



National Technical University of Athens
School of Chemical Engineering
Laboratory of Organic Chemical Technology

Energy generation potential in Greece from agricultural residues and livestock manure

A. Vlyssides, S. Mai and E.M. Barampouti*

GREEK ENERGY MAP

Total electricity consumption (2012): 55TWh



39% national energy sources

- Lignite (77%)
- RES (22%)
 - Hydro-power
 - Wind
 - Solar energy
 - Biomass

61% imported energy sources

- Petroleum products
- Natural gas

GREEK ENERGY MAP

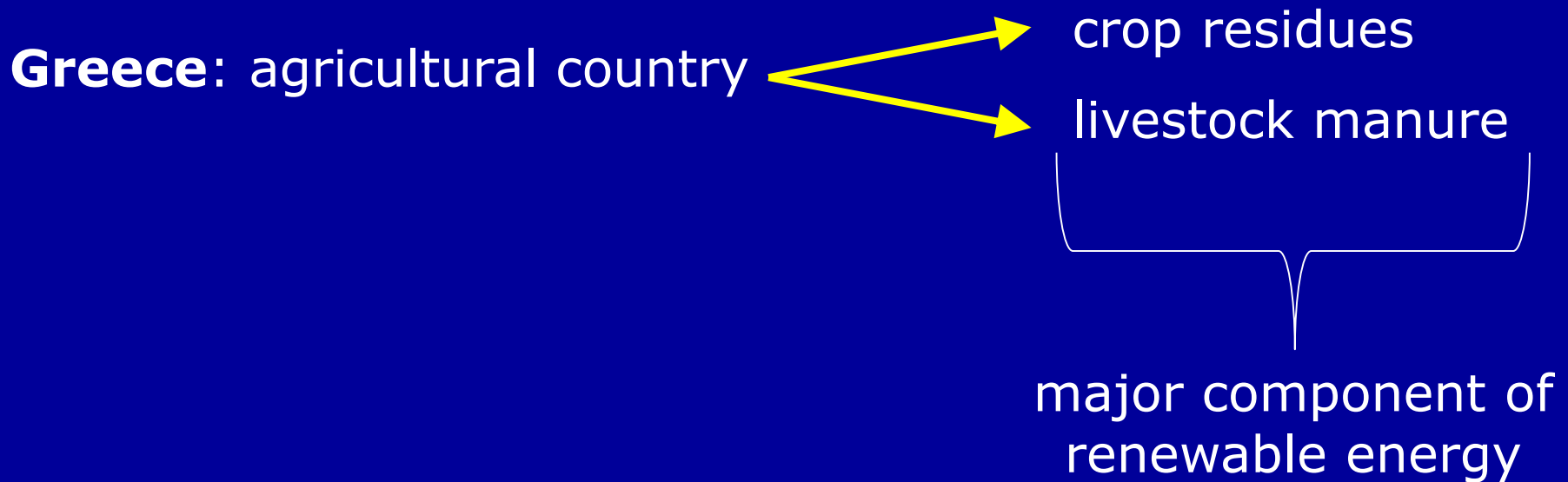
changes

- Liberalization of the electricity and natural gas markets
- Increased competitiveness
- Extension of the domestic and cross-border networks
- Increased share of energy from Renewable Energy Sources
- Reduced share of fossil-fuel generated electricity
- Improved energy efficiency, energy saving and protection of the environment

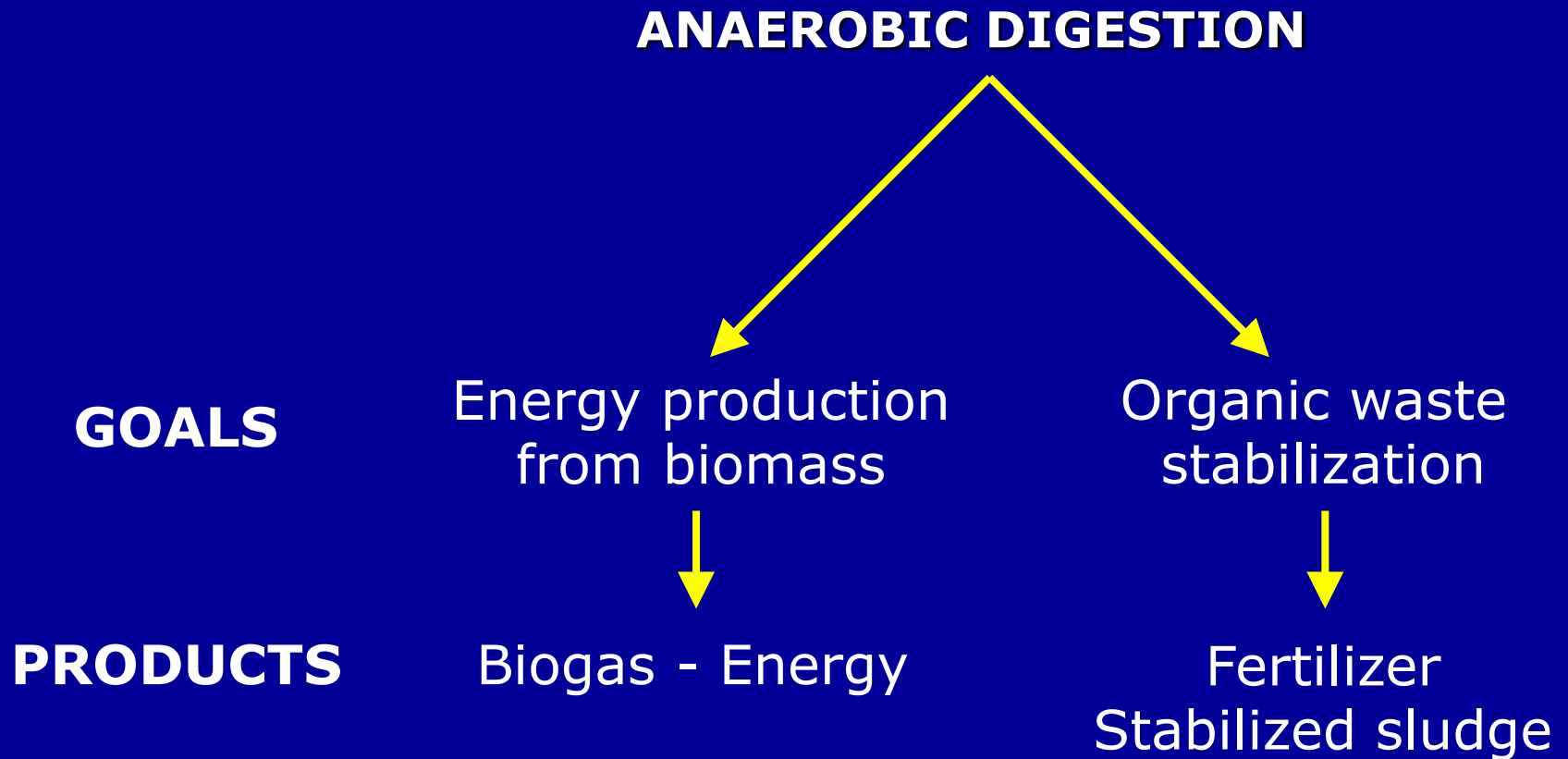


Substitution of imported energy sources by national resources

AGRO-INDUSTRIAL RESIDUES



ANAEROBIC DIGESTION



AIM

The estimation of the energy generation potential in Greece through anaerobic digestion from agricultural residues and livestock manure

THEORITICAL POTENTIAL OF BIOMASS

Agro-industrial wastes

Cultivation species	Production (tn)	Residues (tn)	Type of residue
Wheat for crop	4.607.562	4.634.076	
Soft and semi-soft wheat	432.824	504.900	Straw, husk, bran
Hard wheat	1.217.878	1.601.196	Straw, husk, bran
Barley	281.759	253.976	Straw, bran
Oat	84.855	135.768	Straw, bran
Rye	35.616	110.410	Straw, bran
Maize	2.369.387	1.712.913	Cobs, stover
Rice	185.243	314.913	Straw, husk
Industrial plants	1.935.257	2.411.462	
Tobacco	30.783	30.783	Stems
Cotton	1.052.518	2.210.288	Stalk, lint, hull
Sugarbeet	851.956	170.391	Leaves, bagasse
Potatoes	929.690	371.876	Stems and leaves

THEORITICAL POTENTIAL OF BIOMASS

Agro-industrial wastes

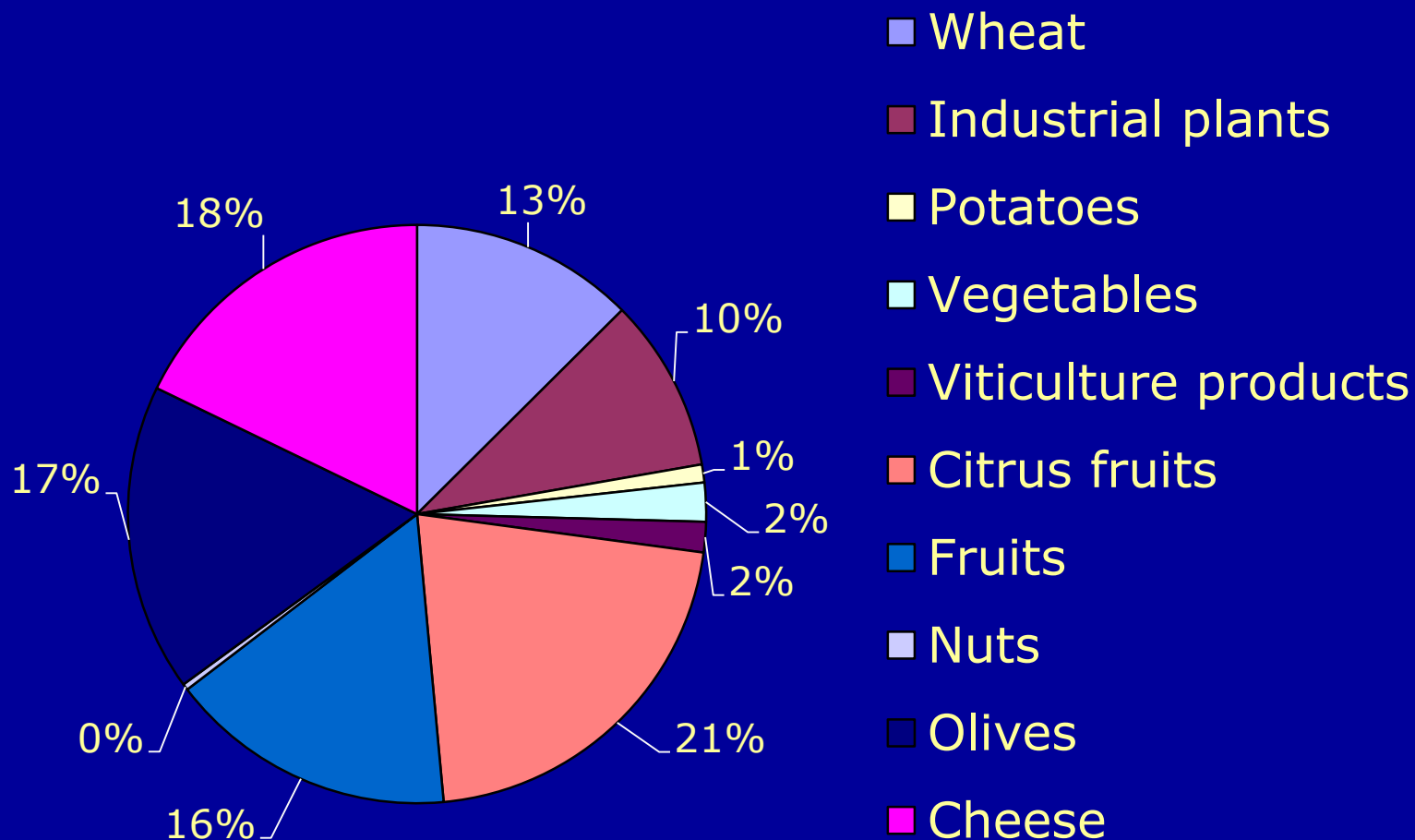
Cultivation species	Production (tn)	Residues (tn)	Type of residue
Vegetables	2.008.096	803.238	Stems, foliage and leaves
Tomatoes	1.460.642		
Eggplants	69.480		
Okra	13.525		
Red onions	166.809		
Cabbage and cauliflower	254.019		
Leek	43.621		
Viticulture products	221.781	627.711	Sarments
Must	379.010		
Table grapes	168.666		
Corinthian raisin	32.289		
Sultanas raisin	20.826		
Cheese	193.547	7.577.376	

Agro-industrial wastes

Cultivation species	Production (tn)	Residues (tn)	Type of residue
Citrus fruits	981.695	1.963.390	Pruning
Oranges	778.074	1.556.148	
Lemons	91.905	183.810	
Tangerines	111.716	223.432	
Fruits	1.260.974	5.945.856	Pruning, peels, seed
Apples	260.081		
Pears	75.249		
Peaches	783.693		
Apricots	79.188		
Cherries	62.763		
Nuts	68.245	129.666	Pruning, shell, stalk, leaves
Almonds	46.130	87.647	
Walnuts	22.115	42.019	
Olives	2.444.226	6.354.988	Pruning, olive stone
Edible	281.917		
Oil producing	2.162.309		

THEORITICAL POTENTIAL OF BIOMASS

Agro-industrial wastes



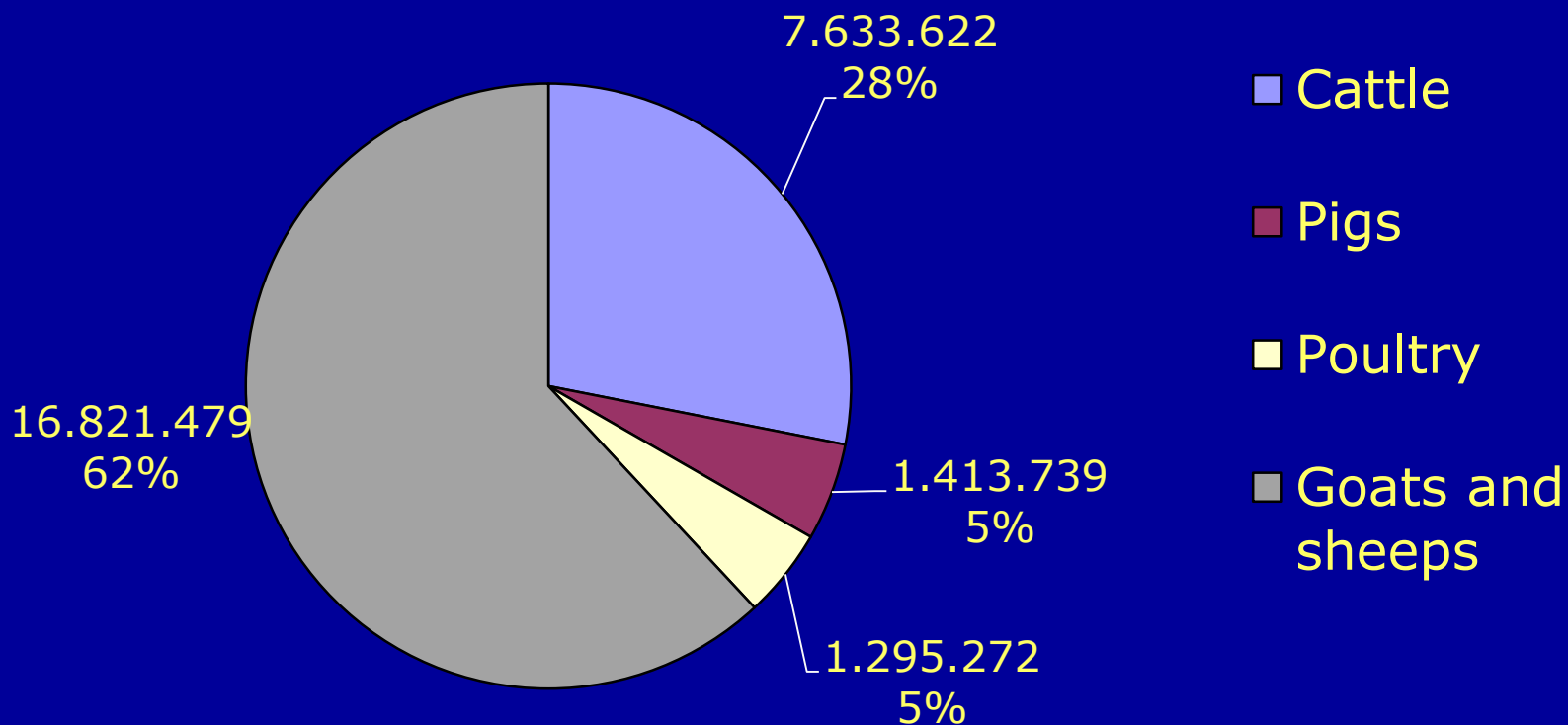
THEORETICAL POTENTIAL OF BIOMASS

Livestock manure

Animal species	Number of animals	Residues (tn)
Cattle	684.019	7.633.622
Pigs	1.055.029	1.413.739
Poultry	32.381.802	1.295.272
Goats and sheeps	14.017.899	16.821.479

THEORETICAL POTENTIAL OF BIOMASS

Livestock manure



THEORITICAL POTENTIAL OF BIOMASS

Agro-industrial residues: 30.819.639 tn/y

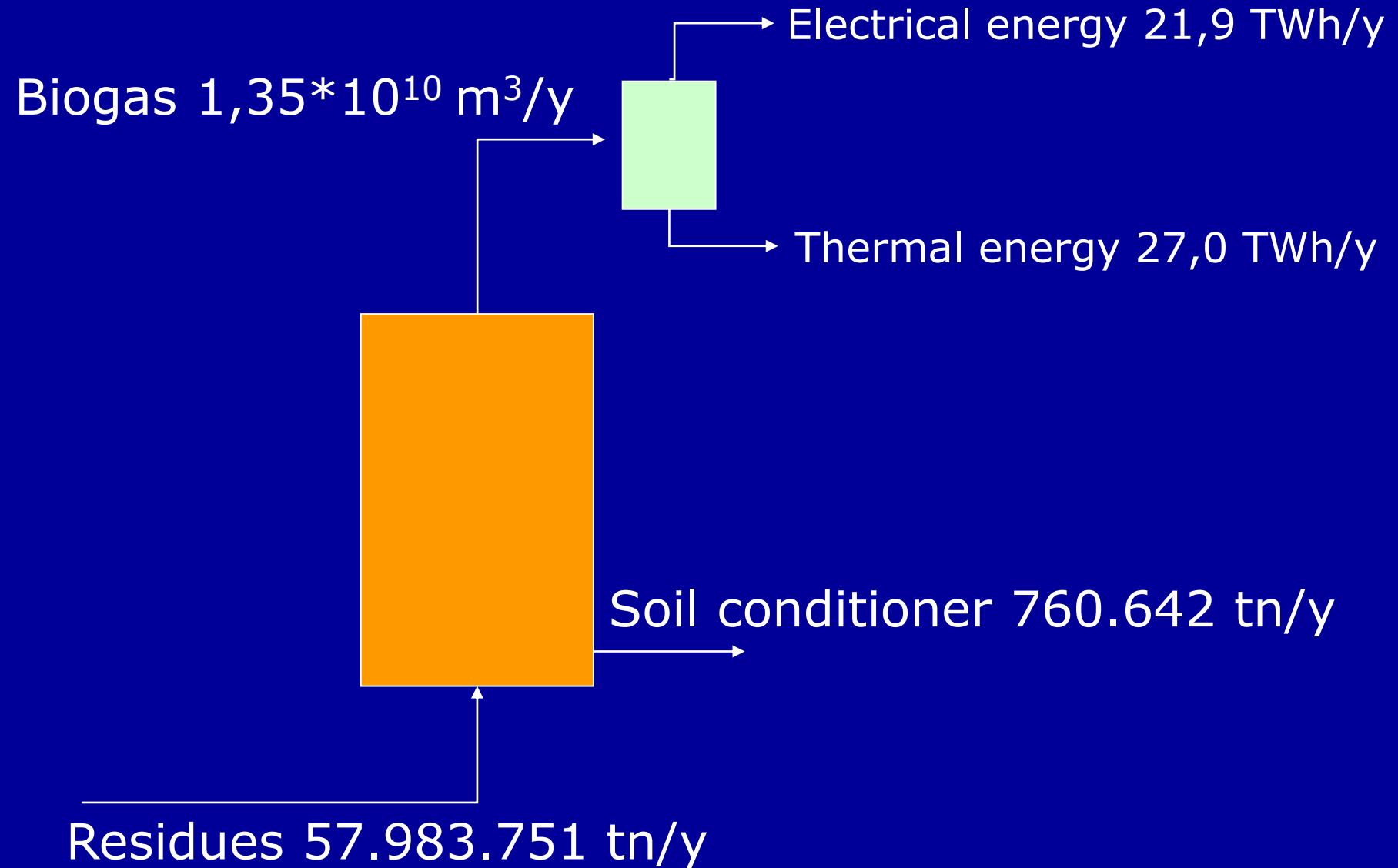
Livestock manure: 27.164.112 tn/y

TOTAL: 57.983.751 tn/y

ASSUMPTIONS

- Carbon content in residuals: 25% w.b.
- Anaerobic digestion efficiency: 60%
- Biomass production coefficient Y : 0,05
- Biogas composition: Methane 60% and Carbon Dioxide 40%
- Biogas behaves as ideal gas
- The energy content of biogas with 60% methane is $6\text{kWh}/\text{m}^3$
- The overall efficiency of the co-generation of electrical and thermal energy is 80%
- The efficiency of thermal energy generation of cogeneration is 65% while that of electricity is 35%

UTILIZATION OF RESIDUES by ANAEROBIC DIGESTION



UTILIZATION OF BIOMASS by ANAEROBIC DIGESTION

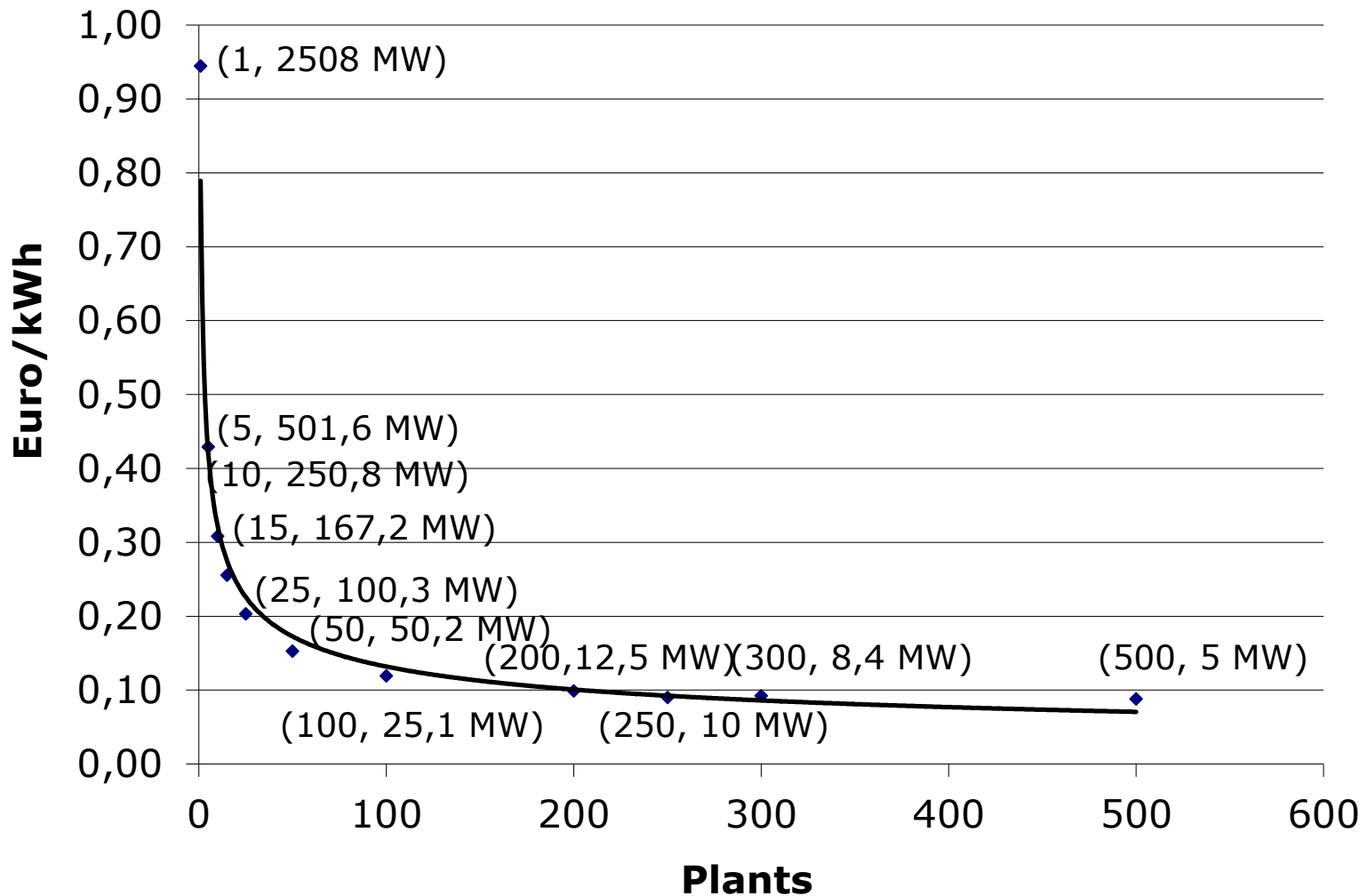
Total energy consumption in Greece (2012): 55 TWh



Potential substitution rate: 39%

Thermal energy utilization: Consumption in the digesters

COST ESTIMATION



COST ESTIMATION

↓ Cost

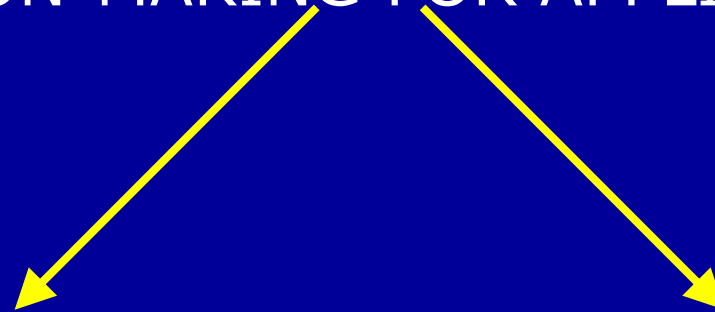
↑ number of plants

↓ their installed power capacity

Cost limiting value: **0.09€/kWh** for **250** plants of **10MW** capacity

CONCLUSIONS

DECISION-MAKING FOR APPLICATION



Technological problems

Cost



National Technical University of Athens
School of Chemical Engineering
Laboratory of Organic Chemical Technology

Energy generation potential in Greece from agricultural residues and livestock manure

A. Vlyssides, S. Mai and E.M. Barampouti*

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Τεχνολογικά προβλήματα εφαρμογής

1. Αστάθεια βιολογικού συστήματος

Το έντονα ανταγωνιστικό περιβάλλον λόγω απουσίας οξυγόνου μεταξύ των βακτηρίων αποτελεί παράγοντα αστάθειας των αναερόβιων βιολογικών συστημάτων.

2. Ευαισθησία σε τοξικές ενώσεις

Παρεμπόδιση της προόδου των δράσεων από τοξικότητες που τυχόν υπάρχουν στην τροφοδοσία ή από συσσώρευση ενδιάμεσων προϊόντων θείου και αμμωνίας.

3. Αδυναμία απομείωσης αζώτου

Το άζωτο καταναλώνεται μόνο κατά την παραγωγή της βιομάζας.

4. In-situ αξιοποίηση του βιοαερίου

Δυστυχώς το παραγόμενο μεθάνιο δεν μπορεί να αποθηκευτεί και πρέπει να χρησιμοποιείται άμα τη παραγωγή του.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΧΤ

Προσπάθεια αντιμετώπισης των τεχνολογικών προβλημάτων εφαρμογής της αναερόβιας χώνευσης

1. Προσθήκη μεταλλοκατιόντων με στόχο τη σταθεροποίηση αναερόβιων συστημάτων
2. Αναερόβια Οξειδωση αζώτου

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

Αξιοποίηση του CO₂ του βιοαερίου, με προσθήκη CaO, στη λειτουργία ενός αναερόβιου χωνευτήρα τύπου UASB

1. Πρόταση νέου αντιδραστήρα (UASB/CO₂-stripper)
2. Σταθερότητα στη λειτουργία του συστήματος σε υψηλές φορτίσεις και υψηλές συγκεντρώσεις του υποστρώματος
3. Δεν αποτελεί προϋπόθεση η αποτελεσματική αποδόμηση των υποστρωμάτων
4. Υψηλή περιεκτικότητα του παραγόμενου βιοαερίου σε μεθάνιο

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

Επίδραση ιόντων δισθενούς σιδήρου στην λειτουργία ενός αναερόβιου χωνευτήρα τύπου UASB αναερόβιας χώνευσης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων

1. Επιβεβαιώθηκε ποιοτικά και ποσοτικά ο θετικός ρόλος του δισθενούς σιδήρου στην βελτίωση της κοκκώδους υφής της λάσπης σ' έναν αντιδραστήρα UASB μέσω δημιουργίας αδρανών πυρήνων FeS.
2. Με την πρόσθεση ιόντων σιδήρου παρατηρήθηκαν τα εξής φαινόμενα :
 - αύξηση της βιολογικής ενεργότητας της μικροβιακής μάζας
 - πολύ μεγάλη απομείωση του εισερχόμενου COD (99%)

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

1. Έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι υδρόλυσης υποστρωμάτων για τη μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας από αναερόβια χώνευση.
2. Έχει αναπτυχθεί θεωρία ανάπτυξης κοκκώδους λάσπης.
3. Έχουν οικοδομηθεί μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης των αναερόβιων διεργασιών.

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

UASB αναερόβιος χωνευτήρας επεξεργασίας αποβλήτων βιομηχανίας προϊόντων πατάτας (TASTY SA - ΑΤΤΙΚΗ)

UASB αναερόβιος χωνευτήρας επεξεργασίας αποβλήτων τυροκομείου (Λ. Λούκας – Βοιωτία)