t/year
- Βασικά ενεργειακά μεγέθη
  - Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς = 1 MW
  - Παραγόμενη θερμότητα = 5 MW
- Κόστος έργου
  - Λεβητοστάσιο και μονάδα συμπαραγωγής = 2.300.000 €
  - Σύνδεση με ΔΕΗ, κτίριο, υδραυλικά, και ηλεκτρικά δίκτυα = 700.000 €
  - Σύνολο = 3.000.000 €
- Βασικά οικονομικά στοιχεία
  - Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια = 8000 MWh/έτος
  - Έσοδα από την πώληση ενέργειας = 1.600.000 €/έτος (200 €/MWh – Νόμος 3851/2010)
  - Έξοδα λειτουργίας μονάδας = 900.000 €/έτος
  - Όφελος = 700.000 €/έτος
- Απόσβεση μονάδας = 5 έτη (4 έτη αν ληφθεί υπόψη και η πώληση θερμότητας)

Πηγή: Σ. Ψημένος «*Τεχνικοοικονομικά δεδομένα στη χρήση βιομάζας*», 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας , Καρδίτσα 21 /11/2010

Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης

Εργοστάσιο συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας στην Αυστρία

- Δυναμικότητα 4,1 MW
- Παραγωγή ενέργειας – συνολική , ηλεκτρική, θερμική
  - 19 MW, 4,1 MW, 12,1 MW (αποδόσεις 93%, 19%, 63%)
- Τεχνολογία: ατμοστρόβιλος
- Θερμότητα σε βιομηχανική χρήση
- Βιομάζα με υψηλή υγρασία
  - 50% υγρασία
  - Αποθήκευση: για 3000 m^3 (0.90 τόνοι)
- Αναγνωρισμένες ατέλειες: συχνές διακυμάνσεις στην ποιότητα του ατμού
- Λειτουργία : 6000 ώρες/έτος
- Λειτουργικό κόστος : < 2,6 εκ. €/ετος
  - Πρώτες ύλες 25%, ενεργειακή κατανάλωση 55%, λειτουργικά 20%
- Κόστος επένδυσης: 19 εκ. €
- Κόστος παραγωγής ενέργειας: <0,03 €/kWh

Πηγή: Α. Κοκόσης «*Προοπτικές αξιοποίησης βιομάζας*» 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας , Καρδίτσα 21 /11/2010

Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης

Εκκοκκιστήριο βάμβακος στη Βοιωτία

- Παραγωγή βαμβακιού : 40.000-50.000 t/year
- Παραγωγή υπολειμμάτων: 4.000-5.000 t/year
- Υφιστάμενη πρακτική: ξήρανση βαμβακιού πριν τον εκκοκκισμό με την καύση πετρελαίου και διοχέτευση των καυσαερίων στο προς ξήρανση βαμβάκι.
- Νέα εγκατάσταση
  - Ισχύς του λέβητα βιομάζας 4.000.000 kcal/h (~4.5 MW) και ο παραγόμενος ατμός έχει πίεση 10 bar
  - Το έργο που παράγεται, κατά την εκτόνωση του ατμού σε ένα στρόβιλο, μετατρέπεται στη γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 500 kW.
  - Μετά την εκτόνωσή του, ο ατμός οδηγείται, μέσω σωληνώσεων σε εναλλάκτες θερμότητας, όπου θερμαίνεται ο αέρας σε θερμοκρασία 130°C.
  - ο θερμός αέρας χρησιμοποιείται αφενός για την ξήρανση του βαμβακιού σε ειδικούς γι' αυτό το σκοπό πύργους, αφ' ετέρου στο σπορελαιουργείο, στις πρέσες ατμού, για την εξαγωγή του βαμβακόλαδου.
- Οικονομικά μεγέθη
  - Καλύπτεται το σύνολο των αναγκών σε θερμότητα και μέρος των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια
  - Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση 630 τόνων πετρελαίου ετησίως.
  - Η αρχική επένδυση, συνολικού ύψους 1.000.000 ευρώ, αποσβέσθηκε σε μόλις 6-7 εκκοκκιστικές περιόδους.

Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης

Εργοστάσιο συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας στη Δανία

- Δυναμικότητα 4,4 MW
- Παραγωγή ενέργειας – συνολική, ηλεκτρική, θερμική
  - 20 MW, 4,4 MW, 14 MW (αποδόσεις 92%, 22%, 70%)
- Τεχνολογία: ατμοστρόβιλος
- Θερμότητα για αστική χρήση
- Τροφοδοσία: 150.000 m^3 ξύλο/έτος
  - 5-55% υγρασία
  - Αποθήκευση: για 9.000 m^3 (2.500 τόνοι)
- Αναγνωρισμένες ατέλειες: σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας
- Λειτουργία: 5.500 ώρες/έτος
- Λειτουργικό κόστος: < 5 εκ. €/ετος
  - Πρώτες ύλες 50%, ενεργειακή κατανάλωση 40%, λειτουργικά 10%
- Κόστος επένδυσης: 17 εκ. €
- Κόστος παραγωγής ενέργειας: <0,04 €/kWh

Πηγή: Α. Κοκόσης «*Προοπτικές αξιοποίησης βιομάζας*» 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας , Καρδίτσα 21 /11/2010

Πλέγμα νερού-ενέργειας-τροφίμων

Συνέργεια είναι η συμπεριφορά ολοκληρωμένων συστημάτων κατά τρόπο που δεν μπορεί να προβλεφθεί από τη συμπεριφορά των μερών που τα αποτελούν.
Richard Fuller, 1895-1983, Αμερικανός εφευρέτης

Πλέγμα νερού-ενέργειας-τροφίμων

Νερό

Στραγγίσεις καλλιεργειών

Άρδευση καλλιεργειών

- Υδραυλική ενέργεια
- Ψύξη θερμικών σταθμών
- Fracking
- Αποθήκευση ενέργειας

- Μεταφορά-άντληση νερού
- Αφαλάτωση
- Επεξεργασία νερού
- Θέρμανση νερού

Τροφή

- Βιομάζα
- Βιοκαύσιμα
- Ενεργειακά φυτά

Ενέργεια

- Μεταφορά-άντληση νερού
- Παραγωγή λιπασμάτων
- Γεωργικές δραστηριότητες
- Βιομηχανία τροφίμων

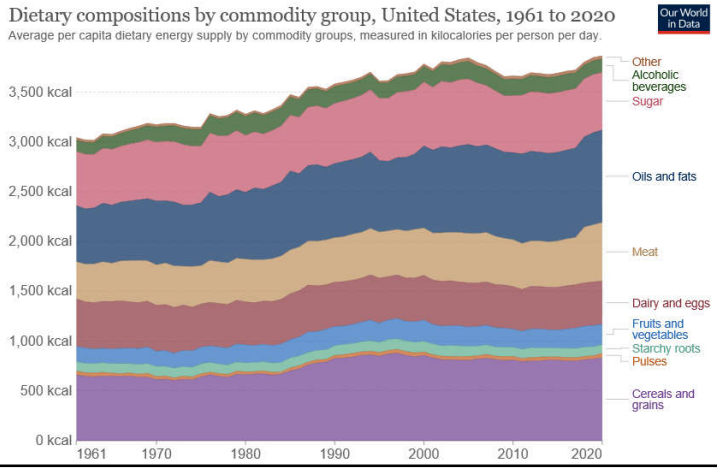
Πλέγμα νερού-ενέργειας-τροφίμων

Τρόφιμα

Η συνιστώμενη πρόσληψη θερμίδων κυμαίνεται από 1000 kcal/d για τα βρέφη σε 3200 kcal/d για «ενεργούς» ενήλικες

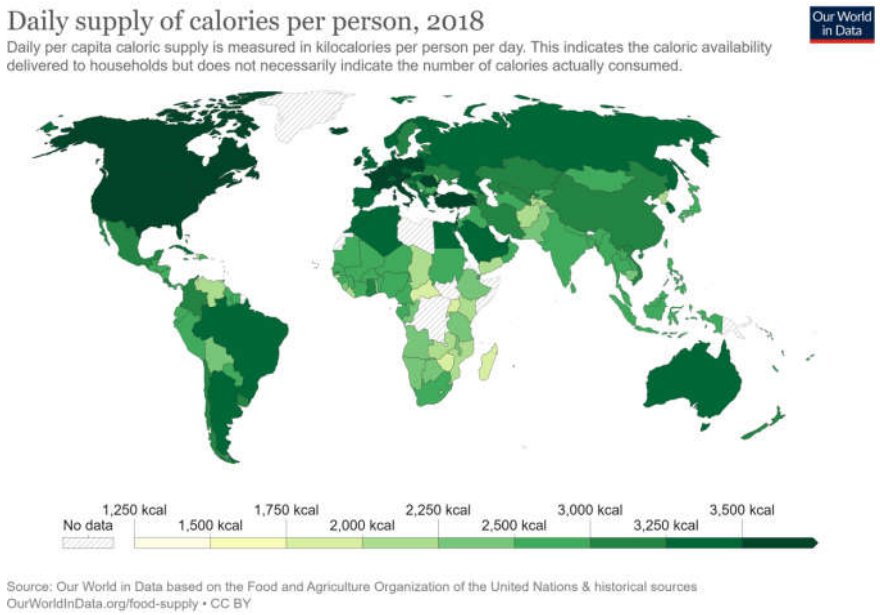
Τα τρόφιμα έχουν ομαδοποιηθεί σε 10 κύριες κατηγορίες:

1.Δημητριακά 2. Έλαια-Λίπη 3. Κρέας 4. Ζάχαρη 5. Φρούτα-Λαχανικά
6. Γαλακτοκομικά-Αυγά 7. Αμυλώδεις ρίζες 8. Όσπρια 9. Αλκοολούχα 10. Άλλα



Πλέγμα νερού-ενέργειας-τροφίμων

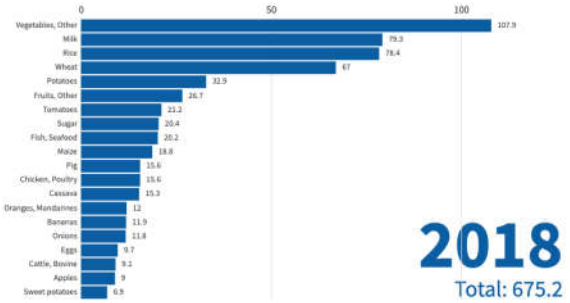
Πρόσληψη θερμίδων σε kcal/c/d (2018)



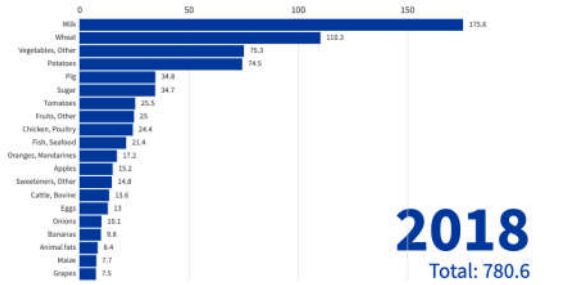
Πλέγμα νερού-ενέργειας-τροφίμων

Ετήσια κατανάλωση τροφίμων (kg/cap)

Κόσμος



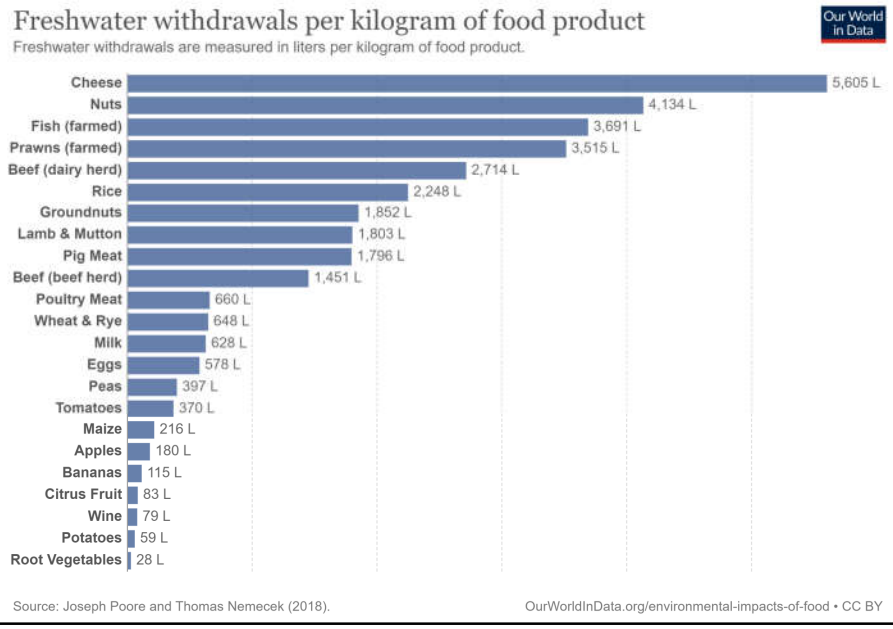
Ευρώπη



Πηγή: https://goodseedventures.com/worldwide-food-consumption-per-capita-2/

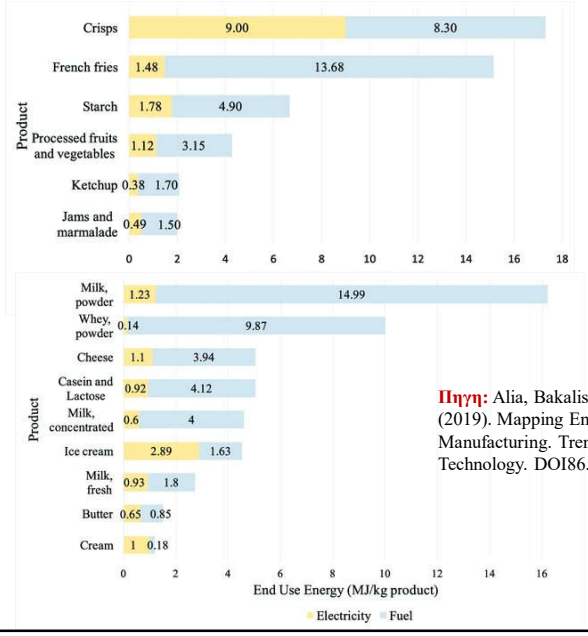
Πλέγμα νερού-ενέργειας-τροφίμων

Απόληψη νερού για την παραγωγή τροφίμων (m^3/kg)



Πλέγμα νερού-ενέργειας-τροφίμων

Ενέργεια για την παραγωγή τροφίμων (MJkg)



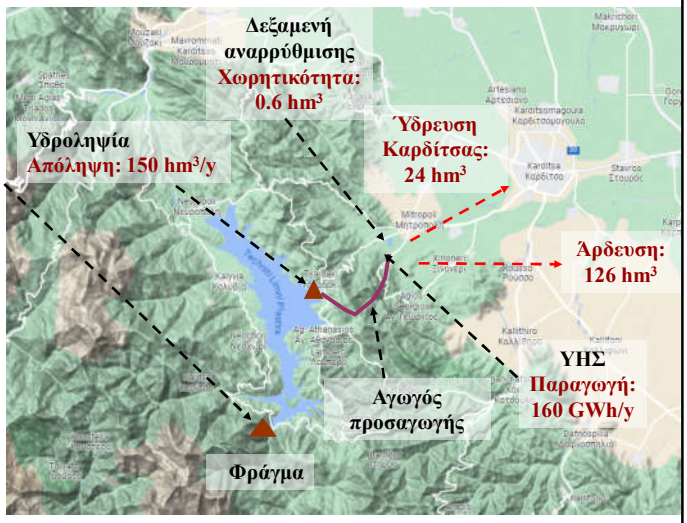
Πηγη: Alia, Bakalis, S., Fryer, P. and Lopez Q. (2019). Mapping Energy Consumption in Food Manufacturing. Trends in Food Science & Technology. DOI86. 10.1016/j.tifs.2019.02.034.

Παράδειγμα πλέγματος νερού ενέργειας τροφίμων

Υδροσύστημα Πλαστήρα

Οι υδροηλεκτρικοί ταμιευτήρες είναι έργα πολλαπλού σκοπού και συνδέονται άμεσα με την αποθήκευση νερού, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την υποστήριξη των καλλιεργειών.

- Τοξωτό φράγμα, ύψους: 83 m
- Έκταση λεκάνης απορροής: 161.3 km^2
- Παροχετευτικότητα υπερχειλιστή: 460 m^3/s
- Ωφέλιμη χωρητικότητα: 286 hm^3
- Μέγιστη επιφάνεια: 25 km^2



Στην περίπτωση υπερχείλισης π.χ 6 hm^3 θα χαθούν 6.5 GWh και το νερό για την άρδευση 10.000 στρεμμάτων

Παράδειγμα πλέγματος νερού-ενέργειας-τροφίμων

Ετήσια προσεγγιστικά μεγέθη για 1 στρέμμα συμπύρηνες ροδακινιές (100 δένδρα) στη Βόρεια Ελλάδα

Ηλιακή ενέργεια
1400 kWh/m^2

Ηλιακή ενεργεία: **1.400.000 kWh/στρέμμα**

Νερό
350 m^3

Η άντληση 350 m^3 από βάθος 70 m περίπου **80 kWh**

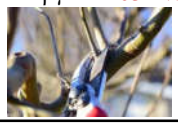
Λιπάσματα
20 kg N, 12 kg P_2O_5, 16 kg K_2O, 6 kg MgO

Ενέργεια για την παραγωγή: N: 60 MJ/kg, P_2O_5: 14 MJ/kg. K_2O: 12 MJ/kg, MgO: 8 MJ/kg
Σύνολο: **450 kWh**

Εργασία
καλλιεργητική φροντίδα-συγκομιδή

***Παράγονται*:**

50 kg βιομάζας από κλαδέματα. Θερμογόνος δύναμις 19 MJ/kg.
Ενέργεια: **265 kWh**



4000 kg ροδάκινα με διατροφική αξιά του 330 kcal/kg.
Ενέργεια: **1.500 kWh**

200 kg βιομάζας από κουκούτσια Θερμογόνος δύναμις: 19 MJ/kg.
Ενέργεια: **1.060 kWh**