

Τα οφέλη της αποκεντρωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τις ορεινές περιοχές. Μελέτη περίπτωσης: Η τεχνολογία του Βιοαερίου.

Η. Δούλος, Υποψήφιος Διδάκτωρ Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής και Μεταλλευτικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π.

Α. Μπαλάσκας, Γεωπόνος ΓΠΑ, MSc «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών»

Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής και Μεταλλευτικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Απομονωμένες περιοχές, όπως είναι οι ορεινές έχουν να ωφεληθούν σημαντικά σε όλους τους τομείς της πραγματικότητάς τους από τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Άλλωστε, η αξιοποίηση των τοπικών, ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για την επίτευξη των στόχων της διεθνούς πολιτικής για την ολοκληρωμένη ανάπτυξη των ορεινών περιοχών (κεφ. 13, Agenda 21 του ΟΗΕ).

Μια κατεξοχήν τοπική ενεργειακή ανανεώσιμη πηγή είναι η βιομάζα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αξιοποίησής της, με πιο συχνούς, την άμεση καύση της και την αναερόβια χώνευσή της. Η αξιοποίηση της βιομάζας μέσω της παραγωγής βιοαερίου κρίνεται πολύ θετική για τις απομονωμένες περιοχές γιατί εκτός των άλλων συνδυάζει την παραγωγή «καθαρής» ενέργειας με την ολοκληρωμένη διαχείριση αποβλήτων, τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και τη βελτίωση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού των ορεινών – μειονεκτικών περιοχών.

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα εργασία θα επιχειρηθεί η αναλυτική καταγραφή των οφελιών που προκύπτουν από την εγκατάσταση και τη λειτουργία μονάδων βιοαερίου στις ορεινές περιοχές καθώς και η αξιολόγηση των εξωτερικοτήτων των εν λόγω εγκαταστάσεων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας πραγματικά στοιχεία από εννέα (9) μονάδες βιοαερίου, οι δύο από τις οποίες λειτουργούν, ενώ οι υπόλοιπες βρίσκονται σε διάφορα στάδια της αδειοδοτικής διαδικασίας:

- καταγράφονται και υπολογίζονται τα εξωτερικά οφέλη που προκύπτουν από τη λειτουργία τους καθώς και
- αξιολογούνται κοινωνικοοικονομικά χρησιμοποιώντας το εργαλείο της ανάλυσης κόστους – οφέλους.

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση – αξιολόγηση των εννέα περιπτώσεων είναι τα εξής

- Το ανηγμένο περιβαλλοντικό όφελος από την υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος των μονάδων και κυμαίνεται στα 53 €/MWh για τιμή CO₂ ίση με 33,6 €/tn και στα 32 €/MWh για τιμή CO₂ ίση με 5,94 €/tn.
- Το όφελος από τη διαχείριση των αποβλήτων κυμαίνεται από 12 – 140 €/MWh και εξαρτάται από το είδος του αποβλήτου καθώς και από το μέγεθος της μονάδας, το οποίο –μέγεθος– συνδέεται άμεσα με την ποσότητα των διαχειριζόμενων αποβλήτων.
- Όλες οι μονάδες που βρίσκονται σε ορεινές ή/και απομονωμένες περιοχές εμφανίζουν θετική ΚΚΠΑ και ΚΕΒΑ μεγαλύτερο από το κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης, γεγονός που καταδεικνύει ότι οι εν λόγω επενδύσεις εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη που δημιουργούν είναι και κοινωνικά επωφελείς.

1. Εισαγωγή

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Οι ορισμοί για τις ΑΠΕ ποικίλλουν μεταξύ οργανισμών και επιστημόνων. Για παράδειγμα, οι ΑΠΕ ορίζονται από τον Sorensen (2011) ως «οι ενεργειακές ροές που αντικαθίστανται με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο καταναλώνονται». Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2001/77/ΕΚ, ΑΠΕ είναι οι μη ορυκτές, συνεχώς ανανεούμενες φυσικές πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια. Τέλος, σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας ως ΑΠΕ ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ήλιος, νερό, άνεμος, βιομάζα, κλπ.), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον, ανανεώνονται συνεχώς και ταχέως (συγκρινόμενες π.χ. με τους χρόνους γεωλογικών περιόδων που απαιτούνται για τη δημιουργία άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου) επιτρέποντας έτσι τη σταθερή και αξιόπιστη χρήση τους.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε ξανά έντονο, αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Οι ΑΠΕ ταξινομούνται ως εξής:

- Αιολική Ενέργεια
- Υδραυλική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Ηλιακή Ενέργεια
 - Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα
 - Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα
 - Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα
- Γεωθερμική Ενέργεια
- Παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια από τα κύματα

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι εγγώριες συνεισφέροντας στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά οδηγώντας αφενός στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, αφετέρου στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος.
- Έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον

2. Εγκατεστημένη ισχύς και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα μεταφοράς διακρίνεται στο διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής χώρας και τα αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα των νησιών.

Το διασυνδεδεμένο σύστημα καλύπτει όλη την ηπειρωτική χώρα και τα διασυνδεδεμένα με αυτό νησιά και συνδέεται και με τα συστήματα όλων των γειτονικών χωρών. Η πλειοψηφία των σταθμών παραγωγής βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της χώρας, όπου βρίσκονται τα μεγαλύτερα κοιτάσματα λιγνίτη, μακριά από το μεγαλύτερο κέντρο

κατανάλωσης (Αττική). Από το 2006 σημαντική παραγωγή από σταθμούς Φυσικού Αερίου αναπτύσσεται και στην κεντρική περιοχή της χώρας (Στερεά Ελλάδα). Μη διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό σύστημα νησιά παραμένουν τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, τα οποία βρίσκονται σε μεγάλη σχετικά απόσταση από την ηπειρωτική χώρα (π.χ. Κρήτη, Δωδεκάνησα, νησιά Β. Αιγαίου).

Το κύριο μερίδιο στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής το κατέχουν οι λιγνιτικοί σταθμοί, ενώ σχετικά υψηλό είναι και το μερίδιο των πετρελαϊκών προϊόντων λόγω της κύριας χρήσης τους στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Οι σταθμοί φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου και οι σταθμοί ΑΠΕ έχουν αρχίσει να υποκαθιστούν, σε σημαντικό ποσοστό, μέρος της παραγωγής από λιγνίτη.

Σύμφωνα με τα μηνιαία δελτία ενέργειας του ΑΔΜΗΕ και του ΔΕΔΔΗΕ, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην ελληνική επικράτεια κατά το έτος 2015 ήταν 56 TWh με εγκατεστημένη ισχύ της τάξης των 11.377 MW για θερμικές μονάδες και 8.236 MW για μονάδες ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Εγκατεστημένη Καθαρή Ισχύς στην Επικράτεια
Table 1. Installed Power Capacity in Territory

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Εγκατεστημένη Καθαρή Ισχύς στην Επικράτεια (2015) MW
Λιγνιτικές Μονάδες ΔΕΗ	4.456
Μονάδες Φ.Α. ΔΕΗ	2.600
Μονάδες Φ.Α. Ιδιωτών	2.570
Πετρελαϊκές Μονάδες ΜΔΝ	1.751
Μεγάλα Υδροηλ/κα ΔΕΗ	3.173
Αιολικά	2.085
Φωτοβολταϊκά	2.228
Φωτοβολταϊκά σε Στέγες	375
Βιομάζα - Βιοαέριο	51
Μικρά Υδροηλ/κα	224
ΣΗΘΥΑ (<35MW)	100
ΣΥΝΟΛΟ	19.613

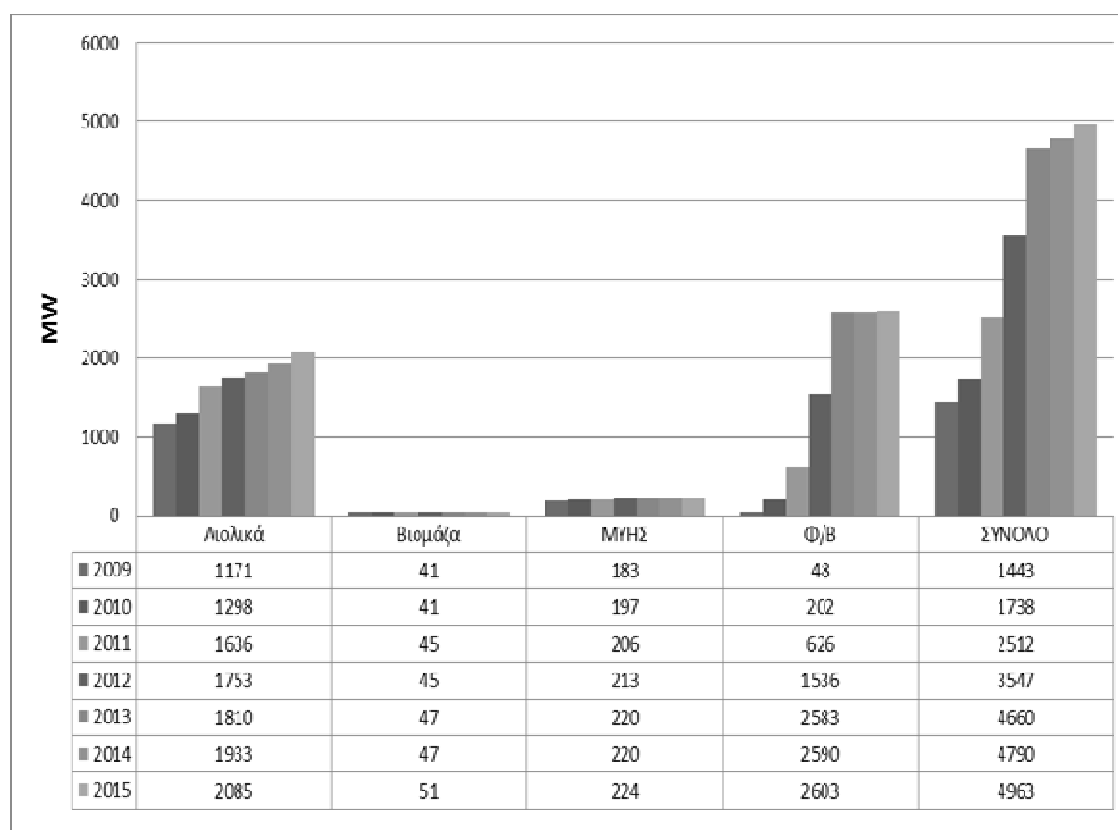
Η λιγνιτική παραγωγή κάλυψε το 35% της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, το φυσικό αέριο συμμετείχε σε ποσοστό 13% ενώ οι ΑΠΕ και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά παράγαν το 27% της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Σύνολο Εισαγωγών και Καθαρής Παραγωγής Η/Ε το έτος 2015 για την Επικράτεια

Table 2. Total Imports and Net Production of electricity for 2015 for the Territory

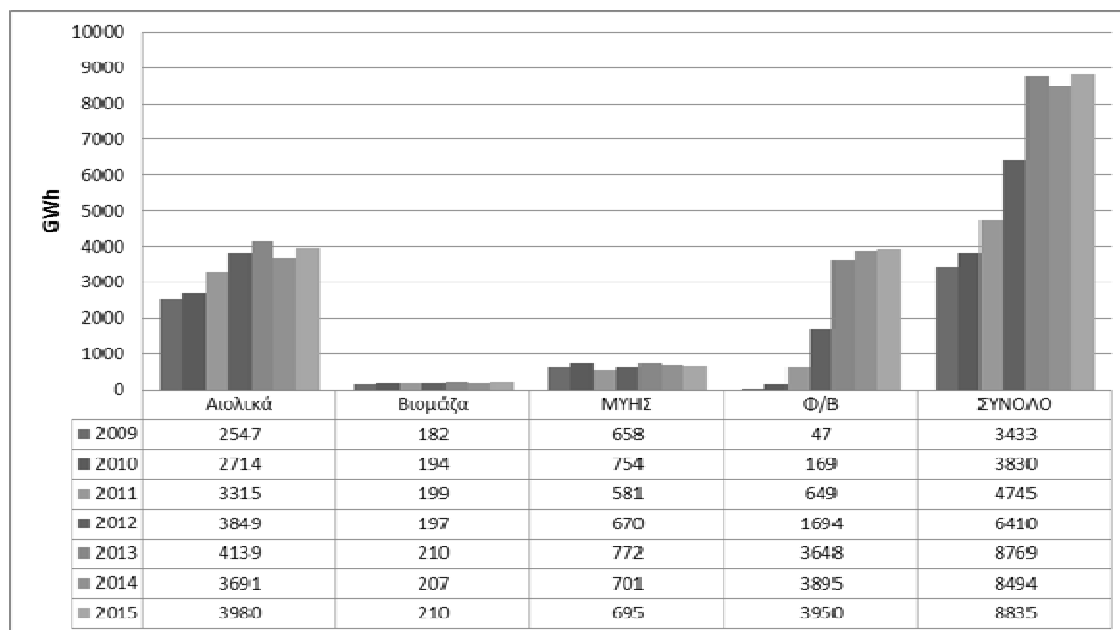
Πηγή ενέργειας	Παραγόμενη ενέργεια (TWh)	Ποσοστό (%)
Λιγνιτική	19,4	35%
Πετρελαϊκή	4,6	8%
Φυσικό Αέριο	7,3	13%
Υδροηλεκτρικά	5,4	10%
ΑΠΕ	9,7	17%
Εισαγωγές	9,6	17%
ΣΥΝΟΛΟ	56	

Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος και της παραγόμενης ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ από το έτος 2009 έως το τέλος του έτους 2015, για το σύνολο της ελληνικής επικράτειας, απεικονίζεται στα Σχήματα 1 και 2.



Σχήμα 1. Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος από σταθμούς ΑΠΕ από το έτος 2009 έως το τέλος του έτους 2015

Figure 1. Evolution of the installed capacity of renewable energy plants from year 2009 to the end of year 2015



Σχήμα 2. Η εξέλιξη της παραγόμενης ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ από το έτος 2009 έως το τέλος του έτους 2015

Figure 2. The evolution of the energy produced from RES stations from the year 2009 until the end of the year 2015

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω Σχήματα, στον τομέα των φωτοβολταϊκών (φ/β), από το έτος 2011 και μετά, έχει παρατηρηθεί έντονο επενδυτικό ενδιαφέρον, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τις φ/β εγκαταστάσεις επί εδάφους. Συγκεκριμένα, από τον Ιανουάριο του 2012 έως το Δεκέμβριο του 2015 είχαν εγκατασταθεί 1.663 MW φ/β εγκαταστάσεων επί εδάφους, τα οποία αντιστοιχούν στο 64% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των φ/β. Το γεγονός αυτό αποδίδεται κυρίως στη θέσπιση ισχυρών μέτρων στήριξης καθώς και στη μείωση του κόστους ανάπτυξης αυτών των έργων. Όσον αφορά στους αιολικούς σταθμούς, η εγκατεστημένη ισχύς τους αυξάνεται σχετικά σταθερά, φτάνοντας το έτος 2015 στα 2.085 MW. Αντίστοιχα και η εγκατεστημένη ισχύς των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών (ΜΥΗΕ) παρουσίασε αύξηση 17% την περίοδο 2009-2015, φτάνοντας τα 224 MW, ενώ η ισχύς των μεγάλων Υ/Η σταθμών παραμένει σταθερή στα 3.173 MW τα τελευταία χρόνια.

3. Ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/76/ΕΚ ως βιομάζα ορίζονται «...τα προϊόντα που συνίστανται από το σύνολο ή μέρος οποιασδήποτε φυτικής ύλης, γεωργικής ή δασικής προέλευσης, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάκτηση του ενεργειακού περιεχομένου τους» ενώ σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ βιομάζα θεωρείται «...το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τους συναφείς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών αποβλήτων και των οικιακών απορριμμάτων».

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς, σε αντίθεση με την κοινή πεποίθηση ότι ως βιομάζα χαρακτηρίζονται μόνο τα φυτά και τα δέντρα, ως βιομάζα θεωρείται κάθε οργανικό υλικό φυσικής προέλευσης καθώς και υλικά, προϊόντα και παραπροϊόντα διεργασιών όπως η

ζωική κοπριά, το χαρτί, τα απόβλητα σφαγείων, τα οργανικά απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων (π.χ. τυρόγαλα, κατσίγαρος), τα χρησιμοποιημένα λίπη και έλαια, το βιογενές κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. (Μπαλάσκας, 2015)

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λπ.) είτε με απ' ευθείας καύση είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα. Ανάλογα με την πηγή βιομάζας που κάθε φορά είναι διαθέσιμη επιλέγεται και η αντίστοιχη διεργασία για τη βέλτιστη ενεργειακή της αξιοποίηση. Οι υφιστάμενες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τις θερμοχημικές (καύση, αεριοποίηση και πυρόλυση), τις χημικές (μετεστεροποίηση) και τις βιοχημικές (αλκοολική ζύμωση και αναερόβια χώνευση) (Λιαντινιώτη, 2011).

Από τις παραπάνω διεργασίες οι πλέον συνήθεις για ηλεκτροπαραγωγή είναι η καύση στερεής βιομάζας και η αξιοποίηση (καύση) του βιοαερίου που προκύπτει είτε από τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης είτε από τη διεργασία της αεριοποίησης.

Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), καυστήρες αερίου ή αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Δύναται επιπλέον να χρησιμοποιηθεί μετά την διαδικασία του καθαρισμού (απομάκρυνση σωματιδίων, H_2S , NH_3 , H_2O) και την αναβάθμισή του (απομάκρυνση CO_2 και προσθήκη προπανίου) ως καύσιμο μεταφορών. Το παραγόμενο, μετά τις διαδικασίες καθαρισμού και αναβάθμισης, αέριο ονομάζεται βιομεθάνιο και διακρίνεται σε βιομεθάνιο ποιότητας L (89% CH_4) και ποιότητας H (96% CH_4). Το βιομεθάνιο εκτός από καύσιμο μεταφορών, δύναται να διοχετευτεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου. Χρήση του βιομεθανίου ως καυσίμου μεταφορών απαντάται στη Σουηδία, Ελβετία, Γαλλία και Γερμανία ενώ στη Σουηδία και στη Γερμανία, διοχετεύεται και στο δίκτυο του φυσικού αερίου.

3.1 Μέθοδοι παραγωγής βιοαερίου

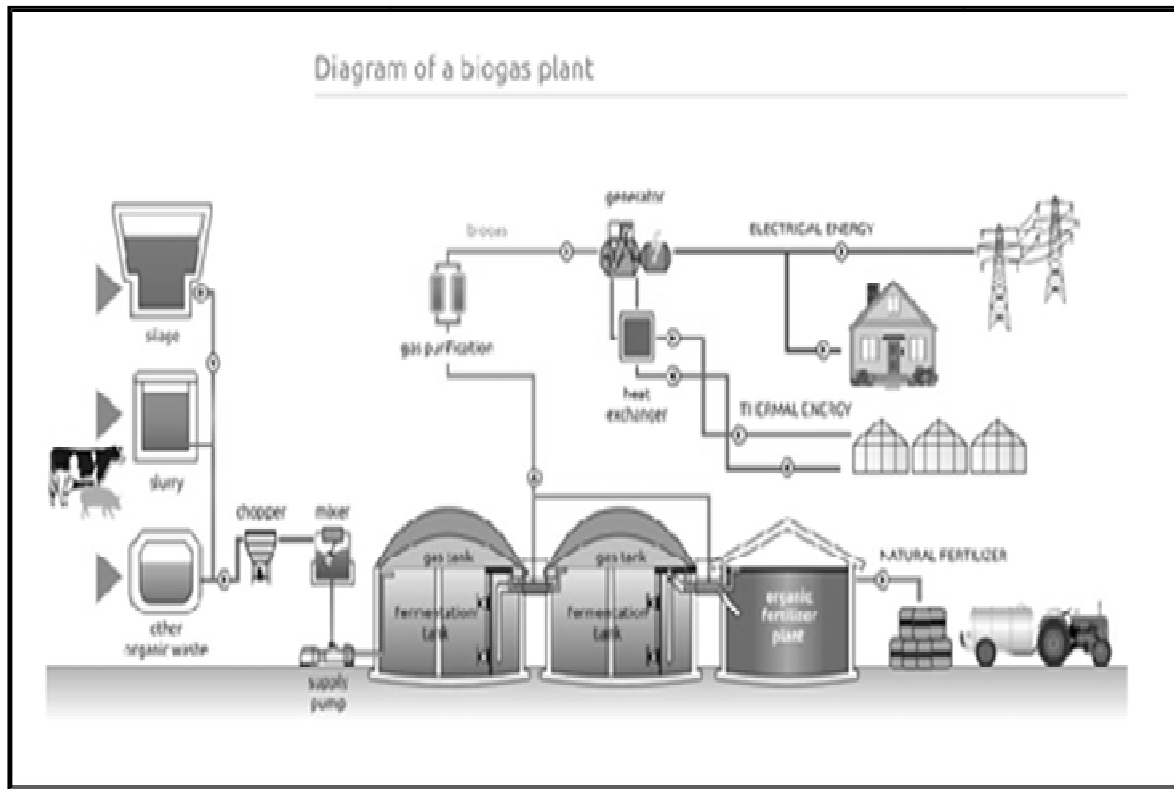
Το βιοαέριο παράγεται σε κατάλληλους χωνευτές (digesters) από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών αποβλήτων (λύματα χοιροστασιών, πτηνοτροφείων, βουστασιών), αποβλήτων αγροτο-βιομηχανικών μονάδων (κλαδέματα, υπολείμματα τροφίμων), λυμάτων βιολογικών καθαρισμών καθώς και από την αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος απορριμμάτων. Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) σε ποσοστό 55% έως 70% και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) σε ποσοστό 30% έως 45%, ενώ περιέχει σε μικρές συγκεντρώσεις άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία και υδρόθειο. Το βιοαέριο δύναται επίσης να παραχθεί με την τεχνολογία της αεριοποίησης, της θερμικής δηλαδή αποδόμησης οργανικού καυσίμου που αποτελείται από λιγνό-κυτταρινούχες πρώτες ύλες σε κατάλληλο διαμορφωμένο αεριοποιητή. Με τη διαδικασία της αεριοποίησης παράγεται αέριο σύνθεσης (Syngas). Το Syngas αποτελείται κυρίως από υδρογόνο (H_2 -22%), μονοξείδιο του άνθρακα (CO - 44,4%) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2 - 12,2%). Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης ψύχεται, καθαρίζεται και με προσθήκη υδρογόνου (H_2) και νερού (H_2O) μετατρέπεται σε βιοαέριο (CH_4 και CO_2) (Αγαπητίδης και Ζαφείρης, 2009).

Η διεργασία της Αναερόβιας Χώνευσης

Με τον όρο αναερόβια χώνευση νοείται η βιοχημική διεργασία κατά την οποία ο οργανικός άνθρακας μέσω διαδοχικών οξειδώσεων και αναγωγών μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα CO_2 και μεθάνιο CH_4 υπό την καταλυτική δράση ενός ευρέως φάσματος μικροοργανισμών, σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου.

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης διακρίνεται σε τρία ξεχωριστά στάδια: την υδρόλυση (οι οργανικές ενώσεις μακράς μοριακής αλυσίδας – πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη – διασπώνται σε ενώσεις μικρότερης μοριακής αλυσίδας), την οξυγένεση (οι οργανικές ενώσεις διασπώνται με τη δράση οξειογενών και οξικογόνων βακτηρίων σε οξικό οξύ, CH_3COOH , διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μικρής μοριακής αλυσίδας λιπαρά οξέα) και την

μεθανογένεση (παραγωγή μεθανίου λόγω της αποδόμησης του οξικού οξέος και της αντίδρασης του διοξειδίου του άνθρακα με το υδρογόνο) (Αγαπητίδης και Ζαφείρης, 2006).



Εικόνα 1. Διάγραμμα ροής μονάδας παραγωγής βιοαερίου
Foto 1. Flowchart of biogas plant

3.2 Οφέλη από τη χρήση του Βιοαερίου

Η παραγωγή και η αξιοποίηση του βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρισμού ή/ και θερμότητας παρέχει μια σειρά περιβαλλοντικών και κοινωνικό-οικονομικών πλεονεκτημάτων σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, ιδιαίτερα σε απομονωμένες περιοχές όπως είναι οι ορεινές.

Η χρήση βιοαερίου συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα με αποτέλεσμα τη βελτίωση του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας, την ενίσχυση της ασφάλειας του εθνικού ενεργειακού εφοδιασμού και τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Το χωνεμένο υπόλειμμα είναι πλούσιο σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο και ιχνοστοιχεία και μπορεί να εφαρμοστεί ως εδαφοβελτιωτικό. Σε σχέση με την ακατέργαστη ζωική στερεή κοπριά έχει βελτιωμένη ικανότητα λίπανσης, λόγω της ομοιογένειας και της υψηλότερης διαθεσιμότητας θρεπτικών. Ειδικότερα, οι απομακρυσμένες αγροκτηνοτροφικές περιοχές μπορούν να έχουν σημαντικό όφελος από μονάδες βιοαερίου, καθώς η ανάπτυξη τους συμβάλλει στη δημιουργία νέων δορυφόρων επιχειρήσεων, κάποιων με σημαντικό οικονομικό δυναμικό δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας.

Τέλος, η παραγωγή βιοαερίου είναι ένας άριστος τρόπος συμμόρφωσης με τους όλο και περισσότερο περιοριστικούς εθνικούς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς στον τομέα της αξιοποίησης των αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι μονάδες που λειτουργούν στην Ελλάδα έως το τέλος του έτους 2015.

Πίνακας 3. Επωνυμία, Θέση και Ισχύς λειτουργούντων σταθμών βιοαερίου, (Πηγή, www.resoffice.gr)

Table 3. Name, position and power of operating biogas power stations, (Source, www.resoffice.gr)

Επωνυμία	Περιφέρεια	Ονομαστική Ισχύς (MWel)
Βιοαέριο - Ενέργεια Άνω Λιόσια ΑΕ	ΑΤΤΙΚΗΣ	13,6
ΕΥΔΑΠ	ΑΤΤΙΚΗΣ	11,4
ΗΛΕΚΤΩΡ ΑΕ	Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	5,0
ΕΥΑΘ	Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	2,5
Βιοαέριο - Ενέργεια Άνω Λιόσια ΑΕ	ΑΤΤΙΚΗΣ	9,5
ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΕ	ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	1,3
ΔΕΥΑΛ	ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	0,6
Γκασνάκης Αντώνιος ΑΕ	Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	0,3
Μαρία Μητρογιάννη & ΣΙΑ Ε.Ε.	ΗΠΕΙΡΟΥ	0,2
ΦΑΡΜΑ - ΧΗΤΑΣ ΑΕ	ΗΠΕΙΡΟΥ	1,0
Αντώνιος Καρανίκας ΕΠΕ	Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	0,3
ΒΙΟΑΕΡΙΟ - Αφοι ΣΕΪΤΗ ΑΕ	ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	0,5
Gardano Enterprises	ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	0,5
ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ ΑΕ	ΑΝ. ΜΑΚ/ΝΙΑΣ-ΘΡΑΚΗΣ	0,3
ΜΑΤΙΖΙΟΝ Σύμβουλοι Μηχανικοί	ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	0,1
ΜΑΝΤΜΟΥΑΖΕΛ Α.Β.Ε.Ε.	ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	0,3
ΣΥΝΟΛΟ		47,2

4. Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η ανάλυση – αξιολόγηση εννέα (9) μονάδων παραγωγής βιοαερίου σε ότι αφορά τη συμβολή των εν λόγω δραστηριοτήτων στην οικονομική ευημερία της ευρύτερης περιοχής λειτουργίας τους. Ως εκ τούτου υπολογίζονται αντίστοιχα η κοινωνική καθαρή παρουσία αξία (ΚΚΠΑ) και ο κοινωνικός εσωτερικός βαθμός απόδοσης (ΚΕΒΑ).

Η οικονομική αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου πραγματοποιείται σε άμεση συνάρτηση με το «χρήστη» των αποτελεσμάτων. Γενικά, μπορούν να διακριθούν τρεις γενικές κατηγορίες χρηστών (Torrises, 1998):

- Ιδιώτες επενδυτές.
- Πιστωτικά ιδρύματα (π.χ. τράπεζες, εταιρείες επιχειρηματικού κεφαλαίου, μη-κερδοσκοπικοί οργανισμοί, κ.ά.).
- Κρατικοί φορείς (σε τοπικό ή εθνικό επίπεδο).

Κάθε ένας από τους παραπάνω φορείς εξετάζει το επενδυτικό σχέδιο με διαφορετικά κριτήρια και για το λόγο αυτό ενδέχεται να χρησιμοποιεί και διαφορετικές προσεγγίσεις. Γενικά, διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες μεθόδων αξιολόγησης, ήτοι η χρηματοοικονομική ανάλυση (financial investment analysis) και η κοινωνικοοικονομική

ανάλυση ή απλά ανάλυση κόστους - οφέλους (social cost-benefit analysis) (Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2008).

Η κοινωνικοοικονομική ανάλυση στοχεύει στη διόρθωση των οικονομικών μεγεθών της ιδιωτικής ανάλυσης, σύμφωνα με τις εξωτερικές οικονομίες (externalities) του έργου (θετικές και αρνητικές), δηλαδή κόστη και οφέλη που δεν αποτιμώνται με το συμβατικό μηχανισμό και τις τιμές της αγοράς. Με την προσέγγιση αυτή αξιολογείται η συμβολή του επενδυτικού σχεδίου στην οικονομική ευημερία μιας περιφέρειας ή ολόκληρης της χώρας. Επομένως, η αξιολόγηση διενεργείται για λογαριασμό ολόκληρης της κοινωνίας και όχι μόνο του ιδιώτη επενδυτή (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2005).

Σημείο έναρξης της οικονομικής ανάλυσης κόστους – οφέλους αποτελούν τα χρηματοοικονομικά δεδομένα του επενδυτικού σχεδίου. Με βάση τα δεδομένα αυτά πραγματοποιούνται μια σειρά διορθωτικών παρεμβάσεων στον πίνακα Ταμειακών Ροών (Πίνακας 4) της επένδυσης, σε σχέση με τις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σχεδίου.

Πίνακας 4. Διορθωτικές παρεμβάσεις στον πίνακα των ταμειακών ροών
Table4. Corrective interventions in the table of cash flows

Κατηγορία	Επίπτωση
Επιπτώσεις στους εργαζόμενους	
Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας	+
Επιπτώσεις στην κοινωνία - περιβάλλον	
Κοινωνικά και Περιβαλλοντικά οφέλη	+
Επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία	
Έσοδα από δημοτικό τέλος	+

Ο πίνακας των ταμειακών ροών στην περίπτωση της κοινωνικοοικονομικής ανάλυσης συντάσσεται με βάση τις λεγόμενες σκιώδεις ή κοινωνικές τιμές (shadow prices)¹ των αγαθών. Οι σκιώδεις τιμές διαφέρουν από τις αγοραίες τιμές των εισροών και εκροών του επενδυτικού σχεδίου όταν υπάρχουν στρεβλώσεις ή ατέλειες στο μηχανισμό της αγοράς (π.χ. δασμοί σε εισαγόμενα προϊόντα, επιδοτήσεις σε αγαθά, εξωτερικές οικονομίες λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας δραστηριότητας, κ.ά.).

Σε αυτή την κατεύθυνση, το πρώτο βήμα έγκειται στη διόρθωση του πίνακα των ταμειακών ροών χρησιμοποιώντας τιμές εισροών και εκροών απαλλαγμένες από ΦΠΑ και άλλους έμμεσους φόρους. Επιπλέον, για τα εμπορεύσιμα αγαθά που εισάγονται ή εξάγονται θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τιμές στα σύνορα (τιμές CIF² για τα εισαγόμενα και τιμές FOB³ για τα εξαγόμενα πάντα σε τιμές εγχώριου νομίσματος). Για τα μη εμπορεύσιμα αγαθά (π.χ. γη) πρέπει να καθορίζονται οι ισοδύναμες διεθνείς τιμές με τη βοήθεια κατάλληλου συντελεστή μετατροπής. Ο συνήθης συντελεστής μετατροπής (ΣΣΜ) μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια του ακόλουθου τύπου:

$$\Sigma\Sigma M = \frac{M + X}{(M + Tm) + (X - Tx)}$$

¹Οι χρησιμοποιούμενες για την κοινωνική και οικονομική αξιολόγηση τιμές που αντανακλούν τις πλήρεις συνέπειες της κρατικής ενέργειας, σε περίπτωση που οι τιμές αγοράς δεν αποδίδουν το πραγματικό οριακό κοινωνικό κόστος ή όφελος. Πηγή :«Οικονομική του Δημοσίου Τομέα», J. Stiglitz, Εκδόσεις Κριτική, 1992.

²Στις τιμές c.i.f. (Cost, Insurance, Freight) περιλαμβάνεται το κόστος, η ασφάλεια και ο ναύλος του αγαθού.

³Οι τιμές f.o.b. (Free On Board) δηλώνουν ότι ο πωλητής πληρώνει για τη μεταφορά του αγαθού μέχρι το λιμάνι μεταφοράς πλέον του κόστους φόρτωσης. Ο αγοραστής πληρώνει (εκτός από το κόστος του αγαθού) το μεταφορικό ναύλο, την ασφάλεια, την εκφόρτωση και τη μεταφορά του αγαθού μέχρι τον τελικό προορισμό.

όπου:

M = συνολικές εισαγωγές

X = συνολικές εξαγωγές

T_m = φορολογικές επιβαρύνσεις κατά την εισαγωγή

T_x = φορολογικές επιβαρύνσεις κατά την εξαγωγή

Εφόσον διορθωθούν οι αγοραίες τιμές των εισροών και εκροών με τις σκιώδεις ώστε να αντανακλούν το πραγματικό κόστος και όφελος για την κοινωνία, το τελικό βήμα για τη σύνταξη του πίνακα σε κοινωνικές τιμές είναι η ενσωμάτωση των εξωτερικών οικονομικών του έργου λόγω των επιδράσεων του στην ποιότητα του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση στη δημόσια υγεία και στην ποιότητα ζωής. Η αποτίμηση των αγαθών και των υπηρεσιών του περιβάλλοντος που επηρεάζονται από το υπό εξέταση επενδυτικό σχέδιο πραγματοποιείται με τη βοήθεια μεθόδων της Περιβαλλοντικής Οικονομίας, όπως η μέθοδος της Εξαρτημένης Αξιολόγησης, η Ανάλυση Αγορών Ωφέλιμων Χαρακτηριστικών, η εκτίμηση του Κόστους Αποφυγής, κ.ά. (βλ. ενδεικτικά: Pearce & Turner, 1990, Johansson, 1993, Pearce & Howarth, 2000, Freeman, 2003, κ.ά.).

Η επιλογή του επιτοκίου προεξόφλησης

Ο προσδιορισμός του επιτοκίου προεξόφλησης (δηλ. της ελάχιστης αποδεκτής απόδοσης) εξαρτάται (πέρα από τον πληθωρισμό, εφόσον αυτός λαμβάνεται υπόψη στην αξιολόγηση της επένδυσης) από το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου και από τον επιχειρηματικό κίνδυνο που ενέχει η συγκεκριμένη επένδυση. Έτσι, το απαιτούμενο επιτόκιο προεξόφλησης αντανακλά το κόστος μιας ασφαλούς επένδυσης προσαυξημένο κατά έναν αποδεκτό συντελεστή ασφάλειας, ο οποίος επηρεάζεται από ένα πλήθος παραγόντων. Ειδικά σε ότι αφορά στο κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για τον υπολογισμό του. Μία εξ αυτών είναι και η ακόλουθη (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2005):

$$r = n.g+p$$

όπου:

r = το πραγματικό κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης

n = η ελαστικότητα της κοινωνικής πρόνοιας σε σχέση με τις δημόσιες δαπάνες

g = το ποσοστό αύξησης των δημοσίων δαπανών

p = ο συντελεστής διαχρονικής προτίμησης⁴

Λαμβάνοντας υπόψη τη διεθνή βιβλιογραφία και πρακτική (π.χ. Pearce & Ulph, 1995), χρησιμοποιείται στην κοινωνικοοικονομική ανάλυση πραγματικό «κοινωνικό» επιτόκιο προεξόφλησης το 3%.

5. Παρουσίαση μονάδων και υπολογισμοί εξωτερικότητων

Στην παρούσα εργασία όπως έχει ήδη αναφερθεί μελετήθηκαν εννέα (9) εγκαταστάσεις βιοαερίου. Οι εν λόγω μονάδες καθώς και οι βασικές παραδοχές για την κοινωνικοοικονομική αξιολόγησή τους παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 5).

⁴Ο συντελεστής διαχρονικής προτίμησης p είναι ένας συντελεστής προεξόφλησης που δηλώνει μια υποκειμενική αποτίμηση της σχέσης μεταξύ παρούσας και μέλλουσας κατανάλωσης. Παρά την υποκειμενικότητά του θεωρείται σταθερός ανεξάρτητα από την χρονική περίοδο (δηλαδή, είναι ο ίδιος μεταξύ χρονικής στιγμής t και t+1, και t+s και t+s+1) και ισχύει για όλα τα άτομα στην οικονομία (Θεοχαράκης, 2007).

Πίνακας 5. Παρουσίαση Μονάδων
Table 5. Units Presentation

	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 3	Μονάδα 4	Μονάδα 5	Μονάδα 6	Μονάδα 7	Μονάδα 8	Μονάδα 9
Ισχύς (MWel)	0,4	3	2,262	0,25	1,6	0,19	0,99	0,24	3
Ενέργεια (MWh)	2.780	21.000	16.900	2.000	13.300	1.419,12	7.960	18.918	22.000
Περιοχή	Ρέθυμνο	Μεσολόγγι	Ορχομενός	Βέροια	Λαγκαδάς	Μέτσοβο	Σέρρες	Φιλιππιάδα	Φάρσαλα
Φυτικά Υπολείμματα (tn)	-	59.000	26.000	-	10.000	700	15.000	-	48.090
Ζωικά Υπολείμματα (tn)	33.120	30.000	20.000	1.350	56.700	10.700	42.000	124.473	74.415
Κόστος Επένδυσης (m€)	1,17	9	10	0,96	6,4	1,6	10,4	7	12
Ίδια Κεφάλαια (%)	25	25	30	50	13	70	50	50	25
Επιχορήγηση (%)	30	-	-	-	-	-	50	-	-
Δανεισμός (%)	45	75	70	50	87	30	-	50	75
Επιτόκιο Δανεισμού (%)	7	7,5	8	5,75	8	8	-	6,5	9
Αποπληρωμή Δανείου (έτη)	11	10	9	10	12	10	-	8	10
Εγγυημένη Τιμή (€)	209	230	230	230	230	230	209	230	230

5.1 Εξωτερικό όφελος από τη δημιουργία άμεσων θέσεων εργασίας

Σύμφωνα με τους Τουρκογιά και Μοιρασγεντή (2011), σχετικά με την ποσοτικοποίηση των πλεονεκτημάτων από τη δημιουργία θέσεων εργασίας στον τομέα των ΑΠΕ, οι μονάδες φωτοβολταϊκών και βιομάζας παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές, αναφορικά με τα οφέλη δημιουργίας θέσεων εργασίας. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς η χαμηλότερη τιμή των 3,41 €/MWh, προκειμένου τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι ασφαλή, δεδομένων των αβεβαιοτήτων, όπως αυτές παρουσιάζονται στην προαναφερθείσα εργασία:

- Όσον αφορά τις άμεσες επιπτώσεις στην απασχόληση, η μεθοδολογία των πινάκων εισροών – εκροών που εφαρμόζεται για την περίπτωση των ενεργειακών έργων εξαρτάται άμεσα από τους οικονομικούς δείκτες της περιοχής στην οποία βρίσκεται το έργο.
- Η άμεση απασχόληση που συνδέεται με την αξιοποίηση των τεχνολογιών ΑΠΕ υπολογίζεται με βάση την κατανομή των δαπανών στους διάφορους τομείς της οικονομίας, αντί να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα για την απασχόληση που έχουν καταγραφεί σε συγκεκριμένα ενεργειακά έργα.
- Επιπλέον, οι παράμετροι του εισοδήματος των εργαζομένων σε διάφορες τομείς της οικονομίας, η αξία του ελεύθερου χρόνου και οι επιπτώσεις που σχετίζονται με την υγεία και την ανεργία είναι πρόσθετες πηγές αβεβαιότητας.

Η επίδραση του έργου σε συμπληρωματικά αγαθά, σε έμμεσες θέσεις εργασίας, κ.λπ. δεν ελήφθη υπόψη, καθώς στην ανάλυση κόστους - οφέλους προτείνεται να λαμβάνονται υπόψη μόνο οι επιδράσεις του έργου στις πρωτογενείς αγορές (σε εκείνες δηλαδή που επηρεάζονται άμεσα) και να αγνοούνται τυχόν επιπτώσεις στις δευτερογενείς.

Δεν έχουν συνυπολογιστεί τα σχετικά οικονομικά στοιχεία και δεν λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς. Η απουσία τους οδηγεί σε συντηρητικότερες εκτιμήσεις.

5.2 Εξωτερικό όφελος από τη μείωση της αέριας ρύπανσης και της διαχείρισης των κτηνοτροφικών αποβλήτων

5.2.1 Αέρια Ρύπανση

Προκειμένου να υπολογιστούν τα περιβαλλοντικά οφέλη ή κόστη από τη λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου υπολογίζονται οι «διαφορικές» (incremental) εκπομπές αέριων ρύπων με και χωρίς το προτεινόμενο έργο και πιο συγκεκριμένα οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), διοξειδίου του θείου (SO₂), σωματιδίων (PM₁₀) και διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).

Συγκεκριμένα κάνοντας χρήση των μέσων συντελεστών εκπομπής αέριων ρύπων και CO₂ αφενός του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος αφετέρου μονάδων αναερόβιας χώνευσης βιοαερίου (Πίνακας 6) υπολογίζονται οι αποφευγόμενες ποσότητες NO_x, SO₂, PM₁₀ και CO₂, εξαιτίας της υποκατάστασης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας των συμβατικών μονάδων από τις μονάδες βιοαερίου.

Στη συνέχεια, προκειμένου να αποτιμηθούν τα εξωτερικά οφέλη από τη μείωση των αέριων εκπομπών λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα της σύμβασης Παροχής Υπηρεσιών για τη Διεξαγωγή αναλύσεων Κόστους – Οφέλους για την ποιότητα του αέρα στην Ευρώπη (CAFE, 2005⁵). Το κόστος για τα NO_x, το SO₂ και τα PM₁₀ για την Ελλάδα, σε τιμές 2005 (Πίνακας 7) σύμφωνα με την εν λόγω έκθεση, έχει υπολογιστεί στη βάση πέντε παραμέτρων που στηρίζονται στην αξία των απολεσθέντων ετών προσδόκιμου ζωής (Value of a Life Year lost - VOLY), στην αξία της στατιστικής ζωής (Value of Statistical Life – VSL), στη δημόσια υγεία, στην ευαισθησία στην υγεία, και στην αγροτική παραγωγή.

⁵ Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme

Πίνακας 6. Μέσοι συντελεστές εκπομπής αερίων ρύπων και CO₂
Table 6. Emission factors

Συντελεστές εκπεμπόμενων αερίων εγκαταστάσεων βιομάζας				
	CO ₂	SO ₂	NO _x	PM ₁₀
Μέσοι Συντελεστές Εκπομπής Ελληνικού Ηλεκτρικού Συστήματος (kg/MWh)	815	2,79	1,915	0,45
Μέσοι Συντελεστές Εκπομπής Μονάδων Βιοαερίου από ΑΧ Φυτικής Ύλης (kg/tn material)	9,8	0,0023	0,046	0,0017
Μέσοι Συντελεστές Εκπομπής Μονάδων Βιοαερίου από ΑΧ Ζωικής Ύλης (kg/tn material)	3,1	0,0008	0,015	0,0006
Μέσοι Συντελεστές Εκπομπής Μονάδων Βιοαερίου από ΑΧ Υπολειμμάτων Βιομηχανίας Τροφίμων. (kg/tn material)	3,6	0,0004	0,011	0,0004

(Πηγή: EEA, 2011⁶, Environmental systems analysis of biogas systems—Part I: Fuel-cycle emissions)

Πίνακας 7. Εξωτερικό κόστος αέριων εκπομπών (€/tn)

Table 7. External cost of gas emissions (€/tn)

Πηγή: (EEA, 2011), (IPCC, 2007), (DECC, 2011), (CAFE programme, 2005), (Environmental External Costs from Power Generation by Renewable Energies, 2004)

Εξωτερικό Κόστος Αερίων (€/tn)	
Ρύπος	<i>VOLY + VSL + health core + health sensitivity + crops</i>
SO ₂	4.000
PM ₁₀	28.774
NO _x	1.900

Σε ότι αφορά στην αποτίμηση του κόστους εκπομπών CO₂, η EEA (2011) υιοθέτησε την τιμή των 33,6 €/tn, στηριζόμενη σε μια μεθοδολογία που αναπτύχθηκε από την Κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου για την αποτίμηση του άνθρακα στη λήψη αποφάσεων για χάραξη πολιτικής (DECC⁷, 2011). Η τιμή αυτή αντανάκλα το οριακό κόστος μείωσης των εκπομπών και κυμαίνεται περίπου στο μέσο της εκτίμησης του σχετικού κόστους από την Έκθεση του Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007), η οποία αναφέρει ένα εκτιμώμενο εύρος (σε σημερινές τιμές) μεταξύ 3–70 €/tn CO₂. Στην παρούσα εργασία εκτός από την τιμή των 33,6 €/tn CO₂ διενεργήθηκαν υπολογισμοί χρησιμοποιώντας και την τιμή που προκύπτει από την ευρωπαϊκή ηλεκτρονική πλατφόρμα συναλλαγών δικαιωμάτων CO₂ (EEX), η οποία για το έτος 2014 ήταν ίση με 5,94 €/tn.

⁶ European Environment Agency, 2011. Revealing the costs of air pollution from industrial facilities in Europe, EEA Technical Report, 15/2011, 72 pp

⁷ Department of Energy and Climate Change, United Kingdom

5.2.2 Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων

Στο πλαίσιο του υπολογισμού των εξωτερικοτήτων υπολογίζεται το όφελος από τη διαχείριση των αποβλήτων. Συγκεκριμένα, αποτιμάται το περιβαλλοντικό όφελος που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση των κτηνοτροφικών αποβλήτων και των αποβλήτων μονάδων επεξεργασίας κτηνοτροφικών προϊόντων. Η οικονομική αποτίμηση πραγματοποιείται βάσει της προσέγγισης του αποφευγόμενου κόστους, το οποίο προκύπτει από τη μη διάθεσή των παραπάνω αποβλήτων σε Χ.Υ.Τ.Α. ή Χ.Α.Δ.Α..

Σύμφωνα με τη Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής⁸ το εξωτερικό κόστος από την απόρριψη των αποβλήτων σε Χ.Υ.Τ.Α αντιστοιχεί σε 11 € ανά τόνο αποβλήτου, ενώ σε Χ.Α.Δ.Α, αντιστοιχεί σε 20 € ανά τόνο αποβλήτου.

Σύμφωνα με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο και συγκεκριμένα με την ενότητα Β του νόμου 4042⁹ και του παραρτήματος 2 του νόμου 2727¹⁰ περί διαχείρισης αποβλήτων καθώς και του Κώδικα ορθής Γεωργικής Πρακτικής¹¹ τα αγροτικά υπολείμματα δε θεωρούνται απόβλητα δεδομένου ότι η προτεινόμενη πρακτική διαχείρισης τους συνίσταται στην καύση και ενσωμάτωσή τους στο έδαφος για λίπανση. Αντίθετα, τα υπολείμματα κτηνοτροφικών μονάδων απαιτούν κατάλληλη διαχείριση σε κοπροσορούς, όπου παραμένουν έως ότου χωνευθούν και αποβάλλουν τα στραγγίσματά τους, προτού διατεθούν στο έδαφος, ενώ τα υπολείμματα μονάδων επεξεργασίας κτηνοτροφικών προϊόντων πρέπει να διατεθούν σε Χ.Υ.Τ.Α.

Στο πλαίσιο αυτό το όφελος που προκύπτει από την αξιοποίηση των αγροτοκτηνοτροφικών υπολειμμάτων περιορίζεται στα κτηνοτροφικά απόβλητα και αντιστοιχεί όπως αναφέρθηκε σε 11 €/tn.

5.3 Διόρθωση της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας

Η Οριακή Τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ) είναι η τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και είναι η τιμή που εισπράττουν όλοι όσοι εγχέουν ενέργεια στο Σύστημα και πληρώνουν όλοι όσοι ζητούν ενέργεια από το Σύστημα. Συγκεκριμένα, η ΟΤΣ διαμορφώνεται από το συνδυασμό των προσφορών τιμών και ποσοτήτων που υποβάλλουν κάθε μέρα οι διαθέσιμες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και του ωριαίου φορτίου ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, που διαμορφώνεται σε καθημερινή βάση από τους καταναλωτές.

Για την κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση του έργου είναι απαραίτητη η «διόρθωση» της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από τις εξεταζόμενες μονάδες δεδομένου ότι παρουσιάζει «στρέβλωση», καθώς είναι επιδοτούμενη. Σε αυτή την κατεύθυνση, οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται λαμβάνουν υπόψη την ΟΤΣ. Η μέση τιμή για το 2012 κυμάνθηκε σε επίπεδα υψηλότερα των 50 €/MWh, ενώ για το 2013 κυμάνθηκε περί τα 40 €/MWh. Σύμφωνα με εκτιμήσεις ειδικών, η ΟΤΣ θα κυμαίνεται σε επίπεδα της τάξης των 70 €/MWh μέχρι το 2020. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, για τους υπολογισμούς ελήφθη τιμή ίση προς 65 €/MWh.

⁸ European Commission, DG Environment, A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste, Final Main Report, October 2000

⁹ ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4042 Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

¹⁰ Αριθ. Η.Π. 50910/2727 Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης

¹¹ ΥΑ 125347/568 (ΦΕΚ Β' 142/29.1.2004). Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής

5.4 Φόροι – Δασμοί – Επιχορηγήσεις – Κόστος Επένδυσης

Φόροι επί των κερδών

Δεν υπολογίστηκαν στις ταμειακές ροές της επένδυσης.

Τελωνειακοί δασμοί

Δεν υπήρχαν αναλυτικά στοιχεία διαθέσιμα στην οικονομική μελέτη και δεν ελήφθησαν υπόψη στους υπολογισμούς. Εφόσον ο εισαγόμενος εξοπλισμός προέρχεται κατά βάση από την ΕΕ δεν υφίστανται.

Επιχορηγήσεις

Ελήφθησαν υπόψη όπου υπήρχαν στοιχεία σχετικά και προσμετρήθηκαν τόσο στη χρηματοοικονομική, όσο και στην κοινωνικοοικονομική ανάλυση.

Κόστος επένδυσης

Έγινε από-φορολόγηση του συνολικού κόστους επένδυσης.

5.5 Λογιστική τιμή για το μισθό – Σκιώδης μισθός

Η λογιστική τιμή για το μισθό (σκιώδης μισθός, shadow wage) ορίζεται ως:

$$\alpha = \frac{(1-U)(1-T)(1-t)}{(1+TE)}$$

- Το ποσοστό ανεργίας για το σύνολο της χώρας εκτιμάται στο επίπεδο του 25%. Επομένως $U = 0,25$.
- Η εισφορά των εργοδοτών για την κοινωνική ασφάλιση των εργαζομένων τίθεται ίση με $TE=0,29135$, ως μέσος όρος των εισφορών της γενικής κατηγορίας επαγγελματιών (0,2806).
- Η εισφορά των εργαζομένων για την κοινωνική τους ασφάλιση τίθεται ίση με $T=0,16725$.
- Η μέση φορολογική επιβάρυνση είναι $t = 0,18$.

Άρα λοιπόν η σκιώδης τιμή για τη μισθοδοσία ορίζεται σε $\alpha = 0,403404654$

5.6 Χρήση Υποδομών – Έμμεσοι Φόροι

Στους υπολογισμούς δεν ελήφθησαν υπόψη, επίσης, τα ακόλουθα μεγέθη:

Επιπτώσεις λόγω χρήσης κοινών υποδομών

Τα μεγέθη αυτά δεν είναι σημαντικά λόγω της φύσης και των χαρακτηριστικών των έργων και κατά συνέπεια τα σχετικά οικονομικά μεγέθη κρίνονται αμελητέα.

Οφέλη από έμμεσους φόρους

Μια σημαντική επίδραση του έργου προέρχεται από το ΦΠΑ των πωλήσεων και των αγορών που εισπράττεται από το ελληνικό Κράτος. Δεδομένου ότι οι έμμεσοι φόροι δεν ελήφθησαν υπόψη στη χρηματοοικονομική μελέτη του έργου, δεν ήταν αναγκαίος ο υπολογισμός τους. Σημειώνεται ότι εάν τα παραπάνω μεγέθη είχαν συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς θα αυξανόταν το κοινωνικό όφελος του έργου.

5.7 Αποτίμηση εξωτερικότητων

Στους Πίνακες 8 και 9 αποτυπώνονται, για κάθε μία από τις εννέα (9) μονάδες βιοαερίου, η αποτίμηση των εξωτερικότητων που σχετίζονται με την υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων, τη διαχείριση των αποβλήτων και τη δημιουργία θέσεων απασχόλησης για διαφορετικές τιμές του εξωτερικού κόστους του CO₂.

Πίνακας 8. Εξωτερικό όφελος για τιμή CO₂ = 33, 6€/tn
Table 8. External benefit for CO₂ = 33, 6€/tn

Μονάδες Βιοαερίου	Περιβαλ/κό όφελος από την υποκατάσταση καυσίμου (€/MWh)	Περιβαλ/κό όφελος από τη διαχείριση αποβλήτων (€/MWh)	Κοινωνικό όφελος από τη δημιουργία θέσεων εργασίας (€/MWh)	Συνολικό Εξωτερικό όφελος (€/MWh)
1 ^η Μονάδα	53,31	130,95	3,41	187,67
2η Μονάδα	53,58	15,66	3,41	72,65
3η Μονάδα	54,40	12,98	3,41	70,80
4η Μονάδα	54,79	24,1	3,41	82,31
5η Μονάδα	53,90	62,52	3,41	119,84
6η Μονάδα	52,98	83,44	3,41	139,83
7η Μονάδα	53,45	58,00	3,41	114,86
8η Μονάδα	53,97	82,84	3,41	140,23
9η Μονάδα	53,51	42,08	3,41	99,01

Πίνακας 9. Εξωτερικό όφελος για τιμή CO₂ = 5, 94€/tn
Table 9. External benefit for CO₂ = 5, 94€/tn

Μονάδες Βιοαερίου	Περιβαλ/κό όφελος από την υποκατάσταση καυσίμου (€/MWh)	Περιβαλ/κό όφελος από τα διαχείριση αποβλήτων (€/MWh)	Κοινωνικό όφελος από τη δημιουργία θέσεων εργασίας (€/MWh)	Συνολικό Εξωτερικό όφελος (€/MWh)
1 ^η Μονάδα	31,79	130,95	3,41	166,14
2η Μονάδα	31,92	15,66	3,41	50,99
3η Μονάδα	32,27	12,98	3,41	48,67
4η Μονάδα	32,44	24,1	3,41	59,96
5η Μονάδα	32,07	62,52	3,41	98,00
6η Μονάδα	31,54	83,44	3,41	118,39
7η Μονάδα	31,86	58,00	3,41	93,27
8η Μονάδα	32,10	82,84	3,41	118,36
9η Μονάδα	31,89	42,08	3,41	77,39

6. Αποτελέσματα της αξιολόγησης και Συμπεράσματα

Ο διορθωμένος πίνακας ταμειακών ροών αποτελεί τη βάση για την κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση των εννέα (9) μονάδων βιοαερίου. Τα δύο συνηθέστερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι:

- το κριτήριο της Κοινωνικής Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΚΠΑ ή Social Net Present Value – SNPV) και
- το κριτήριο του Κοινωνικού Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (ΚΕΒΑ ή Social Internal Rate of Return – SIRR)

Οι όροι αποδοχής ή απόρριψής μιας επένδυσης σε σχέση με τα δύο αυτά κριτήρια διαμορφώνονται ως εξής:

α. Για την Κοινωνική Καθαρή Παρούσα Αξία

- ΚΚΠΑ > 0, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα για την κοινωνία
- ΚΚΠΑ = 0, το αποτέλεσμα της επένδυσης είναι οριακό
- ΚΚΠΑ < 0, η επένδυση θεωρείται κοινωνικά επιζήμια

β. Για τον Κοινωνικό Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης του κεφαλαίου:

- EBA > από το ελάχιστο αποδεκτό κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα για την κοινωνία
- EBA = με το ελάχιστο αποδεκτό κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται οριακή, εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση
- EBA < από το ελάχιστο αποδεκτό κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται.

Στην παρούσα εργασία, όπως έχει ήδη αναφερθεί, μελετήθηκαν εννέα πραγματικές περιπτώσεις εγκαταστάσεων βιοαερίου εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος έως και 3 MW_{el}. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάλυση προέκυψαν από τις άδειες παραγωγής και εγκατάστασης των μονάδων καθώς και από τις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι εκ των εννέα μονάδων οι δύο βρίσκονται σε λειτουργία (4^η και 8^η) ενώ οι υπόλοιπες έχουν εξασφαλίσει έγκριση περιβαλλοντικών όρων. Επιπλέον, οι μονάδες 1,4 και 8 ίδιο-διαχειρίζονται τα απόβλητά τους για παραγωγή βιοαερίου ενώ οι υπόλοιπες προμηθεύονται την πρώτη ύλη από γεωργοκτηνοτροφικές μονάδες της ευρύτερης περιοχής. Τέλος, όλες οι μονάδες που εξετάστηκαν είναι χωροθετημένες στην επαρχία, είτε σε πεδινές είτε σε ορεινές περιοχές και όλες χρησιμοποιούν φυτικά, ζωικά υπολείμματα και υπολείμματα γεωργοδιατροφικών βιομηχανιών. Στον Πίνακα 10 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα της κοινωνικοοικονομικής ανάλυσης.

Πίνακας 10. ΚΚΠΑ και ΚΕΒΑ για τιμή CO₂ = 33, 6€/tn και για τιμή CO₂ = 5, 94€/tn
Table10. SNPV and SIRR for CO₂ = 33, 6€/tn and for CO₂ = 5, 94€/tn

Μονάδες Βιοαερίου	Περιοχή εγκαταστάσης	Τιμή για CO ₂ = 33,6€/tn		Τιμή για CO ₂ = 5,94€/tn	
		ΚΚΠΑ (€)	ΚΕΒΑ (%)	ΚΚΠΑ (€)	ΚΕΒΑ (%)
1 ^η Μονάδα	Ρέθυμνο	8.356.649,30	48	7.465.809,79	43
2 ^η Μονάδα	Μεσολόγγι	-847.205,17	1.6	-7.639.041,20	-
3 ^η Μονάδα	Ορχομενός	-3.591.722,41	-	-9.169.463,45	-
4 ^η Μονάδα	Βέροια	3.534.451,01	39	2.842.372,92	32
5 ^η Μονάδα	Λαγκαδάς	13.394.928,05	25	9.048.588,07	18
6 ^η Μονάδα	Μέτσοβο	2.327.058,43	19	1.874.378,81	16
7 ^η Μονάδα	Σέρρες	7.905.091,22	12	5.346.122,12	9
8 ^η Μονάδα	Φιλιππιάδα	48.897.947,30	68	42.742.062,49	60
9 ^η Μονάδα	Φάρσαλα	-290.656,67	3	-7.412.055,76	-

Από την ανάλυση προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- i. Το ανηγμένο περιβαλλοντικό όφελος από την υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος των μονάδων και κυμαίνεται στα 53 €/MWh για τιμή CO₂ ίση με 33,6 €/tn και στα 32 €/MWh για τιμή CO₂ ίση με 5,94 €/tn (Πίνακας 8 και Πίνακας 9).
 - ii. Το ανοιγμένο περιβαλλοντικό όφελος από την υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων μειώνεται κατά 40% όταν για την αποτίμηση του κόστους των εκπομπών CO₂ χρησιμοποιείται η τιμή που προκύπτει από το χρηματιστήριο των ρύπων. Γεγονός που δημιουργεί ερωτηματικά σχετικά με το αν η τιμή του CO₂ που προκύπτει από τους μηχανισμούς της αγοράς αποτυπώνει το πραγματικό κοινωνικό κόστος.
 - iii. Το όφελος από τη διαχείριση των αποβλήτων κυμαίνεται από 12 – 140 €/MWh και εξαρτάται από το είδος του αποβλήτου καθώς και από το μέγεθος της μονάδας, το οποίο –μέγεθος– συνδέεται άμεσα με την ποσότητα των διαχειριζόμενων αποβλήτων (Πίνακας 8 και Πίνακας 9).
 - iv. Τρεις από τις εννέα εγκαταστάσεις (2^η, 3^η και 9^η) εμφανίζουν αρνητική κοινωνική καθαρή παρούσα αξία γεγονός που οφείλεται στο υψηλό κόστος μεταφοράς και απόκτησης της πρώτης ύλης (Πίνακας 10).
 - v. Όλες οι μονάδες που βρίσκονται σε ορεινές ή/και απομονωμένες περιοχές εμφανίζουν θετική ΚΚΠΑ και ΚΕΒΑ μεγαλύτερο από το κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης, γεγονός που καταδεικνύει ότι οι εν λόγω επενδύσεις εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη που δημιουργούν είναι και κοινωνικά επωφελείς.

Βιβλιογραφία

- European Commission DG Environment, Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme, 2005
- European Commission DG Environment, Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality, Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE: Volume 2: Health Impact Assessment, 2005
- European Commission, DG Environment, A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste, Final Main Report. 2000.
- European Commission, DG Environment, A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste. Final Report, 2000
- European Environment Agency, Revealing the costs of air pollution from industrial facilities in Europe, EEA Technical Report, 72 pp, 2011
- European Environment Agency. Revealing the costs of air pollution from industrial facilities in Europe, EEA Technical Report, 72 pp, 2011.
- Eurostat, «Share of renewable energy up to 13% of energy consumption in the EU27 in 2011,» Newsrelease 65/2013, 2013.
- Haas, R., Panzer, C., Resch, G., Ragwitz, M., Reece, G., & Held, A. A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries. Renewable and sustainable energy reviews, 15 (2), 1003-1034, 2011
- Held, A., Ragwitz, M., & Haas, R.. On the success of policy strategies for the promotion of electricity from renewable energy sources in the EU. Energy & Environment, 17 (6), 849-868, 2006
- Hurley, F., et al. "Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues." *Particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme*. AEA Technology Environment, 2005.

- IPCC, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Metz, B., Davidson, O. R., Bosch, P. R., Dave, R. and Meyer, L.A., (eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007
- Johansson, P-V., Cost-Benefit Analysis of Environmental Change. Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- MoPF and MoE. Guidelines for Cost Benefit Analysis of District Heating Projects to be Supported by the Cohesion Fund and the European Regional Development Fund in 2007-2013, Guidelines prepared under the coordination of the Authority for the Coordination of Structural Instruments with JASPERS assistance for the Romanian Ministry of Public Finance and Ministry of Environment, 2010.
- Pearce, D. and Howarth, A., Technical Report on Methodology: Cost Benefit Analysis and Policy Responses, RIVM report 481505020, National Institute of Public Health And The Environment, 2000.
- Pearce, D. and Turner, R.K., Economics of natural resources and the environment. Harvester Wheatsheaf, Hertfordshire, U.K, 1990.
- Pearce, D. and Ulph, D., A social discount rate for the United Kingdom, CSERGE Working Paper GEC 95-01, 1995
- Sorensen, Bent. Renewable Energy: Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics & Planning. Elsevier, 2011.
- Torries, T., Evaluating Mineral Projects: Applications and misconceptions. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, USA, 1998
- Tourkolias, C., and Mirasgedis S.. "Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.6: 2876-2886, 2011.
- UNION, PEAN. "DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.", 2009.
- Αγαπητίδης, Ι., Ζαφείρης, Χ. Αναβάθμιση Βιοαερίου σε Βιομεθάνιο, χρήση σαν καύσιμο μεταφορών ή έγχυσή του στο δίκτυο του Φ.Α, 3^ο Συνέδριο ΕΕΔΣΑ, 2009
- Αγαπητίδης, Ι., Ζαφείρης, Χ. Ενεργειακή αξιοποίηση του Βιοαερίου: Ευρωπαϊκές και Εθνικές προοπτικές, 2^ο Συνέδριο ΕΕΔΣΑ, Φεβρουάριος 2006.
- Καλιαμπάκος, Δ., Δαμίγος, Δ. Ανάλυση Κόστους — Οφέλους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, Αθήνα, ΕΜΠ, 2004
- Καλιαμπάκος, Δ., Δαμίγος, Δ. Βοηθητικές σημειώσεις για το ΔΠΜΣ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» Αθήνα, ΕΜΠ, 2010
- Λιαντινιώτη Κ., “Διερεύνηση δυνατοτήτων παραγωγής και αξιοποίησης βιοαερίου στην περιοχή του Μετσόβου”, Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2011.
- Μπαλάσκας Α., “Αξιολόγηση εξωτερικότητας εγκαταστάσεων βιοαερίου”, Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2015.

The benefits of decentralized power generation for the mountainous areas. Case Study: The biogas technology.

I. Doulos, Phd Candidate, NTUA

Laboratory of Mining Engineering and Environmental Mining, NTUA

A. Balaskas, Agriculturist, AUA, MSc «Environment and Development of Mountainous Areas»

Laboratory of Mining Engineering and Environmental Mining, NTUA

Abstract

Isolated areas, such as the mountainous ones may significantly benefit from the penetration of renewable energy sources. Besides, the use of local, renewable energy resources is an important precondition for the achievement of international policy for the integrated development of mountainous areas (chap. 13, Agenda 21 of the UN).

A local renewable energy source is the biomass. There are several ways of utilization, while the more frequents are the, direct combustion and the anaerobic digestion. The use of the technology of anaerobic digestion for isolated areas may be very profitable because, among others combines the production of "clean" energy, the integrated waste management, the creation of new jobs and the improvement of the security of energy supply.

The present study attempts a detailed documentation of the benefits arising from the installation and operation of biogas plants in the mountainous areas as well as the assessment of externalities of such facilities.

More specifically, using real data from nine (9) biogas plants, two of which operate, while the others are in various stages of the licensing process, it is attempted:

- the documentation and the calculation of the external benefits, resulting from the operation of these units and
- the socio economic evaluation of the units, using the cost benefit analysis tool.

The main conclusions of the analysis are the following:

- The environmental benefit from the substitution of fossil fuels is independent of the units size and is equal to 53 €/MWh (for CO₂ external cost equal to 33,6 €/tn) and to 32 €/MWh (for CO₂ external cost equal to 5,94 €/tn).
- The benefit of the waste management ranges from 12 up to 140 €/MWh, depending on the composition of the waste and on the size of the unit, which is directly related to the amount of the waste.
- All the units located in mountainous and/or isolated areas, have positive Social Net Present Value and at the same time they have Social Internal Rate greater than the social discount rate, fact that indicates that these investments have both environmental and social benefits.