

**Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας -
Υποστήριξη των Ενεργειακών Πολιτικών σε Τοπικό Επίπεδο**
ENER SUPPLY

**ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**



Jointly for our common future

ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΕΡΓΟ

Το Εγχειρίδιο Κατάρτισης στις ΑΠΕ αναπτύχθηκε από τα μέλη του εταιρικού σχήματος του έργου με τον τίτλο “ENergy Efficiency and Renewables – SUPporting Policies in Local level for EnerGY” (αντίστοιχος Ελληνικός: «Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας - Υποστήριξη των Ενεργειακών Πολιτικών σε Τοπικό Επίπεδο») - ENER SUPPLY, το οποίο υλοποιήθηκε με την συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέσω του Προγράμματος Διακρατικής Συνεργασίας για τη Νοτιοανατολική Ευρώπη (SEE). Το έργο είχε ως στόχο την ενίσχυση της θεσμικής ικανότητας των τοπικών και περιφερειακών αρχών ως προς τον σχεδιασμό και την διαχείριση πολιτικών και δράσεων στον τομέα της αιφόρου ενέργειας.

Στα πλαίσια του έργου πραγματοποιήθηκαν 11 σεμινάρια κατάρτισης στις έντεκα χώρες¹ της ΝΑ Ευρώπης που συμμετείχαν στο έργο. Συνολικά πάνω από 83 τοπικοί φορείς και περισσότεροι από 200 υπάλληλοι και ειδήμονες από διάφορα τοπικά διαμερίσματα παρακολούθησαν τα εν λόγω σεμινάρια.

Το Εγχειρίδιο Κατάρτισης αποτελεί από μόνο του ένα ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό εργαλείο και βασίζεται στην εμπειρία που προέκυψε από την υλοποιηθείσα κατάρτιση. Αναπτύχθηκε από μία ομάδα ειδικών και μεταφράστηκε σε όλες τις γλώσσες των εταίρων του έργου.

Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το έργο μπορείτε να συμβουλευτείτε την ιστοσελίδα του έργου: www.ener-supply.eu, στην οποία μπορείτε επίσης να βρείτε τον σύνδεσμο για την πλατφόρμα ηλεκτρονικής εκπαίδευσης (e-learning).

¹ Τα κύρια εμπλεκόμενα διαμερίσματα είναι τα εξής: Κορυτσά και Τίρανα (Αλβανία), Καντόνι της Κεντρικής Βοσνίας (B&E), Περιφέρεια του Ντόμπριτς, Δήμος του Ντόμπριτς, Dolni Chiflik, Beloslav (Βουλγαρία), Σπλιτ, Επαρχία της Δαλματίας (Κροατία), Περιφέρεια Πελοποννήσου (Ελλάδα), Επαρχία Κομάρομ-Esztergom, Μητροπολιτική Περιοχή της Βουδαπέστης (Ουγγαρία), Μητροπολιτική Περιοχή της Potenza (Ιταλία), Επαρχία της Ialomița, Επαρχία της Dambovită (Ρουμανία), Επαρχία της Βοϊβοντίνα (Σερβία), Μητροπολιτική Περιοχή του Košice (Σλοβακία), Οχρίδα, Σκόπια (ΠΓΔΜ).

Οι συγγραφείς

ΒΙΟΜΑΖΑ

Καθ. Giovanni Riva

Είναι καθηγητής στο Πολυτεχνείο του Marche (UNIVPM) με σημαντική επιστημονική ερευνητική δραστηριότητα σχετικά με τις μεθόδους και τεχνολογίες για την παραγωγή και την εξοικονόμηση ενέργειας με την χρήση βιομάζας. Σε εθνικό και διεθνές πλαίσιο (π.χ. στην Ανατολική Ευρώπη, την Ασία, την Αφρική και την Νότιο Αμερική), στα πλαίσια της Διεθνούς Οργάνωσης Τροφίμων και Γεωργίας – FAO – των Ηνωμένων Εθνών και έργων της Ε.Ε., έχει υλοποιήσει καινοτόμες μονάδες και συστήματα για την συλλογή δεδομένων.

Καθ. Ester Foppapedretti

Είναι καθηγήτρια στο Πολυτεχνείο του Marche (UNIVPM) με επιστημονικό ενδιαφέρον στον μηχανολογικό και γεωργικό εξοπλισμό, την ενέργεια και την αποθήκευση των προϊόντων βιομάζας. Τα βασικά πεδία έρευνάς της αφορούν την μελέτη της γεωργικής μηχανοποίησης, την ανάλυση των ικανοτήτων των μηχανών, τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τις πηγές ενέργειας και την μελέτη της διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων.

Δρ. Carla de Carolis

Είναι ερευνήτρια στο UNIVPM με επιστημονικά ενδιαφέροντα στην Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (LCA), τον χωροταξικό σχεδιασμό και την ανάλυση της βιομάζας. Σπούδασε με υποτροφία του Ερευνητικού Προγράμματος Marie Curie στο IFRF (International Flame Research Foundation). Από το 2007 εργάζεται σε ερευνητικές δραστηριότητες σχετικές με την ενέργεια στα πλαίσια έργων των προγραμμάτων IEE και INTERREG της Ε.Ε.

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Κος Ελευθέριος Γιακουμέλος

Είναι Φυσικός (απόφοιτος του Πανεπιστημίου της Πάτρας). Τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια εργάζεται στο ΚΑΠΕ. Κατά τη διάρκεια των πρώτων 8 ετών εργάστηκε στο Τμήμα Οικονομικών Υπηρεσιών, όπου είχε ως κύριες ασχολίες την οικονομική παρακολούθηση, τον έλεγχο και την διοικητική υποστήριξη ερευνητικών προγραμμάτων. Τα τελευταία 7 έτη είναι συνεργάτης του Τμήματος Εκπαίδευσης, όπου απασχολείται με την υλοποίηση προγραμμάτων κατάρτισης, μελετών και αναλύσεων απαιτήσεων της αγοράς.

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Δρ. Χαράλαμπος Μαλαματένιος

Είναι κάτοχος Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού και Διδάκτορας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Εργάζεται στο ΚΑΠΕ από το 1997, όπου και ασχολείται με την διοργάνωση και την υλοποίηση εκπαιδευτικών προγραμμάτων και προγραμμάτων κατάρτισης στα θέματα των ΑΠΕ και της Ενεργειακής Αποδοτικότητας που απευθύνονται σε διάφορες ομάδες-στόχους, την ανάπτυξη των σχετικών εργαλείων κατάρτισης, καθώς και με τον σχεδιασμό και την διεξαγωγή μελετών ανάλυσης αναγκών.

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Καθ. Patrizio Signanini

Αποφοίτησε από το Τμήμα Γεωλογικών Επιστημών του Πανεπιστημίου του Trieste το 1971, με εξειδίκευση στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική στην Υδρογεωλογία. Έχει υλοποιήσει εργασίες και δραστηριότητες παροχής συμβουλών στην Ιταλία και σε άλλες χώρες. Διετέλεσε καθηγητής της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής στα Πανεπιστήμια του Camerino και της Ancona. Από το 2001 είναι επιστημονικός υπεύθυνος της ερευνητικής συμφωνίας με την εταιρία Lotti Associati SpA σχετικά με ταμειυτήρες νερού σε υποτροπικές περιοχές. Είναι συγγραφέας 50 περίπου επιστημονικών δημοσιεύσεων.

Κος Giancarlo Crema

Αποφοίτησε από το Τμήμα Γεωλογικών Επιστημών του Πανεπιστημίου του Τορίνο το 1963 και από το Τμήμα Χημείας του ίδιου πανεπιστημίου το 1968. Διετέλεσε αναλυτής και ερευνητής των πετρωμάτων, του νερού και του εδάφους στο Πανεπιστήμιο του Τορίνο και έχει εργασθεί ως επιβλέπων και διευθυντής πολλών έργων στη Ιταλία. Έχει διατελέσει καθηγητής Υδρογεωλογίας στο Πανεπιστήμιο του Camerino. Από το 1994 είναι Καθηγητής Εφαρμοσμένης Υδρογεωλογίας και Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας στο Πανεπιστήμιο του Chieti-Pescara. Είναι συγγραφέας 50 περίπου επιστημονικών δημοσιεύσεων.

Κα Micaela Di Fazio

Είναι απόφοιτη Γεωλογικών Επιστημών του Πανεπιστημίου "UNIROMA 3" της Ρώμης και από το 2009 του Πανεπιστημίου "G. D'Annunzio" του Chieti-Pescara. Είναι υποψήφια διδάκτορας στο Πανεπιστήμιο "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara από το 2010, συνεργάζεται με το Ινστιτούτο Προηγμένων Βιοιατρικών Τεχνολογιών (ITAB) και με σώμα της Κρατικής Δασοκομίας για την πραγματοποίηση θερμογραφικών ερευνών στο έδαφος και μέσω ελικοπτέρου σε ρυπασμένες περιοχές και χωματερές.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Καθ. Jozef Gajdoš

Είναι απόφοιτος του Οικονομικού Πανεπιστημίου, Σχολή Διοίκησης Επιχειρήσεων. Διαθέτει 24-ετή εμπειρία στην Υλικοτεχνική υποστήριξη (logistics), την Διαχείριση έργων, την Οικονομική και Χρηματοοικονομική Ανάλυση. Από το 1990 εργάζεται στο Οικονομικό Πανεπιστήμιο της Μπρατισλάβας, στη Σχολή Διοίκησης Επιχειρήσεων του Košice, ως βοηθός καθηγητή με εξειδίκευση στα logistics. Είναι συγγραφέας 30 περίπου επιστημονικών δημοσιεύσεων.

Καθ. Rastislav Ručinský

Είναι απόφοιτος του Οικονομικού Πανεπιστημίου, Σχολή Διοίκησης Επιχειρήσεων. Διαθέτει εμπειρία 9 ετών στην Διαχείριση έργων και την Οικονομική και Χρηματοοικονομική Ανάλυση. Είναι Αντιπρύτανης Ανάπτυξης, Informatization και Δημοσίων Σχέσεων και βοηθός καθηγητή στη Σχολή Διοίκησης Επιχειρήσεων του Košice (Οικονομικό Πανεπιστήμιο της Μπρατισλάβας). Ολοκλήρωσε τις διδακτορικές σπουδές του το 2004 στο ίδιο Πανεπιστήμιο. Είναι συγγραφέας 30 περίπου επιστημονικών δημοσιεύσεων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο ENER SUPPLY ωφελήθηκε επιπρόσθετα από την γενναιόδωρη συμβολή σε χρόνο και γνώσεις από μία ευρεία ομάδα επιστημόνων. Η υλοποίησή του δεν θα ήταν δυνατή χωρίς αυτή. Στην εν λόγω ομάδα περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων ο Καθ. Knezevic, η Δρα Masa Bukurov, η Αρχ. Margareta Zidar, η Μηχ. Patrizia Carlucci, και η Δρα Jana Nascakova.

Ο συντονισμός και οι δραστηριότητες σχεδιασμού κατά την ετοιμασία του Εγχειριδίου καθώς και όλων των δραστηριοτήτων κατάρτισης έγιναν από τον κο Marco Caronigro και τον κο Azrudin Husika.

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει σε μία συγκεκριμένη ομάδα ατόμων. Πρόκειται για τους υπαλλήλους των Τοπικών και Περιφερειακών Αρχών οι οποίοι έλαβαν μέρος στα σεμινάρια κατάρτισης σε ολόκληρη την Νοτιοανατολική Ευρώπη κατά τη διάρκεια του έργου ENER SUPPLY, και χάρη στην συμμετοχή, τα σχόλια και τις παρατηρήσεις των οποίων κατέστη δυνατόν να αναθεωρηθεί και να προσαρμοστεί το εκπαιδευτικό υλικό στις πραγματικές ανάγκες τους. Επίσης στο JTS, το οποίο αναγνώρισε τη δυναμική αξία αυτού του έργου και κατέστη μία θύρα ανοιχτή στη συζήτηση των αναγκών.

Αξίζει, τέλος, να γίνει ιδιαίτερη αναφορά στην ομάδα συνεργατών του ΚΑΠΕ που ασχολήθηκαν με την μετάφραση και την προσαρμογή των κειμένων στα Ελληνικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, στην ομάδα αυτή συμμετείχαν ο κος Ελευθέριος Γιακουμέλος (Κεφάλαια ΜΥΗ και Γεωθερμίας), ο κος Ιωάννης Ελευθεριάδης (για το Κεφάλαιο της Βιομάζας), και οι κυρίες Γεωργία Βεζυργιάννη και Ευτυχία Μαύρου (από το Τμήμα Εκπαίδευσης του ΚΑΠΕ). Τον συντονισμό και την ευθύνη της ομάδας αυτής είχε ο Δρας Χαρ. Μαλαματένιος (επιστημονικός υπεύθυνος του έργου ENER SUPPLY από πλευράς ΚΑΠΕ).

Αποποίηση ευθυνών

Η ευθύνη για τις πληροφορίες και τις απόψεις που περιέχονται σ' αυτό το Εγχειρίδιο βαρύνει αποκλειστικά τους συγγραφείς. Οι απόψεις αυτές δεν εκφράζουν απαραίτητα τις απόψεις ή τις θέσεις της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, που συγχρηματοδότησε το έργο. Παρότι τα δυνατά σημεία αυτού του Εγχειριδίου έχουν χωρίς αμφιβολία επωφεληθεί από την διορατικότητα πολλών άλλων, οποιαδήποτε λάθη ή παραλείψεις είναι αποκλειστική ευθύνη των συγγραφέων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιταχυνόμενη αύξηση των εκπομπών αερίων φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ) αποτελεί ένδειξη για μία αυξανόμενη απειλή ανεξέλεγκτης κλιματικής αλλαγής, με πιθανές καταστροφικές συνέπειες για τον άνθρωπο. Η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), σε συνδυασμό με την βελτίωση της αποδοτικότητας της ενέργειας τελικής χρήσης (ΕΑ), μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, στον περιορισμό των εκπομπών ΑΦΘ και, με τον τρόπο αυτό, στην αποτροπή της επικίνδυνης κλιματικής αλλαγής².

Το μη αξιοποιημένο δυναμικό βιομάζας, ηλιακών, υδροηλεκτρικών, αιολικών και γεωθερμικών πηγών είναι ακόμη υψηλό. Εντούτοις, κατά τα τελευταία χρόνια και λόγω σημαντικών δημόσιων κινήτρων υπό τη μορφή ευνοϊκών (εγγυημένων) τιμών πώλησης της παραγόμενης από ΑΠΕ ενέργειας, σε πολλές χώρες της Ευρώπης η ανάπτυξη του εν λόγω τομέα έχει παρουσιάσει μία προοδευτικά ανοδική τάση.

Η Ε.Ε. είχε υιοθετήσει την δική της στρατηγική για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, μέχρι την υιοθέτηση ενός σχεδίου για την αειφόρο ανάπτυξη, το «Europa 2020», στο οποίο έθεσε φιλόδοξους στόχους από ενεργειακής άποψης (τον αποκαλούμενο στόχο 20-20-20). Η μετατόπιση προς μία οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα απαιτεί έναν δημόσιο τομέα ικανό να αναγνωρίζει και να υποστηρίζει τις οικονομικές δυνατότητες. Ιδιαίτερα, ο τοπικός δημόσιος τομέας μπορεί να διαδραματίσει έναν στρατηγικό ρόλο ως διαχειριστής της επικράτειας και ως τελικός υπεύθυνος για την υλοποίηση των δημόσιων πολιτικών. Επομένως, στο πεδίο της αειφόρου ενέργειας, έχει βαρύνουσα σημασία η ενίσχυση των ικανοτήτων του δημόσιου τομέα σε τοπικό επίπεδο μέσω της ενδυνάμωσης του εργατικού δυναμικού του.

Αυτός είναι και ο πρωταρχικός σκοπός του Εγχειριδίου: η ενδυνάμωση μέρους των δεξιοτήτων και ικανοτήτων των εργαζομένων στους ΟΤΑ στον τομέα του σχεδιασμού και της διαχείρισης των διαθέσιμων ΑΠΕ. Το Εγχειρίδιο περιλαμβάνει εκτενή ανάλυση των διάφορων μεθοδολογιών που ακολουθούνται, και είναι δομημένο σε τέσσερις ενότητες, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε μία από τις βασικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:

- (1) βιομάζα,
- (2) γεωθερμία,
- (3) υδροηλεκτρική ενέργεια,
- (4) αιολική ενέργεια.

Ο στόχος του Εγχειριδίου είναι να παρουσιάσει μία καλή επισκόπηση των ΑΠΕ (δεν γίνεται αναφορά, καθώς δεν προβλεπόταν στο συμβόλαιο του έργου, στην ηλιακή ενέργεια και τις ποικίλες εφαρμογές της), των βασικών τεχνολογικών επιτευγμάτων, καθώς και ορθών πρακτικών εφαρμογής, σε συνδυασμό με εφαρμόσιμα παραδείγματα αξιοποίησης αυτών των πηγών. Το κείμενο τείνει – όσο αυτό είναι δυνατό - επίσης να εστιάσει σε πιθανές αρχές σχεδιασμού, όπως είναι το πώς μπορεί να δημιουργηθεί ένα χάρτης ώστε να προσδιοριστεί και να γίνει μία πρώτη εκτίμηση του δυναμικού κάθε πηγής, καθώς επίσης και στο πώς μπορεί να συνταχθεί μία μελέτη σκοπιμότητας. Οι πληροφορίες που παρέχονται βασίζονται στη σχετική διεθνή βιβλιογραφία. Η έκδοση περιλαμβάνει στο τέλος της ένα συνοπτικό παράρτημα το οποίο αναφέρεται στην οικονομική αξιολόγηση, και είναι πολύ χρήσιμο για όσους δεν είναι ιδιαίτερα εξοικειωμένοι με τις έννοιες αυτές.

² Οι ανθρώπινες δραστηριότητες του ενεργειακού τομέα συμβάλουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της Ευρωπαϊκής Κοινότητας κατά 78% (Οδηγία 2006/32/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου ης 5^{ης} Απριλίου 2006 για την αποδοτικότητα της ενέργειας τελικής χρήσης και τις ενεργειακές υπηρεσίες, διόρθωση της Οδηγίας 93/76/ΕΕΚ του Συμβουλίου).

Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η ευχή μας είναι αυτή η εργασία / αυτό το Εγχειρίδιο να μπορέσει να συμβάλει στο να ξεπεραστούν τα υφιστάμενα εμπόδια για την ανάπτυξη των ΑΠΕ σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, και ειδικότερα στις χώρες της Νοτιοανατολικής Ευρώπης.

Marco Caponigro



Azrudin Husika



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

1. ΠΛΑΙΣΙΟ.....	15
2. ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΙΑ.....	15
2.1 Ορισμός της βιομάζας.....	15
2.2 Βιομάζα και αειφορία	16
2.3 Το σχέδιο αειφορίας της Ε.Ε. για τα βιοκαύσιμα.....	18
3. ΒΙΟΜΑΖΑ	19
3.1 Είδη βιομάζας	19
3.1.1 Βιομάζα από ενεργειακές καλλιέργειες.....	19
3.1.2 Βιομάζα από υπολείμματα και απόβλητα	22
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	27
4.1 Ταξινόμηση της βιομάζας	27
4.2 Εκτίμηση του δυναμικού βιομάζας.....	29
4.3 Υπολογισμός του δυναμικού της βιομάζας	31
4.3.1 Δυναμικό βιομάζας από ενεργειακές καλλιέργειες	31
4.3.2 Δυναμικό βιομάζας από υπολείμματα και απόβλητα.....	34
4.4 Υπολογισμός της διαθέσιμης βιομάζας	39
5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ - ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	40
5.1 Ολοκλήρωση μεταξύ των τεχνολογιών: γενικές απόψεις	43
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	43
ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ.....	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	53
1.1 Βασικοί ορισμοί και διεργασίες.....	53
1.2 Πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών.....	54
2. ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ.....	55
2.1 Ύψος πτώσης και ροή.....	55
2.2 Ισχύς και ενέργεια	56
2.3 Τα κύρια μέρη ενός μικρού υδροηλεκτρικού σχήματος.....	56
3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	57
3.1 Επισκόπηση	57
3.2 Είδη υδροστροβίλων κατάλληλοι για ΜΥΗ.....	58
3.3 Κριτήρια επιλογής στροβίλου	61
3.4 Αποδοτικότητα του υδροστροβίλου	62
3.5 Έλεγχος	63
3.6 Προφύλαξη.....	64
3.6.1 Προστατευτικές σήτες.....	64
3.6.2 Αυτόματοι καθαριστές	65
3.6.3 Προφύλαξη των ψαριών.....	66
4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΡΟΥ	67
4.1 Εισαγωγή.....	67
4.2 Εθνικό και περιφερειακό επίπεδο.....	68
4.2.1 Περιφερειακά μοντέλα διάρκειας της ροής.....	69
4.2.2 Τηλεπισκοπικά δεδομένα για την ανάλυση των λεκανών απορροής.....	70
4.2.3 Ψηφιακά μοντέλα εδάφους	70
4.3 Εκτίμηση του πόρου σε τοπικό επίπεδο (συγκεκριμένη θέση)	70
4.3.1 Μέτρηση του ύψους πτώσης.....	71

4.3.2 Μέτρηση της παροχής	72
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΩΝ ΜΥΗ	74
5.1 Γενικές αρχές	74
5.2 Περιγραφή της γεωγραφικής βάσης δεδομένων του συστήματος	76
5.3 Μεθοδολογική προσέγγιση υπολογισμού του εκμεταλλεύσιμου δυναμικού των Μικρών Υδροηλεκτρικών	78
5.3.1 Μοντέλο δεδομένων υδατορευμάτων.....	78
5.3.2 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους και υδατορεύματα	79
5.3.3 Τοπολογικό μοντέλο υδατορεύματος.....	80
5.3.4 Παραγωγή ενέργειας από μικρά υδροηλεκτρικά έργα.....	82
6. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ	86
6.1 Προκαταρκτικές ενέργειες.....	86
6.1.1 Αναζήτηση επαγγελματικής βοήθειας.....	86
6.1.2 Προκαταρκτική αξιολόγηση της τοποθεσίας.....	86
6.2 Μελέτη σκοπιμότητας	87
ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ.....	89
ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1. Ο ΑΝΕΜΟΣ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	95
1.1 Ονομαστική ισχύς ανεμογεννήτριας (Α/Γ).....	96
1.2 Εξαγωγή ισχύος από μια Α/Γ.....	97
1.3 Μεταβλητότητα του ανέμου	98
1.4 Μεταβολή με το χρόνο	100
2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.....	101
2.1 Εισαγωγή.....	101

2.2 Προσδιορισμός των τοπικών συνθηκών.....	101
2.3 Η διαδικασία που ακολουθείται.....	103
3. ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ	105
3.1 Κατανομές ταχύτητας του ανέμου.....	105
3.2 Μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου	106
3.3 Παρουσίαση των αποθηκευμένων δεδομένων	110
3.4 Ανάλυση των επιτόπιων μετρήσεων.....	111
4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	113
4.1 Υπολογισμός της ΕΕΠ με χρήση ιστογράμματος της ταχύτητας του ανέμου.....	113
4.2 Υπολογισμός της ΕΕΠ με την χρήση της θεωρητικής κατανομής της ταχύτητας του ανέμου.....	115
5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ	115
5.1 Πρόσβαση στη θέση.....	116
5.2 Ένταξη στο δίκτυο.....	116
5.2.1 Δημόσιο ηλεκτρικό σύστημα μεταφοράς και διανομής.....	116
5.2.2 Σχεδιασμός της σύνδεσης.....	117
5.3 Άλλα θέματα που επηρεάζουν την επιλογή της θέσης.....	118
5.3.1 Θέματα που αφορούν τις τοπικές κοινωνίες.....	119
5.3.2 Αποφυγή της άγριας φύσης και άλλων ευαίσθητων περιοχών	123
5.4 Προγραμματισμός μιας αιολικής εγκατάστασης.....	125
6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	126
6.1 Εισαγωγή.....	126
6.2 Περιγραφή της μεθοδολογίας.....	126
ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ.....	130

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1. Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	139
1.1 Περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμικής ενέργειας	139
1.2 Γεωθερμική βαθμίδα θερμοκρασίας.....	140
2. ΤΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	141
2.1 Γεωθερμικά συστήματα.....	141
2.2 Η έννοια της ενθαλπίας.....	142
3. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ	144
3.1 Άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας	145
3.1.1 Η αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας	145
3.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	146
4. ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	148
4.1 Μέθοδοι διερεύνησης.....	149
4.1.1 Απαιτούμενα δεδομένα	149
4.1.2 Διαθεσιμότητα δεδομένων σε διάφορες χώρες	151
4.1.3 Μεθοδολογία ανάπτυξης ενός χάρτη γεωθερμικού δυναμικού	153
4.1.4 Εφαρμογή των ΓΣΠ στις γεω-επιστήμες	153
4.1.5 Παράδειγμα ενός χάρτη γεωθερμικού δυναμικού	155
ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ.....	164

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΑΠΕ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	175
2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ	175
2.1 Βασικές έννοιες	175
2.2 Βασικές μέθοδοι για την αξιολόγηση των φυσικών πόρων.....	177

2.3 Τα βασικά οικονομικά προβλήματα	178
2.4 Ανάλυση κόστους - οφέλους	184
2.5 Ανάλυση οικονομικών επιπτώσεων.....	185
2.6 Εναλλακτικές μέθοδοι προϋπολογισμού του κεφαλαίου	186
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	192

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

1. ΠΛΑΙΣΙΟ

Το κεφάλαιο αυτό λαμβάνει υπόψη διάφορες απόψεις σχετικά με την αιφορία, την καινοτομία και την επιστήμη. Επικεντρώνεται σε διαφορετικές πτυχές σχετικά με το πλαίσιο της βιομάζας, όπως είναι ο ορισμός και η ταξινόμησή της, η αξιολόγηση του δυναμικού και των διαθέσιμων πηγών της, αλλά και οι τεχνολογικές δυνατότητες για τη χρήση της βιομάζας. Παρέχει, επίσης, κατευθυντήριες γραμμές για την αντιμετώπιση κρίσιμων ζητημάτων και για τον καθορισμό σημαντικών στρατηγικών επιλογών. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στις ακόλουθες θεματικές ενότητες:

Βιομάζα και Αειφορία

Ταξινόμηση των πηγών βιομάζας

Αξιολόγηση της βιομάζας

Τεχνολογίες επεξεργασίας της βιομάζας

Αξιολόγηση και παρακολούθηση των έργων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα

Στις ενότητες 1 έως και 3 αναλύονται θέματα σχετικά με την αιφορία και ζητήματα παραγωγής της βιομάζας. Στην 4^η ενότητα εξετάζονται βασικές πληροφορίες για την κατανόηση των λεπτομερειών συγκεκριμένων τεχνολογιών. Η 5^η ενότητα ενσωματώνει τα ευρήματα σε ένα εργαλείο ανάλυσης της αιφορίας που έχει σχεδιαστεί για να βοηθήσει σχετικά έργα, με μια σύνοψη των κύριων στρατηγικών συσχετίσεων αναφορικά με την ανάπτυξη δυνατοτήτων αιφόρου παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.

2. ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΙΑ

Η βιομάζα θεωρείται, ως πηγή ενέργειας, σημαντικά διαφορετική από άλλους ενεργειακούς πόρους που δεν απελευθερώνουν άνθρακα (π.χ. αιολική ενέργεια). Η βιομάζα μπορεί να παράγει ενέργεια και υλικά προϊόντα παρόμοια με τα παραδοσιακά, τα οποία παράγονται από τις υφιστάμενες χρήσεις των ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα έχει, επίσης, μια πολύ σημαντική χρήση στην παραγωγή τροφής, αλλά και ως πρώτη ύλη για τη βιομηχανία, η οποία θα πρέπει να ενσωματωθεί σωστά στην παραγωγή ενέργειας, με σεβασμό στις αρχές της αιφορίας, πράγμα το οποίο θα αναπτυχθεί στις ακόλουθες ενότητες.

2.1 Ορισμός της βιομάζας

Σύμφωνα με τον ορισμό της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ, η βιομάζα είναι "το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και ζωικών ουσιών), τη δασοπονία και τις συναφείς τους βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων, της αλιείας και των υδατοκαλλιιεργειών, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων"¹.

¹ Όπως καθορίζεται στο Άρθρο 2(ε) της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ

Αυτό σημαίνει ότι με κατάλληλη βιομηχανική επεξεργασία, η πρόσφατα συγκομισμένη βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε ισοδύναμο του φυσικού αερίου και των υγρών και στερεών ορυκτών καυσίμων. Με τη χρήση διαφόρων διαδικασιών μετατροπής, όπως η καύση, η αεριοποίηση και η πυρόλυση, η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε "βιο-καύσιμα" για τις μεταφορές, "βιο-θερμότητα" ή "βιο-ηλεκτρισμό".

2.2 Βιομάζα και αειφορία

Η χρήση της παραγόμενης από βιομάζα ενέργειας έχει σχέση με τις επιπτώσεις στις χρήσεις γης. Οι όροι 'ανανεώσιμες πηγές', 'χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου' και 'αειφόρος' δεν είναι συνώνυμοι και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ένας προς έναν, στα πλαίσια των έργων βιομάζας.

Πιο αναλυτικά, η αρχή της "αειφορίας" ικανοποιείται όταν κάποιο έργο που βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές έχει αρνητικό ή, τουλάχιστον, ουδέτερο ισοζύγιο CO₂ στο σύνολο του κύκλου ζωής του. Η αλυσίδα εκμετάλλευσης της βιομάζας θα μπορούσε να χαρακτηρίζεται από αρνητικό ισοζύγιο άνθρακα (καθαρή απομάκρυνση του ισοδυνάμου CO₂ από την ατμόσφαιρα), καθώς και από θετικό ισοζύγιο άνθρακα (τελική προσθήκη ισοδυνάμου CO₂). Αυτό εξαρτάται από τις πρακτικές των εφαρμογών, τις μεταφορές και τις τεχνολογίες επεξεργασίας².

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν ένα από τα περιβαλλοντικά κριτήρια που περιλαμβάνονται σε μία ανάλυση της αειφορίας, το οποίο όμως δεν είναι επαρκές. Η αρχή της αειφορίας πρέπει να περιλαμβάνει στην αξιολόγησή της και διάφορους άλλους δείκτες, όπως οικολογικούς, πολιτιστικούς και υγειονομικούς, ενώ θα πρέπει να ενσωματώσει επίσης τα οικονομικά ζητήματα (Σχήμα 2).

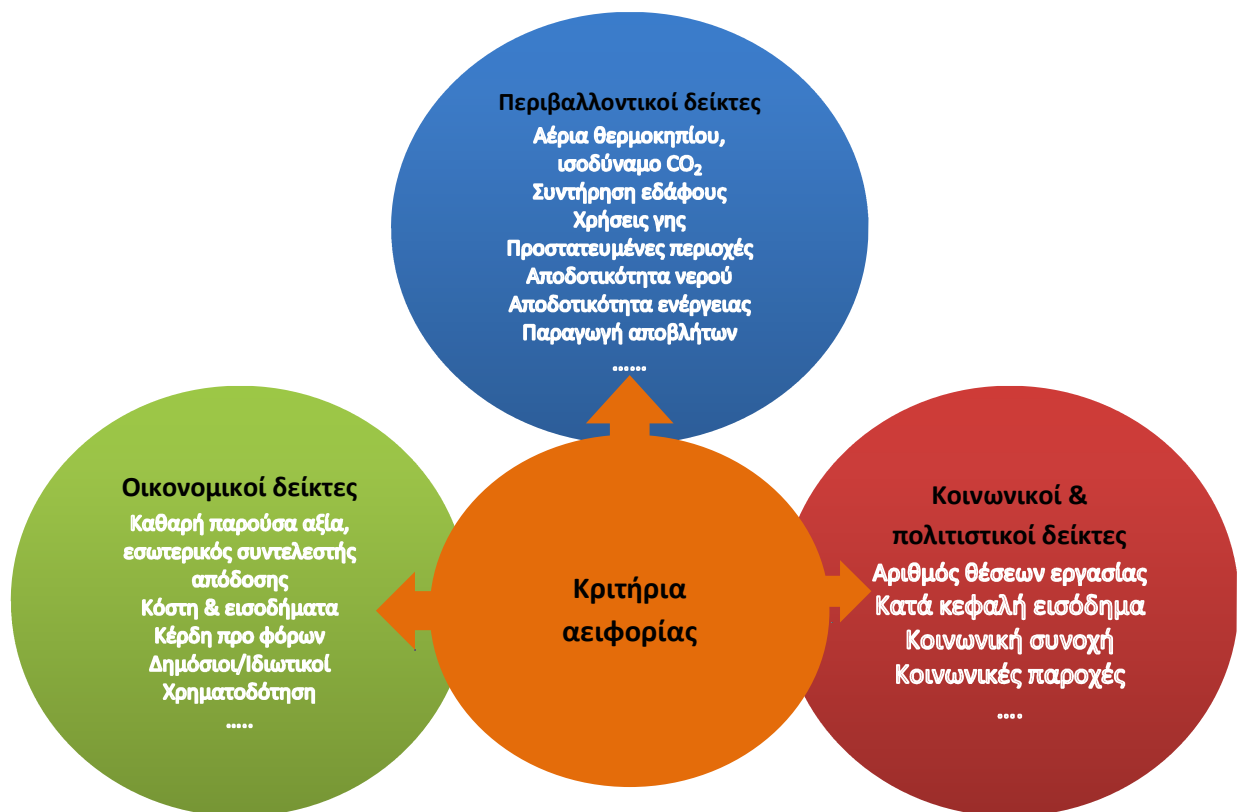
Από γενική άποψη, η αρχή της αειφορίας που εφαρμόζεται στον τομέα της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα δεν μπορεί, κατά συνέπεια, να αποσυνδεθεί από τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές πτυχές, όπως απεικονίζεται παρακάτω (Σχήμα 1, Σχήμα 2). Εάν δεν περιλαμβάνεται μία από αυτές τις πτυχές, θα μπορούσε να ανήκει στις δίκαιες, τις ανεκτές ή τις βιώσιμες συνθήκες, αλλά όχι τις αειφόρες. Έτσι, τα έργα βιομάζας δεν θα είναι απόλυτα επιτυχή εκτός εάν μπορεί να αποδειχθεί ο αειφόρος εφοδιασμός σε βιομάζα, οι βιώσιμες επιχειρηματικές συνθήκες και η κοινωνική στήριξη, όπως συνοψίζεται παρακάτω (Πίνακας 1).

Η έννοια της αξιολόγησης της βιομάζας έχει υποστεί σημαντική εξέλιξη χάρη στην Οδηγία 2009/28/EK για τις ΑΠΕ. Στην αρχή, η εκτίμηση της βιομάζας για ένα χωρικό σχεδιασμό βασιζόταν σε τιμές της δυνητικής βιομάζας και, στη συνέχεια, γινόταν με βάση τις τιμές διαθέσιμης βιομάζας. Τώρα, σύμφωνα με την Οδηγία για τις ΑΠΕ, είναι απαραίτητο να γίνει ένα βήμα προς την αξιολόγηση της "αειφόρου βιομάζας". Μπορεί η διαθέσιμη βιομάζα να μην είναι εξολοκλήρου 'αειφορικά εκμεταλλεύσιμη'.

² Ένα αρνητικό ισοζύγιο άνθρακα επιτυγχάνεται εάν το ιστάμενο απόθεμα της αύξησης της βιομάζας ή του διοξειδίου του άνθρακα αφαιρείται από τον κύκλο του άνθρακα, μέσω του ανενεργού εδαφικού άνθρακα, της ανθρακοποίησης στην πυρόλυση ή της δέσμευσης και αποθήκευσης του άνθρακα.



Σχήμα 1:- Γενική βασική αρχή της αειφόρου προσέγγισης (Adams W.M., 2006)



Σχήμα 2: Γενική προσέγγιση ενός έργου παραγωγής ενέργειας από βιομάζα

Πίνακας 1: Ιεράρχηση των κανόνων αιφορίας (Crucible Carbon, 2008)

Κριτήρια αιφορίας	Αξιολογούμενοι δείκτες
Οικολογικά αιφόρος και βιώσιμη προσφορά βιομάζας	- Διαθεσιμότητα γης
	- Διαθεσιμότητα νερού
	- Βιοποικιλότητα
Εμπορικά και τεχνολογικά βιώσιμες επιχειρήσεις επεξεργασίας	- Προμήθεια πρώτης ύλης
	- Τεχνολογία
	- Προϊόντα και αγορά
Άδεια για λειτουργία	- Κυβερνητικές οδηγίες
	- Κοινοτικές οδηγίες
	- Δημόσια αποδοχή

Συμπερασματικά, η αιφόρος παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αποτελεί επίσης μια κοινωνική πρόκληση, που συνεπάγεται μια εξέλιξη των διεθνών και εθνικών κανόνων (όπως ξεκίνησε εν μέρει με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ για τις ΑΠΕ), ένα σχεδιασμό, τόσο για τον αστικό τομέα όσο και γι' αυτόν των μεταφορών, αλλά και αλλαγή των επιμέρους τρόπων διαβίωσης και της καταναλωτικής δεοντολογίας.

2.3 Το σχέδιο αιφορίας της Ε.Ε. για τα βιοκαύσιμα

Τα οφέλη των βιοκαυσίμων σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα περιλαμβάνουν τη μεγαλύτερη ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την εξοικονόμηση συναλλάγματος, καθώς και κοινωνικοοικονομικά θέματα που σχετίζονται με τον αγροτικό τομέα. Η έννοια της αιφόρου ανάπτυξης εμπεριέχει την ιδέα της διασύνδεσης και της ισορροπίας μεταξύ των οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών θεμάτων (Demirbas A., 2009). Ως αποτέλεσμα, σε επίπεδο Ε.Ε., με το ψήφισμα της 25^{ης} Σεπτεμβρίου 2007 σχετικά με τον “οδικό χάρτη” για τις ΑΠΕ στην Ευρώπη, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο υπογράμμισε τη σημασία των κριτηρίων αιφορίας για τα βιοκαύσιμα και ζήτησε από την Ε.Ε. να αναλάβει δράση για την οικοδόμηση ενός συστήματος υποχρεωτικής πιστοποίησης των βιοκαυσίμων.

Στην δημοσιευμένη Οδηγία για τις ΑΠΕ (2009/28/ΕΚ) έχουν συμπεριληφθεί τα κριτήρια περιβαλλοντικής αιφορίας και οι απαιτήσεις επιβεβαίωσης για τα βιοκαύσιμα και άλλα βιορευστά. Η Επιτροπή ζήτησε επίσης την επικέντρωση σε πρότυπα που απαιτούνται για την εφαρμογή της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ και βρίσκεται σε εξέλιξη μια διαδικασία τυποποίησης, στο πλαίσιο της επιτροπής CEN (CEN Τεχνική Επιτροπή 383), για τον ορισμό της αιφορικά παραγόμενης βιομάζας για ενεργειακές εφαρμογές.

Με την τελευταία Οδηγία για τα κριτήρια αιφορίας που σχετίζονται με τις χρήσεις της βιομάζας, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εισήγαγε το πιο ολοκληρωμένο και προηγμένο σχέδιο αιφορίας και τα κράτη μέλη είναι υπεύθυνα για την επιβεβαίωση και την εφαρμογή του για τα βιοκαύσιμα/βιορευστά που παράγονται στην Ε.Ε. Ένα άλλο σημαντικό σημείο του σχεδίου των κριτηρίων αιφορίας αφορά τους τύπους της χρησιμοποιούμενης γης. Συγκεκριμένα, τα βιοκαύσιμα δεν θα μπορούσαν να παραχθούν σε εδάφη με υψηλή αξία βιοποικιλότητας. Η πρώτη ύλη δεν θα πρέπει να συγκομίζεται από παρθένα δάση, ή από καθορισμένες περιοχές προστασίας της φύσης, ή από λιβάδια υψηλής βιοποικιλότητας. Η Επιτροπή θα καθορίσει τα κριτήρια και τις γεωγραφικές ζώνες για τον εντοπισμό λιβαδιών υψηλής βιοποικιλότητας.

Άλλο κριτήριο αειφορίας, που αναφέρεται στην οδηγία για τις ΑΠΕ είναι το υψηλό επίπεδο των αποθεμάτων άνθρακα. Οι πρώτες ύλες δεν θα πρέπει να λαμβάνονται από υγροτόπους, συνεχώς δασωμένες περιοχές και από περιοχές με συγκόμωση της τάξης του 10-30% και εδάφη που παράγουν τύρφη. Τέλος, η Οδηγία για τις ΑΠΕ εξετάζει αν το βιοκαύσιμο προέρχεται μόνο εν μέρει από μη ανανεώσιμες πηγές. Για ορισμένα από αυτά, όπως το ΕΤΒΕ, η οδηγία για τις ΑΠΕ καθορίζει ποιο ποσοστό του καυσίμου είναι ανανεώσιμο, με σκοπό τον απολογισμό του στόχου.

Για τα καύσιμα που δεν αναφέρονται (συμπεριλαμβανομένων των καυσίμων που παράγονται σε ευέλικτες διαδικασίες, με διαφορετικό μείγμα πηγών, όπως δηλαδή το σύστημα σύγκαυσης), η αναλογία μπορεί να προέλθει κατάλληλα από τον κανόνα για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε εργοστάσια πολλαπλών καυσίμων: η συμβολή κάθε πηγής ενέργειας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με βάση το ενεργειακό της περιεχόμενο.

3. ΒΙΟΜΑΖΑ

Οι αλυσίδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα σε συγκεκριμένη περιοχή πρέπει να διαμορφώνονται λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογίες και τα είδη βιομάζας για την επίτευξη των καλύτερων αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό, η ταξινόμηση και η ιδιαιτερότητα των διαφόρων πηγών της βιομάζας πρέπει να είναι γνωστές.

Αυτό το τμήμα περιέχει τη γενική περιγραφή της βιομάζας και τη σύνδεσή της με τις συνθήκες επεξεργασίας της. Ταυτόχρονα, υπογραμμίζονται τα χαρακτηριστικά της βιομάζας που μπορεί να έχουν μεγαλύτερη επιρροή στο σχέδιο αειφορίας και τη χρήση τους για τις εφαρμογές παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.

3.1 Είδη βιομάζας

Το μεγαλύτερο ποσοστό της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας προέρχεται από φυτικό υλικό, καθώς και από τα ζωικά προϊόντα. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των διαφόρων ειδών βιομάζας. Μια πρώτη διάκριση μπορεί να γίνει με βάση την προέλευση της βιομάζας από διάφορους τομείς, όπως ο γεωργικός, ο δασικός, ο βιομηχανικός και ο αστικός τομέας. Μια άλλη ταξινόμηση μπορεί να γίνει, επίσης, με βάση τη φύση της, καθώς μπορεί να προέρχεται τόσο από τις ενεργειακές καλλιέργειες όσο και από τα υπολείμματα και τα απόβλητα.

3.1.1 Βιομάζα από ενεργειακές καλλιέργειες

Η βιομάζα που συγκομίζεται από καλλιέργειες ενεργειακών φυτών μπορεί, προφανώς, να προέρχεται τόσο από τον γεωργικό όσο και τον δασικό τομέα.

Ετήσιες καλλιέργειες αγρωστωδών φυτών

Τα αγρωστώδη (μονοκοτυλήδονα) φυτά αποτελούν το μεγαλύτερο αντικείμενο καλλιέργειας της σύγχρονης γεωργίας ευρείας κλίμακας. Οι ετήσιες καλλιέργειες αγρωστωδών περιλαμβάνουν

δημητριακά όπως το σιτάρι, το κριθάρι, η βρώμη, η σίκαλη και άλλα δευτερεύοντα σιτηρά, ζαχαρότευτλα, ζαχαροκάλαμα και κτηνοτροφικά φυτά, όπως το τριφύλλι.

Οι σπόροι από αυτές τις καλλιέργειες δημητριακών, οι βολβοί και τα στελέχη άλλων φυτών είναι δυνητικά μια καλή πηγή αμύλου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τεχνολογικές διεργασίες για η παραγωγή βιοκαυσίμων ή η παραγωγή ενέργειας. Η επιλεκτική γενετική βελτίωση (ιδιαίτερα για τις “μη τροφικές καλλιέργειες”) έχει χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει, σε σχέση με τη βιομάζα, την αναλογία σπόρος/φυτό σε πολλά είδη τα οποία παρουσιάζουν μεγάλες αυξήσεις στην παραγωγή σπόρου.

Πολυετείς καλλιέργειες αγρωστωδών φυτών

Το είδος αυτό της βιομάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας όταν τα οικονομικά της εκμετάλλευσής της είναι βιώσιμα. Ταχυσυχή είδη με καλαμοειδή βλαστό (όπως το καλάμι και το Elephant-grass) είναι παραδείγματα καλλιεργειών με αγρωστώδη που μπορούν να κάνουν καλή χρήση των θρεπτικών ουσιών με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας της βιομάζας. Την ίδια όμως στιγμή, κάποια άλλα αγρονομικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπεύουν αδύνατα ακόμη σημεία, όπως η στείροτητα των ανθέων, το υψηλό κόστος εγκατάστασης των καλλιεργειών, η χαμηλή σχετική μηχανοποίηση της συγκομιδής, η υψηλή υγρασία κατά τη διάρκεια συγκομιδής του προϊόντος και η υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα (Ranalli P., 2010).

Η αγριαγκινάρα και ο μίσχανθος είναι άλλες ενεργειακές καλλιέργειες με μεσογειακά χαρακτηριστικά ανάπτυξης και χαμηλές απαιτήσεις σε νερό. Για το λόγο αυτό συγκεντρώνουν υψηλό ενδιαφέρον και διεξάγονται ερευνητικές δραστηριότητες στα πεδία της αγρονομίας και της γενετικής με προγράμματα βελτίωσης.

Καλλιέργειες ελαιούχων φυτών

Οι καλλιέργειες ελαιούχων φυτών περιλαμβάνουν τις ετήσιες καλλιέργειες φυτών με ελαιούχους σπόρους και τις πολυετείς καλλιέργειες ελαιούχων δέντρων.

Καλλιέργειες φυτών με ελαιούχους σπόρους

Από αγρονομικής απόψεως, οι καλλιέργειες ελαιούχων φυτών έχουν μια εξελικτική ιστορία διαφορετική από τις καλλιέργειες των δημητριακών και επομένως μπορούν να προσφέρουν ένα πρόσθετο όφελος, ως καλλιέργειες αμειψισποράς, στη μείωση των παθογόνων παραγόντων του εδάφους και των φυτών.

Οι πιο αντιπροσωπευτικές καλλιέργειες ελαιούχων φυτών στις Ευρωπαϊκές περιοχές είναι η ελαιοκράμβη και ο ηλίανθος. Τα φυτικά έλαια συνήθως εξάγονται μέσω μηχανικής συμπίεσης ή και διαλυτών και χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τροφίμων, σαπουνιών και καλλυντικών. Το έλαιο σε αυτές τις καλλιέργειες συνήθως περικλείει και άλλα συστατικά των σπόρων (πρωτεΐνη ή άμυλο) ως μέρος της ροής εσόδων των καλλιεργειών. Το λιγνοκυτταρινούχο τμήμα των ελαιούχων φυτών, το οποίο χρησιμοποιείται παραδοσιακά ως στρωμή ή ζωοτροφή, μπορεί επίσης να καεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, ενώ τα φυτικά έλαια

μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υψηλότερης αξίας εφαρμογές παραγωγής ενέργειας, ιδιαίτερα ως υποκατάστατο του ντίζελ (Crucible Carbon, 2008).

Τα φυτικά έλαια που προέρχονται από αυτές τις καλλιέργειες και τροποποιούνται με χρήση μεθυλεστέρων ονομάζονται, κοινώς, "βιοντίζελ" και είναι σε μεγάλο βαθμό υποψήφια για να καταστούν εναλλακτικό καύσιμο του ντίζελ.

Καλλιέργειες ελαιούχων δέντρων

Πράγματι, ορισμένες καλλιέργειες δέντρων παράγουν έλαια, όπως το φοινικέλαιο, το λάδι καρύδας και το λάδι του macadamia (τροπικό δένδρο που φύεται κυρίως στην Αυστραλία). Στις ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιείται κυρίως το φοινικέλαιο για την παραγωγή τόσο βρώσιμου ελαίου όσο και βασικών προϊόντων για το βιοντίζελ. Όμως, η εκτεταμένη χρήση των βρώσιμων ελαίων μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα, όπως πείνα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η διπλή χρήση του φοινικέλαιου αυξάνει τον ανταγωνισμό μεταξύ των αγορών των βρώσιμων ελαίων και των βιοκαυσίμων, με μια επακόλουθη αύξηση των τιμών των φυτικών ελαίων στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Η χρήση μη βρώσιμων φυτικών ελαίων, σε σύγκριση με τα βρώσιμα έλαια, είναι πολύ σημαντική στις αναπτυσσόμενες χώρες, λόγω της τεράστιας ζήτησης για βρώσιμα έλαια ως τρόφιμα, τα οποία είναι πάρα πολύ ακριβά προς το παρόν προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για καύσιμα. Η παραγωγή βιοντίζελ από διάφορες μη εδώδιμες καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων έχει ερευνηθεί εκτενώς κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών³ (Balat M., 2010).

Οι καλλιέργειες ελαιούχων δέντρων με χαμηλότερη διατροφική αξία μπορούν να αποτελέσουν έναν πόρο για την παραγωγή ενέργειας και, ως καλλιέργειες πολυετών φυτών, παρέχουν οφέλη σχετικά με την κατανάλωση νερού και τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα. Οι καλλιέργειες που δεν παράγουν τροφή δεν θα εμφανίσουν υψηλές αυξήσεις τιμών, συνδεδεμένες με την προμήθεια και τη ζήτηση τροφίμων.

Πίνακας 2. Σύγκριση μεταξύ των διαφόρων καλλιεργειών ελαιούχων σπόρων για την παραγωγή βιοντίζελ (Balat M., 2010)

Καλλιέργειες ελαιούχων φυτών	Παραγωγή ελαίου (t/ha)	Βιβλιογραφία
Ελαιοκράμβη	1,00	M.Balat, 2010
Σόγια	0,52	M.Balat, 2010
Ηλίανθος	0,90	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Φοίνικας	5,00	M.Balat, 2010
Jatropha ³	0,50	M.Balat, 2010
Μικροφύκη	50,00	M.Balat, 2010

Πολλά είδη φυτών που παράγουν έλαια για τροφή, όπως η Jatropha (σε υποτροπικές περιοχές), μπορεί να είναι χρήσιμα για την παραγωγή ενέργειας και συχνά προωθούνται ως μη

³ Η παραγωγή βιοντίζελ από διάφορες μη εδώδιμες καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων έχει ερευνηθεί εκτενώς κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Σε αυτές περιλαμβάνονται το δέντρο Jatropha (Jatropha curcas), το Karanja (Pongamia pinnata), οι σπόροι του καπνού, το πίτουρο ρυζιού, η Mahua (Madhuca indica), το Neem (Azadirachta indica), το καουτσουκόδενδρο, η ρετινολαδιά, ο λιναρόσπορος, τα μικροφύκη, κλπ.

ανταγωνιστικά των καλλιεργειών για παραγωγή τροφίμων. Ωστόσο, τα είδη αυτά μπορεί να εμφανίζουν ιδιότητες που σχετίζονται με την ανάπτυξη ζιζανίων στους αγρούς και μπορεί να υπόκεινται σε περιορισμούς προκειμένου να περιοριστούν οι κίνδυνοι προσβολών (Crucible Carbon, 2008). Το πρόβλημα που προκαλεί μεγάλη ανησυχία αφορά το βαθμό της βλαστικής ανάπτυξης και της απόδοσης των σπόρων (Balat M., 2010).

Καλλιέργειες λιγνοκυτταρινούχων φυτών

Το καλαμπόκι και η σόγια είναι μονοετή φυτά. Οι διάφορες μορφές των λιγνοκυτταρινούχων ενεργειακών καλλιεργειών είναι συνήθως πολυετείς. Οι καλλιέργειες λιγνοκυτταρινούχων φυτών περιλαμβάνουν πολυετείς καλλιέργειες αγρωστωδών φυτών και άλλες δενδρώδεις καλλιέργειες.

Τα αγρωστώδη είδη περιλαμβάνουν καλλιέργειες όπως το switchgrass (*Panicum virgatum*), η φάλαρη (*Phalaris arundinacea*) και ο μίσχανθος (*Miscanthus* spp.). Στην κατηγορία των πλατύφυλλων με σκληρό ξυλώδη κορμό περιλαμβάνονται είδη όπως η ιτιά (*Salix* spp.), η λεύκη (*Populus* spp.), ο ευκάλυπτος και άλλα. Μεταξύ αυτών, η λεύκη, ο μίσχανθος και το switchgrass έχουν συγκεντρώσει ιδιαίτερη προσοχή για την υψηλή απόδοσή τους σε βιομάζα, την αποτελεσματική αξιοποίηση των θρεπτικών στοιχείων, τη μικρή πιθανότητα διάβρωσης του εδάφους, την ικανότητα δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα και τη μείωση στις απαιτήσεις εισροών ορυκτών καυσίμων σε σύγκριση με τις ετήσιες καλλιέργειες (Abbasi T. *et al*, 2009).

Αρκετές ερευνητικές δραστηριότητες έχουν πραγματοποιηθεί για τη λεύκη, η οποία θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά φυτά λόγω του μικρού περιόδου χρόνου. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να αναπτυχθούν σημαντικά προγράμματα γενετικής βελτίωσης, με αύξηση των ποικιλιών και των κλώνων, ώστε να διαδοθούν σε όλο τον κόσμο. Άλλες καλλιέργειες ξυλωδών φυτών, όπως ο ευκάλυπτος, μπορούν να παράγουν βιομάζα σε θερμότερες κλιματικές συνθήκες, όπως οι περιοχές με μεσογειακό κλίμα (Ranalli P., 2010).

3.1.2 Βιομάζα από υπολείμματα και απόβλητα

Η ανάλυση της βιομάζας από υπολείμματα και απόβλητα είναι πιο πολύπλοκη εξαιτίας της πολυμορφίας των υπό διαχείριση υλικών και των διαφορετικών τομέων προέλευσής τους (π.χ. από τη γεωργία μέχρι τον αστικό τομέα). Αξίζει να σημειωθεί ότι, η Οδηγία 2008/98/EK της Ε.Ε. ορίζει τη διαφορά μεταξύ παραπροϊόντων και αποβλήτων. Έτσι, "*παραπροϊόντα είναι όλο το υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ νέου, ενώ τα απόβλητα ορίζονται ως τα υλικά που έφτασαν στο τέλος του κύκλου παραγωγής και δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν*" (Castelli S., 2010).

Τα απόβλητα υλικά παράγονται κατά τις παραγωγικές διεργασίες στις βιομηχανίες και από τα αστικά στερεά απόβλητα. Το τυπικό ενεργειακό τους περιεχόμενο κυμαίνεται από 10,5 έως 11,5 MJ/κιλό. Οι πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων διαφέρουν μεταξύ των ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών, μεταξύ των αστικών και αγροτικών περιοχών και μεταξύ των οικιακών και βιομηχανικών παραγωγών.

Η αρχική κατάσταση μιας αναπτυσσόμενης χώρας στον τομέα της διαχείρισης των αποβλήτων διαφέρει από εκείνη των βιομηχανικών χωρών. Η μεταφορά μιας εφαρμοσμένης τεχνολογίας από τη μία χώρα στην άλλη μπορεί να μην είναι αρκετά κατάλληλη, παρότι αυτή θεωρείται

τεχνικά βιώσιμη ή οικονομικά προσιτή. Είναι πολύ σημαντικό να κατανοηθούν οι τοπικοί παράγοντες, όπως:

- τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και οι εποχιακές διακυμάνσεις του κλίματος,
- οι κοινωνικές πτυχές, η πολιτιστική στάση απέναντι στα στερεά απόβλητα, και τα πολιτικά θεσμικά όργανα,
- η επίγνωση των πιο προφανών περιορισμών στους πόρους που συχνά υπάρχουν.

Ο βασικός ρόλος της αιφόρου διαχείρισης των αποβλήτων είναι η μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που απορρίπτονται στο περιβάλλον ξεκινώντας από τη μείωση της ποσότητας των παραγόμενων αποβλήτων. Πάντως, είναι γεγονός ότι μεγάλες ποσότητες αποβλήτων δεν μπορούν να εξαλειφθούν. Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να μειωθούν μέσω της αιφόρου χρήσης τους. Αυτό είναι γνωστό ως η “*Ιεραρχία των Αποβλήτων*”.

Η ιεραρχία των αποβλήτων αναφέρεται στη μείωση, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση, αλλά και την ταξινόμηση των στρατηγικών διαχείρισης των αποβλήτων σύμφωνα με την εφικτότητά τους όσον αφορά στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων. Στόχος της ιεραρχίας των αποβλήτων είναι η απόληψη της μέγιστης πρακτικά ωφέλειας από τα προϊόντα, ώστε να δημιουργηθεί το ελάχιστο ποσό αποβλήτων (Demirbas A., 2010).

Μέρος της βιομάζας χαρακτηρίζεται επίσης ως απόβλητα που προέρχονται από βιομηχανικές, γεωργικές, δασικές και αστικές δραστηριότητες. Η έννοια της “*ιεραρχίας των αποβλήτων*” είναι απλή στην εφαρμογή για όλα τα απόβλητα ή τα υπολείμματα που συμπεριλαμβάνονται στον τομέα της βιομάζας, όπως παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

Στο δυναμικό της βιομάζας που προέρχεται από υπολείμματα και απόβλητα περιλαμβάνονται τα φυτικά και τα ζωικά υπολείμματα. Σε αυτά συγκαταλέγονται τα γεωργικά υπολείμματα, όπως το άχυρο, οι φλούδες λαχανικών/φρούτων, τα υπολείμματα των δασικών εκμεταλλεύσεων, όπως στρώματα φύλλων και υπολείμματα πριστηρίων, τα απόβλητα τροφίμων και συστατικά της βιομάζας από τα αστικά στερεά απόβλητα. Από αυτά τα απόβλητα μπορεί να παραχθεί ενέργεια επειδή, σε παγκόσμιο επίπεδο, περιέχονται σε αυτά πολλά δισεκατομμύρια τόνοι βιομάζας (Abbasi *et al*, 2009).

Για την μετατροπή των υπολειμμάτων ή των αποβλήτων σε ενέργεια υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες επιλογές. Οι τεχνολογίες αυτές είναι η υγειονομική ταφή, η αποτέφρωση, η πυρόλυση, η αεριοποίηση, η αναερόβια χώνευση και άλλες. Σε αυτή την ενότητα θα δοθούν σύντομες πληροφορίες για την κάθε μια από αυτές, ενώ πιο λεπτομερείς περιγραφές παρέχονται στην ενότητα 5.

Η επιλογή της τεχνολογίας πρέπει να βασίζεται στο είδος των αποβλήτων, την ποιότητα και τις τοπικές συνθήκες, όμως η ταξινόμηση και η καταχώρηση των διαφορετικών αποβλήτων δεν είναι εύκολη. Στις χώρες της Ε.Ε. τα απόβλητα ταξινομούνται με βάση τον “*Κώδικα EWC*”⁴,

⁴ EWC (European Waste Catalogue) είναι ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων, ο οποίος χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση όλων των αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων και των επικίνδυνων. Έχει σχεδιασθεί ώστε να αποτελέσει ένα συνεκτικό σύστημα ταξινόμησης των απορριμμάτων σε ολόκληρη την Ε.Ε., για διάθεση και ανάκτηση. Το νέο κωδικοποιημένο πλαίσιο για τα απόβλητα (Οδηγία 2006/12/EK) είναι πλέον η μόνη νομικά έγκυρη έκδοση.

(EPA, 2002). Ο Πίνακας 3 παρέχει ένα γενικό σχήμα των πολλά υποσχόμενων διαδικασιών επεξεργασίας των αποβλήτων.

Πίνακας 3. Επεξεργασίες απορριμμάτων (Demirbas A., 2010)

Είδος απορριμμάτων		Μέθοδος διάθεσης απορριμμάτων
Εύφλεκτα απόβλητα		Αποτέφρωση εσχάρας
		Αποτέφρωση ρευστοποιημένης κλίνης
		Πυρόλυση - αποτέφρωση
		Πυρόλυση - αεριοποίηση
		Διαχωρισμός - κομποστοποίηση
		Αποτέφρωση
		Διαχωρισμός - πυρόλυση
		Διαχωρισμός - αεριοποίηση
		Διαχωρισμός - αποτέφρωση σε τσιμεντοβιομηχανία
		Διαχωρισμός (υγρών και ξηρών συστατικών) – χώνευση - αποτέφρωση σε τσιμεντοβιομηχανία
Μη εύφλεκτα απόβλητα		Ταφή
Ροές μερικώς εύφλεκτων αποβλήτων	Ξύλο	Πυρόλυση και αποτέφρωση σε συνδυασμό με γαιάνθρακα σε εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
		Αποτέφρωση σε κλίβανο ρευστοποιημένης κλίνης - αεριοποίηση
	Πλαστικά	Αεριοποίηση
		Ανακύκλωση υλικών
	Ζυμώσιμα οργανικά απόβλητα	Κομποστοποίηση
		Αναερόβια χώνευση

Ο καλύτερος συνδυασμός θα ήταν να επιλεγεί η τεχνολογία η οποία έχει το χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής, με τις λιγότερες απαιτήσεις σε γη, που δεν προκαλεί σχεδόν καμιά ρύπανση του αέρα και της γης, παράγει περισσότερη ισχύ με λιγότερα απόβλητα και προκαλεί τη μέγιστη μείωση του όγκου τους (Demirbas A., 2010).

Στις μέρες μας, η παραγωγή ενέργειας με ένα καθαρό και αποδοτικό τρόπο είναι μια σημαντική πρόκληση που πρέπει ακόμη να ικανοποιηθεί. Στην πραγματικότητα, ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα είναι να βρεθεί το πώς θα μετατραπούν γρήγορα και οικονομικά τα λιγνοκυτταρινούχα συστατικά αυτών των αποβλήτων σε απλούστερα σάκχαρα, ώστε να καταστεί ικανή η βιοχημική μετατροπή τους σε καθαρά καύσιμα (Abbasi M. et al, 2009).

Πρόσφατα, η παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων από απόβλητα και υπολείμματα απέκτησε μεγάλη σημασία εξαιτίας των θετικών περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων. Με τη χρήση των οργανικών αστικών αποβλήτων για ενεργειακούς σκοπούς θα μπορούσε να αποφευχθεί μια διεύρυνση των αστικών χώρων υγειονομικής ταφής, με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη μεγαλύτερη ανεξαρτησία από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Ως τελευταίο, όχι όμως και λιγότερο σημαντικό, σημείο είναι επίσης κρίσιμο να αναγνωρισθεί ότι τα απόβλητα συχνά περιέχουν ενέργεια και θρεπτικά συστατικά.

Ένας βασικός κανόνας για την οικολογική αειφορία είναι ότι η ενέργεια μπορεί να εξαχθεί από συστήματα παραγωγής/κατανάλωσης, αλλά τα θρεπτικά στοιχεία πρέπει να ανακυκλώνονται. Δεν είναι σωστό να βασιστεί ένα έργο παραγωγής ενέργειας σε κατηγορίες αποβλήτων που θα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν ή να μετατραπούν σε υψηλότερης αξίας εξαγόμενα (Crucible Carbon, 2008).

Βιογενή απόβλητα του αστικού και του βιομηχανικού τομέα

Τα απόβλητα από βιομηχανικές και αστικές πηγές αποτελούν μια ελκυστική πηγή βιομάζας (ειδικά εάν θεωρηθεί το οργανικό κλάσμα, το οποίο ονομάζεται “βιογενές κλάσμα”), επειδή το υλικό έχει ήδη συλλεχθεί και μπορεί να αποκτηθεί με αρνητικό κόστος, λόγω των τελών απομάκρυνσης του (δηλαδή, οι πηγές θα πρέπει να πληρώσουν για να απαλλαγούν από τα απόβλητα) (Demirbas A., 2010).

Σύμφωνα με την βασική αρχή της “*Ιεραρχίας των Αποβλήτων*”, η επαναχρησιμοποίηση μέρους του βιογενούς κλάσματος των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων θα μπορούσε να είναι μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή ανάκτησης της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας με την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει δοθεί στη χρήση των χρησιμοποιημένων μαγειρικών ελαίων για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Η παραγωγή βιοντίζελ από απόβλητα μαγειρικά έλαια για μερική υποκατάσταση του πετρελαίου ντίζελ είναι ένα από τα μέτρα για την επίλυση του διπτού προβλήματος της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της έλλειψης ενέργειας.

Υπολείμματα και απόβλητα του γεωργικού τομέα

Τα κυριότερα γεωργικά υπολείμματα περιλαμβάνουν υπολείμματα των καλλιεργειών, άχυρα και φλοιούς, κουκούτσια ελιάς και κελύφη καρπών. Πιο συγκεκριμένα, τα υπολείμματα μπορούν να χωριστούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

- Υπολείμματα αγρού: υλικό που απομένει σε αγρούς ή σπυρώνες μετά τη συγκομιδή, όπως στελέχη, μίσχοι, φύλλα και λοβοί σπόρων.
- Υπολείμματα επεξεργασίας: υλικά που απομένουν μετά την επεξεργασία των καλλιεργειών σε χρησιμοποιήσιμους πόρους, όπως οι φλοιοί, οι σπόροι, τα υπολείμματα ζαχαροκάλαμου και οι ρίζες.

Ορισμένα από τα γεωργικά υπολείμματα χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφές, για τη διαχείριση του εδάφους και στις κατασκευές.

Το στέλεχος είναι το υπέργειο τμήμα του φυτού του καλαμποκιού (εκτός των σπόρων) και αποτελείται από το βλαστό (συμπεριλαμβανομένου του θυσάνου), τα φύλλα, το στάχυ, το φλοιό και τα μετάρια. Κατά μέσο όρο, το βάρος της ξηρής ουσίας ενός φυτού καλαμποκιού μοιράζεται εξίσου μεταξύ των σπόρων και των στελεχών. Επί του παρόντος, περίπου το 5% των στελεχών χρησιμοποιείται για στρωνή και σίπιση ζώων και το υπόλοιπο οργώνεται με το έδαφος ή καίγεται, ως δραστηριότητα που ασκείται για τη διαχείριση των στελεχών. Όμως, λόγω του ενεργειακού περιεχομένου του άχυρου, πολλές χώρες της Ε.Ε. το χρησιμοποιούν πλέον για ενεργειακούς σκοπούς.

Υπολείμματα και απόβλητα του δασικού τομέα

Ακόμα και τώρα, το μεγαλύτερο μέρος της ξυλείας που προέρχεται από τον δασικό τομέα αποτελεί τον κυριότερο πόρο στις χώρες εκτός ΟΠΕΚ και στις αναπτυσσόμενες χώρες και χρησιμοποιείται, επίσης, ως κύριο καύσιμο για παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας σε αγροτικές περιοχές όπου το φυσικό αέριο δεν είναι ευρέως διαδεδομένο. Αποτελεί ισχυρό ανταγωνιστή των ορυκτών καυσίμων και χρησιμοποιείται τόσο στις κατοικίες, για το μαγείρεμα και τη θέρμανση του νερού, όσο και στις εμπορικές και βιομηχανικές διεργασίες (για τη θέρμανση νερού και την παραγωγή θερμότητας διεργασιών).

Η εναλλακτική χρήση των υπολειμμάτων της δασοπονίας ή των βιομηχανικών δραστηριοτήτων που συνδέονται με τα πριστήρια (πριονιστήρια), αντιπροσωπεύει μια ελκυστική πηγή βιομάζας και ένα επιτυχημένο παράδειγμα για την παραγωγή ενέργειας από υπολείμματα. Στα δασικά υπολείμματα περιλαμβάνονται τα κομμένα ξύλα, τα υπολείμματα υλοτομίας, ολόκληρα δέντρα, θάμνοι, οι φλοιοί κλπ. (Demirbas A, 2000).

Κανονικά, τα δασικά υπολείμματα της συγκομιδής της ξυλείας θεωρούνται καλύτερα καύσιμα από τα γεωργικά υπολείμματα, αλλά η πυκνότητά τους και το σύστημα συγκομιδής (ειδικά, όταν η κλίση του εδάφους είναι μεγάλη) διατηρεί σε υψηλά επίπεδα το κόστος μεταφοράς τους. Το καθαρό ποσό εκπομπών CO₂ που παράγεται για κάθε μονάδα ενέργειας που προέρχεται από τα υπολείμματα της υλοτομίας των δασών είναι χαμηλότερο από εκείνο που παράγεται από άλλα γεωργικά υπολείμματα, εξαιτίας της χρήσης των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων (Borjesson P, 1996).

Το ενεργειακό περιεχόμενο των διαφόρων υλικών των φυτών καθορίζει τη θερμιδική τους αξία (περιεκτικότητα σε θερμότητα). Η θερμιδική αξία εξαρτάται από το ποσοστό του άνθρακα και του υδρογόνου, οι οποίοι είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της θερμικής ενέργειας της βιομάζας. Η ανάλυση του ξύλου δίνει τα ακόλουθα συστατικά (Πίνακας 4).

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά ξυλώδους βιομάζας

Παράμετροι	Ξύλο	Φλοιός
Πτητικές ουσίες	80 %	74,7 %
Μόνιμος άνθρακας	19,4 %	24 %
Τέφρα	0,6 %	1,3 %

Γενικά, ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του καυσίμου ξύλου είναι η πυκνότητά του, που κυμαίνεται μεταξύ 400 και 900 kg/m³, και το ενεργειακό του περιεχόμενο, που συνήθως εκφράζεται ως Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (LHV, σε kcal/kg) και κυμαίνεται μεταξύ 4200 και 5400 kcal/kg. Για να ληφθεί το μέγιστο της ενέργειας, το φυτικό υλικό θα πρέπει να ξηραίνεται στον αέρα, επειδή το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φυτό ποικίλλει ανάλογα με το ύψος της περιεχόμενης υγρασίας. Στα καύσιμα ξύλου φαίνεται ότι η θερμιδική αξία μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία (Demirbas, 1995).

Στην Ε.Ε., τα ενεργειακά φυτά και οι συναφείς με αυτά δραστηριότητες έχουν αναπτυχθεί και αναπτύσσονται ακόμα με σκοπό την παραγωγή ενέργειας με τη χρήση των γεωργικών-δασικών υπολειμμάτων και των αστικών αποβλήτων. Μερικά από αυτά έχουν προβληθεί σε Ευρωπαϊκά έργα, όπως το *"Make It Be - Εργαλείο λήψης και υλοποίησης αποφάσεων για την δημιουργία τοπικών και περιφερειακών αλυσίδων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα"*, με στόχο την εξάπλωσή τους ως βέλτιστες πρακτικές στον τομέα της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, και

προκειμένου να θεωρούνται ως δυνητικά επαναλαμβανόμενα παραδείγματα σε χώρες της Ε.Ε., εάν θα υπάρξουν απαιτήσεις για εφαρμογή των αρχών της αειφορίας (έργο “*Make It Be*”, 2010).

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η διαθεσιμότητα της βιομάζας σε μια δεδομένη περιοχή επιτρέπει την εκτίμηση της ποσότητας της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τη βιομάζα και να συμβάλει στην ενεργειακή της τροφοδοσία. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ένας τρόπος για τον καθορισμό του δυναμικού και της διαθεσιμότητας της βιομάζας υπό συνθήκες αειφορίας σε διάφορους τομείς (γεωργία, δασοπονία, βιομηχανία και απόβλητα), όπως παρατέθηκαν παραπάνω.

Η ανάλυση της παραγωγής βιομάζας θα πρέπει να προσαρμόζεται για τις υπό μελέτη περιοχές ανάλογα με την κάθε ιδιαίτερη κατάσταση, δεδομένου ότι κάποιες περιοχές της Ε.Ε. θα έχουν κάποιον τομέα πιο ανεπτυγμένο από τους άλλους. Σε μια προκαταρκτική ανάλυση, η ποσότητα της βιομάζας μπορεί να μετατραπεί από τόνους ανά έτος σε μια ενεργειακή μονάδα, όπως είναι τα Joules ή οι kWh ή οι toe. Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι, η συγκεκριμένη μετατροπή της ενέργειας και η σχετική τεχνολογία δεν έχουν επιλεγεί ακόμα, αλλά θα εξεταστούν στη σχετική ενότητα.

4.1 Ταξινόμηση της βιομάζας

Για την εκτίμηση της βιομάζας για τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης περιοχής θα πρέπει, αρχικά, αυτή να προσδιοριστεί και να ταξινομηθεί. Αυτή η ταξινόμηση μπορεί να βασίζεται σε διάφορες παραμέτρους. Στο Ευρωπαϊκό πρότυπο για τα στερεά βιοκαύσιμα, η ταξινόμηση βασίζεται στην πηγή/προέλευση του βιοκαυσίμου (CEN/TC-335), αλλά δεν υποδηλώνει την προέλευση της βιομάζας από την άποψη των οικονομικών τομέων, όπως είναι η γεωργία, η δασοπονία, οι βιομηχανίες ή η διαχείριση αποβλήτων.

Στην παρούσα ενότητα η ταξινόμηση της βιομάζας γίνεται με βάση τους τομείς που αναφέρθηκαν παραπάνω, όπως τα γεωργικά υπολείμματα/καλλιέργειες, τα ζωικά απόβλητα, τα υπολείμματα της δασοπονίας, τα απόβλητα από τις βιομηχανίες και τα απόβλητα από τον αστικό τομέα. Κάθε μία από αυτές τις κλάσεις περιλαμβάνει διαφορετικούς τύπους βιομάζας, με κυριότερες, τα προϊόντα (συγκομιζόμενη βιομάζα) και τα υπολείμματα (υποπροϊόντα από την καλλιέργεια, τη συγκομιδή και την επεξεργασία).

Είναι χρήσιμο να συγκεντρώνονται δεδομένα σχετικά με τη διαθεσιμότητα της βιομάζας από διαφορετικές πηγές, χρησιμοποιώντας ως μονάδα τους ‘τόνους/έτος’. Μια άλλη ταξινόμηση της βιομάζας εξετάζει τη μετατροπή της βιομάζας σε αντίστοιχα βιοκαύσιμα. Όσον αφορά στην παραγωγικότητα, οι δείκτες παραγωγής εξετάζονται σε σχέση με το είδος των βιοκαυσίμων και εκφράζονται σε τόνους/έτος, λίτρα/έτος και m³/έτος.

Είναι επίσης σημαντικό να εξεταστεί η ενεργειακή μετατροπή των βιοκαυσίμων σε παραγόμενη ενέργεια, η οποία εκφράζεται σε MJ ή kWh ή toe που παράγονται από τόνους, λίτρα ή m³ χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Τέλος, μπορεί να είναι χρήσιμη η σύγκριση των αποτελεσμάτων

σε σχέση με τη διαθεσιμότητα της βιομάζας⁵ (δηλαδή τόνοι/έτος που μπορούν να μετατραπούν σε MJ/έτος). Μια επισκόπηση της ταξινόμησης της βιομάζας παρουσιάζεται στον Πίνακας 6.

Πίνακας 5: Κλάσεις της Βιομάζας⁶ (από το έργο “Make It Be”)

Κλάσεις Βιομάζας	Υποκλάσεις Βιομάζας	Προέλευση της βιομάζας	Κλάσεις Βιοκαυσίμων	Κλάσεις Βιοενέργειας ⁷
Γεωργική βιομάζα				
A.1	A.1.1 - Από αροτραίες καλλιέργειες	Αροτραίες καλλιέργειες	A.1.1.1–ενεργειακές καλλιέργειες σιτηρών A.1.1.2–ενεργειακά χορτάρια	B2 ή B4 B2 ή B4
A.1	A.1.2 – Από καρπούς και σπόρους	Καλλιέργεια καρπών και σπόρων	A.1.2.1–ενεργειακοί κόκκοι	B2
A.1	A.1.3 – Από φυτείες δέντρων	Φυτείες δέντρων (SRC)	A.1.3.1–ενεργειακές καλλιέργειες δέντρων, τσιπς, πελλέτες	B1
A.1	A.1.4 - Υπολείμματα	Αγροτικές δραστηριότητες καλλιέργειας και συγκομιδής	A.1.4.1–κλαδέματα από ξυλώδεις καλλιέργειες A.1.4.2–άχυρο A.1.4.3–κουκούτσια, περιβλήματα, φλούδες	B1 B2 ή B4 B2 ή B4
Κτηνοτροφικά απόβλητα				
A.2	A.2.1 – Από κτηνοτροφική παραγωγή	Ζωική και υδαρής κοπριά + στρωμνή	A.2.1.1–στερεή κοπριά A.2.1.2–υδαρής κοπριά	B4 B4
Δασική βιομάζα / υπολείμματα				
A.3	A.3.1 – Από δασοκομία	Δάση και άλλες δασώδεις εκτάσεις, περιλαμβανομένων των καλλιεργειών δέντρων (SRC)	A.3.1.1–κούτσουρα, τσιπς, πελλέτες	B1
A.3	A.3.2 – Από δέντρα εκτός των δασών (υπαίθριοι χώροι)	Δέντρα εκτός των δασών, περιλαμβανομένων των οπωρώνων και των αμπελώνων, των δημόσιων χώρων πρασίνου και των ιδιωτικών κήπων	A.3.2.1–κούτσουρα, τσιπς, πελλέτες	B1
A.3	Υπολείμματα	Δραστηριότητες καλλιέργειας και συγκομιδής / υλοτομίας σε όλα τα παραπάνω περιλαμβανομένης της διαχείρισης υπαίθριων χώρων	A.3.3.1–κούτσουρα, τσιπς, πελλέτες	B1

⁵ Για να συγκριθούν τα αποτελέσματα σε σχέση με το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας (σε τόνους/έτος):

- ο υπολογισμός πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την ξηρή ουσία για την ξυλώδη και πωύδη βιομάζα και τη βιομάζα καρπών/σπόρων,
- πρέπει να είναι γνωστή η μέση περιεκτικότητα σε ενέργεια (MJ/kg), καθώς και το ποσοστό της οργανικής ουσίας των γεωργικών προϊόντων (ενσίρωση καλαμποκιού, κοπριά, κλπ. ...),
- πρέπει να είναι γνωστό το περιεχόμενο μεθάνιο (για παράδειγμα, στα αέρια λυμάτων/υγειονομικής ταφής).

⁶ Η ταξινόμηση της στερεάς βιομάζας γίνεται επίσης στην βάση του Ευρωπαϊκού προτύπου CEN/TS 14961:2005.

⁷ B1 – οικιακή θέρμανση (ξηρή (<50%) βιομάζα, παρθένα/ανεπεξεργαστη πελλετοποιήσιμη (πελλέτες κλάσης A)

B2 – βιομηχανική θέρμανση/συμπαγωγή (ξηρή βιομάζα, παρθένα/ανεπεξεργαστη μη πελλετοποιήσιμη)

B3 – αποτέφρωση αποβλήτων/αεριοποίηση (ξηρή βιομάζα, επεξεργασμένη)

B4 – βιοχημική μετατροπή (υγρή βιομάζα)

Για οικονομικούς λόγους, η κλάση B3 περιλαμβάνει την κλάση B2, η οποία με τη σειρά της περιλαμβάνει την κλάση B1 (το οποίο σημαίνει ότι, εν γένει, οι μονάδες αποτέφρωσης δέχονται, από νομικής πλευράς, κάθε είδος βιομάζας).

Βιομηχανικά απόβλητα				
A.4	A.4.1 – Απόβλητα από αγροτο-βιομηχανικές δραστηριότητες	Επεξεργασία αγροτικών προϊόντων, κτηνοτροφικών προϊόντων, π.χ. για τροφή	A.4.1.1–φλοιοί ρυζιού A.4.1.2–κελύφη καρπών A.4.1.3–ελαιοπυρήνες A.4.1.4–στέμφυλα A.4.1.5–απόβλητα σφαγείων	B2 ή B4 B2 ή B4 B2 ή B4 B2 ή B4 B4
A.4	A.4.1 – Απόβλητα από δραστηριότητες επεξεργασίας ξύλου	Επεξεργασία ξύλου, π.χ. βιομηχανική παραγωγή	A.4.2.1-πριονίδι A.4.2.2-φλοιοί A.4.2.3-απόβλητα της παραγωγής χαρτιού, συμπεριλαμβανομένου του μαύρου υγρού	B1 B2 B3
A.4	A.4.1 – Απόβλητα από άλλες βιομηχανίες και το εμπόριο (τριτογενής τομέας)	Βιομηχανία και εμπόριο, εξαιρουμένης της δασικής βιομηχανίας, αγροτο-βιομηχανία, βιομηχανία ξύλου	A.4.3.1–ροκανίδια (τσιπς)	B1
Απόβλητα αστικού τομέα				
A.5	A.5.1 – Οργανικά απόβλητα νοικοκυριών (τριτογενής τομέας)	Νοικοκυριά	A.5.1.1-ξυλεία κατεδάφισης A.5.1.2–βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα A.5.1.3-λυματολάσπη	B3 B4 ή B3 B4
A.5	A.5.2 – Απόβλητα δέντρων εκτός των δασών (υπαιθριοί χώροι)	Δέντρα εκτός των δασών, περιλαμβανομένων των οπωρώνων και των αμπελώνων, των δημόσιων χώρων πρασίνου και των ιδιωτικών κήπων	A.5.2.1-κλαδέματα A.5.2.2-χορτάρια	B1 B2

4.2 Εκτίμηση του δυναμικού βιομάζας

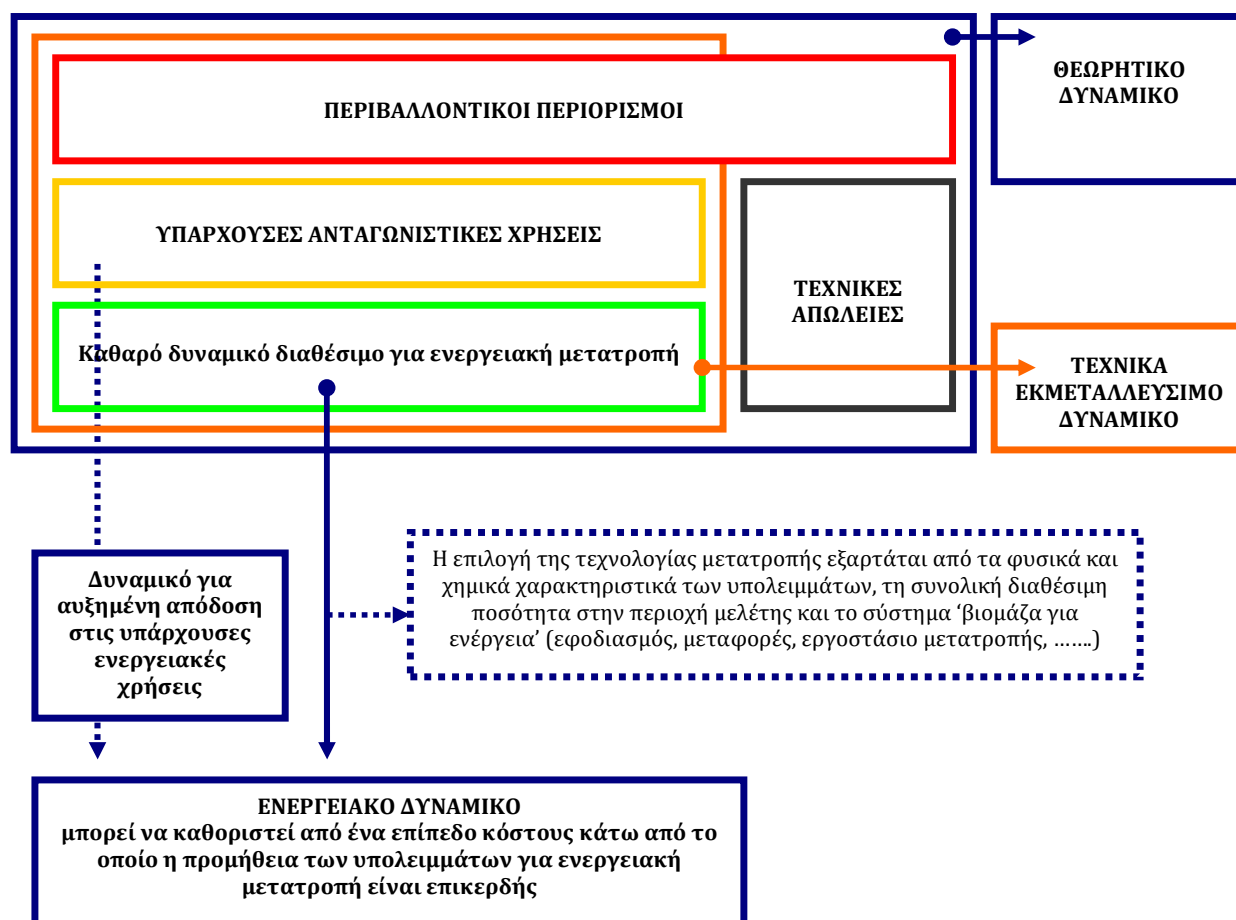
Η βασική επιχειρηματική πρόκληση για τα δυνητικά έργα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα προβάλλει την κερδοφορία των αλυσίδων της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα σε σύγκριση με άλλες χρήσεις της γης, μέσα από μια ολοκληρωμένη ανάλυση κύκλου ζωής. Αυτό απαιτεί τη μείωση του κόστους της παραγωγής της βιομάζας και της μεταφοράς της, καθώς και μια πιο ακριβή εκτίμηση του δυναμικού της και της διαθέσιμης βιομάζας με βάση τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης περιοχής.

Σε αυτό το βήμα, ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο προσδιορισμός της παραγωγής βιομάζας από κάθε προαναφερόμενο τομέα. Η επιλογή των ειδών αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα σχετικά με την παραγωγικότητα. Εντούτοις, είναι σημαντικό να θυμάται κανείς ότι τα φυτά διέπονται από φυσικούς νόμους. Ως γενική αρχή, η υψηλή παραγωγικότητα της βιομάζας προέρχεται από τα μεγάλα συστήματα παραγωγής ξυλώδους βιομάζας, με απόδοση γύρω στους 5-15 ξηρούς τόνους/εκτάριο κατ' έτος, λαμβάνοντας τον μέσο όρο στις περιόδους ανάπτυξης και συγκομιδής.

Άλλα συστήματα υψηλής παραγωγικότητας έχουν επίσης επιδειχθεί, όπως είναι τα ταχέως αυξανόμενα ποώδη φυτά, με ετήσιες αποδόσεις που φθάνουν τους 50 ξηρούς τόνους ανά εκτάριο. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα απαιτούν κατάλληλο έδαφος και κλιματικές συνθήκες για την υποστήριξη των υψηλών ρυθμών ανάπτυξης. Η παραγωγικότητα καθορίζει το αποτύπωμα γης, υποστηρίζοντας ένα σχέδιο παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Η παραγωγικότητα της βιομάζας εξαρτάται επίσης από τα κόστη της συγκομιδής, της μεταφοράς και της εφοδιαστικής αλυσίδας. Για το λόγο αυτό προτείνεται επίσης μια γεωγραφική ανάλυση της βιομάζας για τον προσδιορισμό της χωρικής της κατανομής.

Εάν η πανταχού παρουσία είναι ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα της βιομάζας, την ίδια στιγμή αποτελεί επίσης ένα από τα βασικά μειονεκτήματά της. Η συγκέντρωση όλης της βιομάζας μιας συγκεκριμένης περιοχής σε κεντρικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας είναι ακριβή, αλλά μια συγκεντρωμένη παραγωγή βιομάζας, με καλό εφοδιασμό και αποθήκευση, επιτρέπει την επίτευξη οικονομιών κλίμακας στις μονάδες επεξεργασίας.

Ακόμη και εάν οι πηγές βιομάζας είναι “πανταχού παρούσες”, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όλη η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, εξαιτίας των πολλών “περιορισμών”. Είναι σαφές ότι, για την καλύτερη χωρική στρατηγική για την εκτίμηση της προμήθειας της βιομάζας, είναι σημαντικό να αναπτυχθεί μια “Προσέγγιση της Βιομάζας”, η οποία να λαμβάνει υπόψη τις δυνατότητες και τις διαθέσιμες τιμές της, στα πλαίσια των συνθηκών της αειφορίας.



Σχήμα 3. Προσέγγιση της εκτίμησης της βιομάζας (έργο 'Make It Be', 2010)

Το δυναμικό της βιομάζας αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα των πηγών που υπάρχουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Είναι αρκετά συνηθισμένο να γίνεται αναφορά στο δυναμικό της βιομάζας από διαφορετικές οπτικές γωνίες, και έτσι προκύπτουν το θεωρητικό, το τεχνικό, το οικολογικό και το οικονομικό δυναμικό. Σε πρακτικό επίπεδο, η πραγματική βιομάζα που διατίθεται για ενεργειακές χρήσεις προέρχεται από την εφαρμογή ορισμένων περιορισμών (τεχνικών, περιβαλλοντικών, άλλων περιορισμών που σχετίζονται με ανταγωνιστικές χρήσεις) πάνω στο θεωρητικό δυναμικό, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.

Με βάση την προαναφερόμενη “Προσέγγιση της Βιομάζας”, από την “τιμή του θεωρητικού δυναμικού” της βιομάζας θα είναι δυνατό να εκτιμηθεί η “πιο πιθανή τιμή καθαρού δυναμικού” σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Συνήθως, η εκτίμηση των πόρων βιομάζας σχετίζεται με μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, γιατί οι τιμές τους είναι ευμετάβλητες και αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου.

4.3 Υπολογισμός του δυναμικού της βιομάζας

Μιλώντας για τους πόρους, ειδικά για όλα τα είδη της βιομάζας σε σχετικά μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, δύο είναι τα είδη προβλημάτων στα οποία θα πρέπει να επικεντρωθεί η όποια έρευνα: οι διαθέσιμοι πόροι (εύρος και μέση τιμή) και η αξιοπιστία των δεδομένων. Η δυσκολία αυτή εντείνεται δεδομένου ότι η διαθεσιμότητα εξετάζεται συχνά σε τεχνικό και οικονομικό πλαίσιο. Στη συνέχεια αυτού του υποκεφαλαίου γίνεται μια προσπάθεια να διαχωριστεί αυστηρά η έννοια της διαθεσιμότητας από το κόστος προμήθειας και τις τιμές, καθώς αυτές διαφέρουν από χώρα σε χώρα.

4.3.1 Δυναμικό βιομάζας από ενεργειακές καλλιέργειες

Ο γεωργικός τομέας είναι ένας από τους πιο σημαντικούς από την άποψη του δυναμικού της βιομάζας, η οποία μπορεί να τροφοδοτεί τις διεργασίες μετατροπής σε ενέργεια στη μορφή τόσο των ενεργειακών καλλιεργειών όσο και των γεωργικών υπολειμμάτων (αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο). Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στο θεωρητικό δυναμικό της βιομάζας που προέρχεται από ενεργειακές καλλιέργειες. Σημειώνεται ότι είναι πάντοτε αναγκαία μια σωστή εκτίμηση του δυναμικού για να εξεταστεί η τοπική παραγωγή που σχετίζεται με τα παραγόμενα υλικά από τη γεωργία.

Με βάση τις περιγραφές της βιομάζας και τη σχετική της ταξινόμηση, ο Πίνακας 6 παρέχει μια γενική επισκόπηση του δυναμικού παραγωγής βιομάζας από ενεργειακές καλλιέργειες, στην οποία αναφέρονται ως παραδείγματα διαφορετικοί δείκτες συγκομιδής των κυριότερων ενεργειακών καλλιεργειών. Όλες οι τιμές που παρατίθενται προέρχονται στο σύνολό τους από πειραματικές δραστηριότητες στην Ελλάδα και την Ιταλία.

Πίνακας 6: Δείκτες παραγωγής βιομάζας από ενεργειακές καλλιέργειες (γενική επισκόπηση)

Ενεργειακές καλλιέργειες	Είδος βιομάζας	Παραγωγή βιομάζας ⁸ (t _{dm} /ha) ⁹	Υγρασία συγκομιδής (%)	Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg _{dm})	Αναφορές
Ετήσιες καλλιέργειες αγρωστωδών					
Σιτηρά	Σπόροι	2,0–3,5, 3,0 - 5,5 4,1-9,2, 7,08	14 14 12-14 -	- - 16,5 -	Cioffo, 2009 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Sager A., <i>et al.</i> , 2009 Casagrande L. <i>et al.</i> , 2005
Αραβόσιτος	Αραβόσιτος ζωτροφής	10,60–8,34, 9,93	59 – 64 , 62	17	R. Canestrone <i>et al.</i> , 2007
	Καλαμπόκι	7,09–8,34, 7,86 10,9 12, 8-14, 6, 13, 4 4	- - 19-24, 20,4 14	- - - -	Barbieri S. <i>et al.</i> , 2004 Sacco <i>et al.</i> , 2007 Casagrande <i>et al.</i> , 2005 Cioffo, 2009
	Αραβόσιτος ενσίρωσης	19	34,5	17	Candolo G., 2009
Sorghum bicolor (Σόργο)	Γλυκό σόργο	13 – 45 9,1	30 30	- 17	Mardikis <i>et al.</i> , 2000 Jodice R., 2007
	Ινώδες σόργο	27 20 – 30 22 – 28, 25 20,5	30 ¹⁰ 55 – 70 ⁵ 40 -	- - 16,9 -	Mardikis <i>et al.</i> , 2000 Candolo G., 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Coaloa D., <i>et al.</i> , 2010
	Σόργο ενσίρωσης	18	30	17	Candolo G., 2006
Κάνναβη η ήμερη	Στελέχη, φύλλα	5 – 15	50 - 60	18 – 25,6	Candolo G. 2006
Τριφύλλι & χόρτα κτηνοτροφίας	Στελέχη	8 1 – 6, 3,5	80 84,5 – 83,5	10,2 2,4	Επεξεργασμένα δεδομένα (Candolo G., 2009)
...					
Πολυετείς καλλιέργειες αγρωστωδών					
Arundo Donax (Καλάμι)	Στελέχη, φύλλα	20 – 30 15 – 35 20 – 35, 28 8,68	- 55 – 70 40 -	16 - 17,1 16 – 17 17,5 -	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000 Candolo G., 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Coaloa D., <i>et al.</i> , 2010
Mischantus spp. (Μίσχανθος)	Στελέχη, φύλλα	11 – 34 15 – 25 15 – 30, 23	- 50 – 60 15 – 30, 25	17,6 17,3 – 17,6 17,0	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000 Candolo G., 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Panicum Virgatum (Switchgrass)	Στελέχη, φύλλα	14 – 25, 19 10 – 25 10 – 25, 18	- 50 – 60 35 – 40, 35	- 17,4 15,9	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000 Candolo G., 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Cynara Cardunculus (Αγριαγκινάρα)	Στελέχη, φύλλα	17 – 30 10 -15, 12 7,12 – 14	- (20 – 30) 20	- 15,6 14 – 18	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Ranalli P., 2010
Hibiscus cannabinus (Kenaf)	Στελέχη	7.6 – 23.9 10 – 20 10 – 20, 15	22.4 – 26.9 50 – 60 35	- 15.5 – 16.3 15.9	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000 Candolo G., 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
...					

⁸ Εύρος και μέση τιμή.

⁹ Η παραγωγή βιομάζας υπολογίζεται ως ξηρή ουσία ανά έτος.

¹⁰ Η υγρασία συγκομιδής εξαρτάται από την περιοχή. Στην Ελλάδα εκτιμάται σε 30%.

Καλλιέργειες ελαιούχων φυτών					
Ηλιάνθος	Σπόροι	3.0- 3.9, 3.0 ¹¹ 1.3-1.6, 1.1 ¹² 2.82 ¹⁵	9 -	37.7 -	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Coaloe D. <i>et al.</i> , 2010
Brassica Napus (Ελαιοκράμβη)	Σπόροι	1.4 – 2.0 2.7 ¹⁵ – 1.1 ¹⁶ 1.0 ⁹ 1.88 ¹⁵	9	- 37.6 -	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Balat M., 2010 Coaloe D. <i>et al.</i> , 2010
Brassica Carinata (Βρασσική η αιθίοπια)	Σπόροι	1.4 – 2.0 ¹⁵ 1.01	-	14.6 - 21	Mardikis M. <i>et al.</i> , 2000 Coaloe D. <i>et al.</i> , 2010
Glycine Max (Σόγια)	Σπόροι	0.52 ¹⁶ 2.7 ¹⁶ – 0.5 ¹⁶ -	- - -	- - 39.6	Balat M., 2010 Marson T., ..., 2010 Vegburner.co.uk/oils.htm
Βαμβάκι	Σπόροι	0.27 ¹⁶ 3.026 ¹⁵ - 0.5 ¹⁶	- - -	- - 39.4	Tickell, 2000 Marson T., ..., 2010 Vegburner.co.uk/oils.htm
Φοίνικας	Φρούτα - σπόροι	5 ¹⁶ 13.28 ¹⁵ - 4.5 ¹⁶ 17.08 ¹⁵ – 5 ¹⁶	- - 67	- - 18.8 – 20.1	Balat M., 2010 Marson T., ..., 2010 Nasrin A.B.,2008
Jathropha	Σπόροι	0.5 ¹⁶ -	- -	- 43-46	Balat M., 2010 www.jatrofuel.com
Μικροφύκη ¹³	Όλη η βιομάζα	25-75 50 ¹⁶ -	- - 92	- - 49.4	Trabucco F. <i>et al.</i> , 2010 Balat M., 2010 Demirbas A., 2010
...					
Λιγνοκυτταρινούχες δενδρώδεις καλλιέργειες (SRF) ¹⁴					
Λεύκη	Ξύλο	9 – 12.5 9 -13 11 11.8 – 17 9.56	50 – 60 50 50 -	17.7 – 18 18.6-19.1 - -	Candolo, 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Ranalli P., 2010 Coaloe D. <i>et al.</i> , 2010
Salix spp. (Ιτιά)	Ξύλο	10 – 15 10 – 15, 12.5	50 – 60 50	17.8 – 18.4 18.4-19.2	Candolo, 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Robinia Pseudoacacia (Ψευδακακία)	Ξύλο	5.6 – 17.1, 7 10 – 13 10 – 15, 11 8.75	- 50 - 60 50	- 17.7 – 17.8 17.8	Mardikis <i>et al.</i> , 2000 Candolo, 2006 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009 Coaloe D. <i>et al.</i> , 2010
Eucalyptus spp. (Ευκάλυπτος)	Ξύλο	8 – 9 12	50 50	16 - 19 ¹⁵ 18.6	Mardikis <i>et al.</i> , 2000 Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Λόχμες κωνοφόρων	Ξύλο	35 - 60	40 - 50	18.8-19.8	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009
Λόχμες φυλλοβόλων	Ξύλο	36 -60	40 -50	18.5-19.2	Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009

¹¹ Η τιμή αφορά την παραγωγή σπόρων (t_{dm}/ha ανά έτος)

¹² Η τιμή αφορά το εξαγόμενο μη επεξεργασμένο λάδι (t/ha ανά έτος)

¹³ Τα μικροφύκη είναι ένα νέο σύννορο των “ενεργειακών καλλιεργειών” με υψηλό δυναμικό για παραγωγή ελαιώδους βιοκαυσίμου. Ισχυρά τους σημεία είναι ο μικρός κύκλος ζωής, η φωτοσυνθετική δραστηριότητα που δεσμεύει περισσότερο CO₂ σε σχέση με αυτή των φυτών και το εύρος των λιπιδίων που κυμαίνεται από 25 ως 75t/ha.

¹⁴ Γενικά, κάποιες καλλιέργειες λιγνοκυτταρινούχων φυτών καλλιεργούνται ως φυτείες δασικών ειδών μικρού περιόδου χρόνου (SRF – Short Rotation Forestry)

¹⁵ Η θερμοδικής αξία εξαρτάται από το τμήμα του φυτού που χρησιμοποιείται περισσότερο: στελέχη με ή χωρίς φύλλα

4.3.2 Δυναμικό βιομάζας από υπολείμματα και απόβλητα

Υπολείμματα του γεωργικού τομέα

Από την έκθεση της Ε.Ε. σχετικά με την αξιολόγηση των γεωργικών υπολειμμάτων, οι καλλιέργειες με υπολείμματα καλύπτουν πάνω από το 1% της συνολικής (αξιοποιημένης) γεωργικής γης (ΑΓΓ)¹⁶ στην Ε.Ε. των 15 και παράγουν ξηρά λιγνοκυτταρινούχα υπολείμματα (περιεκτικότητα σε υγρασία <50%). Αυτές αφορούν το μαλακό σιτάρι (10,8% της ΑΓΓ), το σκληρό σιτάρι (2,9% της ΑΓΓ), το κριθάρι (8,7% της ΑΓΓ), το καλαμπόκι (3,3% της ΑΓΓ), τον ηλιάνθο (1,6 % της ΑΓΓ), την ελαιοκράμβη (2,8% της ΑΓΓ), τις ελιές (2,8% της ΑΓΓ), τα αμπέλια (2,7% της ΑΓΓ) και άλλες καλλιέργειες (Siemons R., 2004).

Η ποσότητα των υπολειμμάτων που παράγονται από μια συγκεκριμένη καλλιέργεια (συνήθως ονομάζεται *αναλογία υπολείμματος προς προϊόν*) μπορεί να διαφέρει σημαντικά, ανάλογα με τις γεωργικές πρακτικές, την υπό εξέταση ποικιλία ή τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες. Συνεπώς, οι εκτιμήσεις της αναλογίας υπολείμματος προς προϊόν θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο συγκεκριμένες, σύμφωνα με την περιοχή μελέτης. Ωστόσο, με δεδομένο ότι τα στοιχεία αυτά είναι σπάνια διαθέσιμα σε τοπική κλίμακα, είναι δυνατόν να γίνεται αναφορά σε μελέτες που δημοσιεύονται στην επιστημονική ή θεματική βιβλιογραφία.

Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό των υπολειμμάτων αυτών των καλλιεργειών υπολογίζεται με πολλαπλασιασμό των καλλιεργούμενων εκτάσεων με τη γεωργική παραγωγή, για κάθε καλλιέργεια σε κάθε χώρα, λαμβάνοντας υπόψη την εκάστοτε μέση τιμή της παραγωγής και τις αναλογίες των υπολειμμάτων ή τις αποδόσεις των υπολειμμάτων (σε ξηρούς τόνους/εκτάριο), που προέρχονται από τη βιβλιογραφία. Μια επισκόπηση της παραγωγής υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών δίνεται στον Πίνακα 7, σύμφωνα με διάφορες πηγές.

Πίνακας 7: Τιμές υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών

Γεωργικές καλλιέργειες	Είδος βιομάζας	Αναλογία υπολειμμάτων (υπόλειμμα/ κύριο προϊόν)	Παραγωγή βιομάζας (t _{dm} /ha)	Υγρασία συγκομιδής (%)	Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (MJ/Kg _{dm})	Αναφορές
Υπολείμματα καλλιεργειών αγρωστωδών						
Μαλακό σιτάρι	Άχυρο	0,5 ¹⁷ / 0,9 ¹⁸	-	15	-	Siemons R., 2004
		1 – 1,66 ¹⁹	2,5 – 5,0	10 – 13	17,5 – 19,5	Cioffo,2009; Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009.
Σκληρό σιτάρι	Άχυρο	1	1,2 – 2,5, 2,3	10 -14	17,5 -19,5	
Κριθάρι	Άχυρο	1,16 – 1,36	3	11 – 14	17,5 -19,5	
Βρώμη	Άχυρο	0,34 – 0,39	1 – 1,6	9 – 14	17,5 -19,5	
Αραβόσιτος	Μίσχοι, σπάδικες	1,09 – 1,5	4 – 6	40 – 65	13,8 – 17,6	Siemons R.,
		0,7	-	50	-	

¹⁶ ΑΓΓ: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Crop_production_statistics_at_regional_level

¹⁷ Οι τιμές αφορούν τη βόρεια ΕΕ

¹⁸ Οι τιμές αφορούν την κεντρική-νότια ΕΕ

¹⁹ Οι τιμές αφορούν περιφέρειες της νότιας Ιταλίας (Σικελία, Basilicata, Καλαβρία, Campania, Puglia, Σαρδηνία)

Ελαιοκράμβη	Μίσχοι	1,6	-	45	-	2004	
Ηλιανθος	Στελέχη και φύλλα	3,3	-	40	-	Cioffo,2009; Foppa Pedretti, 2009	
		0,7 – 1,3	1,7 - 4	14 – 20	15,2 – 17,9		
Υπολείμματα σπρωρώνων							
Πυρηγόκαρπα (Ροδακιές)	Κλαδο-δέματα	0,30 -0,50	4 - 6	35 – 45	18 – 18,4	Cioffo,2009; Foppa Pedretti <i>et al.</i> , 2009	
Μηλοειδή (Αχλαδιές)		0,14 - 0,30	4 - 6	35	18 – 18,4	Cioffo,2009	
Αμυγδαλιές		0,60	3	35	18 – 18,4		
Φιστικιές		0,40	-	35	18 – 18,4		
Συκιές ²⁰		0,21	2	55	18 – 18,4		
Core ²¹		1,57 - 2	1,4 – 2,8	35	18 – 18,4		
Πορτοκαλιές		0,25 – 0,5	3 – 7	35 - 45	-		
Κλημεντίνες		0,27 – 0,5	1,6 – 6,4	35 - 45	-		
Μανταρινιές		0,23 – 0,4	0,4 – 1,6	35 - 45	-		
Λεμονιές		0,33 – 0,4	0,4	35 - 45	-		
Περγαμόντο ²²		0,39 – 0,5	3,6 – 6,8	35 - 45	-		
Αμπελώνες ²³		0,39 – 0,45	2,0 – 2,5	45 - 50	18,4 – 19,2		
Ελιές ²⁴		1,14 – 1,25	1 – 4, 3,7	35 - 45	18,4 – 18,8		Cioffo,2009; Foppa Pedretti, 2009

Η διαθεσιμότητα αυτών των ειδών των υπολειμμάτων για την παραγωγή ενέργειας περιορίζεται από διάφορους τεχνικούς, περιβαλλοντικούς ή οικονομικούς παράγοντες που είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν. Σύμφωνα με τους Δαλιάνη και Πανούτσου (1995), από το σύνολο των γεωργικών υπολειμμάτων που παράγονται στην Ε.Ε. των 15 το 48% υφίσταται εκμετάλλευση σε μη-ενεργειακές (π.χ. για τη διατροφή των ζώων) ή παραδοσιακές ενεργειακές εφαρμογές και ένα επιπλέον 40-45% δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για διάφορους τεχνικούς και/ή οικονομικούς λόγους (Siemons R., 2004).

Σύμφωνα με αυτό, τα στοιχεία που αναφέρθηκαν από τον Cioffo καταδεικνύουν ότι στη νότια Ιταλία η χρήση του υπολειμματικού άχυρου ως ενεργειακού προϊόντος πρέπει να αποκλειστεί, επειδή προορίζεται για τον κτηνοτροφικό τομέα ή για αναμόχλευση με το έδαφος για λόγους αγρονομικούς. Το ξύλο από τις κλαδεύσεις δείχνει να έχει μια διακριτή επιτυχία ως ενεργειακό προϊόν, αφού τα στατιστικά στοιχεία επιβεβαιώνουν ότι το 31% του ξύλου από τις κλαδεύσεις συλλέγεται ετησίως και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας (Cioffo, 2009).

Υπολείμματα του κτηνοτροφικού τομέα

Ο μέσος όγκος της κοπριάς, αλλά και της υδαρούς κοπριάς, διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από το ένα ζωικό είδος στο άλλο και εξαρτάται κυρίως από την ηλικία και το βάρος των ζώων. Ωστόσο, έχουν υπολογιστεί κάποιες μέσες τιμές από διάφορους ερευνητές προκειμένου να βοηθηθεί ο προγραμματισμός, ο σχεδιασμός και η λειτουργία των συστημάτων συλλογής,

²⁰ Οι τιμές αφορούν φυτευτικούς συνδέσμους 6x6 και 10x10/ha.

²¹ Οι τιμές αφορούν φυτευτικούς συνδέσμους 5x5 με παραγωγικές κλαδεύσεις.

²² Οι τιμές αφορούν φύτευση 500 φυτών/ha.

²³ Οι τιμές αφορούν φυτεύσεις 2x1 με τεχνολογίες κεντρικών κλαδεύσεων

²⁴ Οι τιμές αφορούν φύτευση 150 φυτών/ha με παραγωγή 25 kg κλαδεμάτων/φυτό *έτος

αποθήκευσης, προ-επεξεργασίας και αξιοποίησης της κοπριάς για τις κτηνοτροφικές μονάδες. Σε αυτή την ανάλυση υιοθετούνται οι πρότυποι συντελεστές του ASAE, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 8, σε αντιστοιχία με άλλες τιμές που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία. Οι τιμές αναφέρονται σε νωπή και υδαρή κοπριά.

Πίνακας 8: Συντελεστές αποβλήτων (νωπή και υδαρή κοπριά) για τις κατηγορίες ζώων

Κατηγορίες ζώων	Μάζα ζώντων ζώων (kg)	Συνολική νωπή κοπριά (kg _{m.}) ²⁵	Υγρασία (%)	TS Ολικά στερεά (% on Kg _{m.})	VS Πτητικά στερεών (% on TS)	Παραγωγή βιοαερίου (m ³ /t _{sv})	CH ₄ στο βιοαέριο (%)	Αναφορές
Βοοειδή	640	50 – 55, 51	83 -88 86	11 – 15,12	80 – 85	300 – 450	60 – 65	ASAE D384.1, F. Pedretti 2009, Siemens R., 2004
Χοιροειδή	60	5 – 6, 5,2	90	6 – 9, 8	75 – 90	450 – 550	60 – 65	
Άλογα	500	20–24,5, 23,6	85	14 – 15, 15	75	250 – 500	60 – 65	
Όρνιθες	1,6 - 3,5	0,52 - 0,72	75	19 – 25, 23	75	300 – 500	60 – 65	ASAE D384.1, F. Pedretti 2009, Siemens R., 2004
Γαλοπούλες	6 -15	0,48 -1,2	74	19	95 – 98	300 – 500	60 – 65	
Πάπιες	6,5 -8	0,52 - 0,64	74	49	33	300 – 500	60 – 65	
Αιγο-πρόβεια	70 -80	5,6 – 6,4	-	22 -40	70 – 75	300 – 500	60 – 65	

Έχοντας υπόψη τις δυνατότητες συλλογής και ενεργειακής χρήσης της κοπριάς (από την άποψη της παραμονής των ζώων σε εξωτερικούς χώρους, ή σε μικρά αγροκτήματα), μόνο το 50% μπορεί να θεωρηθεί διαθέσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Με βάση τις παραδοχές και τις εκτιμήσεις των δεδομένων που έγιναν από τον Siemens, η διαθεσιμότητα της υγρής ζωικής κοπριάς στην Ε.Ε. των 27 (EE15+10+2) είναι περίπου 14 Mtoe, τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μεθανίου μέσω αναερόβιας χώνευσης.

Όπως αναφέρεται στον Πίνακα 8, το ποσό των αποβλήτων που παράγονται από μία μόνο μονάδα υπολογίζεται ανάλογα με το είδος των ζώων (βοοειδή, γουρούνια, κοτόπουλα ή/και άλογα). Επιπλέον, εξαρτάται από την ηλικία τους και τον σκοπό της εκτροφής τους (π.χ. τα βοοειδή γαλακτοπαραγωγής και τα μοσχάρια παράγουν διαφορετικό ποσό αποβλήτων). Το θεωρητικό δυναμικό θα πρέπει να υπολογίζεται μετά από ανάλυση της κτηνοτροφικής μονάδας, των μονάδων ζώντων ζώων και των κτηνοτροφικών πρακτικών. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτή η έρευνα είναι δύσκολη ή πολύ ακριβή για να πραγματοποιηθεί.

Υπολείμματα του δασικού τομέα

Υπολείμματα του δασικού τομέα είναι όλη αυτή η βιομάζα που προέρχεται από τα δάση κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων της δασοπονίας. Περιλαμβάνουν τους φλοιούς και τα θρύμματα ξύλου (τσιπς) που προέρχονται από τις κορυφές και τα κλαδιά, καθώς και κούτσουρα και θρύμματα που προέρχονται από τις αραιώσεις και τελικές καρπώσεις των δασών. Όταν αυτά τα

²⁵ Η νωπή κοπριά αναφέρεται στο δηλωμένο βάρος ζώντων ζώων.

υπολείμματα υπόκεινται σε διαδικασία επεξεργασίας (όπως, π.χ., παραγωγή μπριγκέτων ή pellets από πριονίδια και εξακρίδια) θεωρούνται βιομηχανικά προϊόντα.

Πίνακας 9: Αξία των υπολειμμάτων του δασικού τομέα

Κατηγορίες δασικής ξυλείας	Είδος βιομάζας	Παραγωγή βιομάζας ²⁶ (t _{dm} /ha)	Υγρασία συγκομιδής (%)	Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg _{dm})	Αναφορές
Δάση πλατυφύλλων	Κορυφές και κλαδιά	2 – 4	25 – 60, 40	18,5 – 19,2	F. Pedretti E., 2009
Δάση κωνοφόρων	Κορυφές και κλαδιά	2 – 4	25 – 60, 40	18,8 – 19,8	
Ξύλο από όχθες ποταμών	Κορυφές και κλαδιά	0,8 – 1,6 ²⁷	40 – 60	16 -18	Francescato, 2009.

Υπολείμματα και απόβλητα του βιομηχανικού τομέα

Πολλές αναλύσεις των βιομηχανικών αποβλήτων που έχουν γίνει στην Ε.Ε. εκτιμούν ότι τα βιομηχανικά απόβλητα των χωρών της Ε.Ε. (27) προσεγγίζουν τα 13 Mtoe (Siemons R., 2004). Τα βιομηχανικά υπολείμματα περιλαμβάνουν βιομηχανικά απορρίμματα ξύλου από πριστήρια και εργοστάσια ξυλείας (φλοιός, πριονίδια, θρυμματισμένο ξύλο, σανίδες και εξακρίδια). Επίσης, περιλαμβάνονται τα απόβλητα από εργοστάσια παραγωγής χαρτιού και χαρτοπολτού (π.χ. μαύρο υγρό), όμως η μεγαλύτερη πηγή των βιομηχανικών υπολειμμάτων θεωρείται ότι είναι η βιομηχανία τροφίμων.

Αυτά τα υπολείμματα μπορεί να αποτελούνται από υγρές κυτταρινούχες ύλες (π.χ. ουρές από παντζάρια), από λίπη (χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια) και πρωτεΐνες (δηλαδή, απόβλητα σφαγείων). Στην ενότητα αυτή δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη όλα τα υπολείμματα, λόγω κυρίως της έλλειψης δεδομένων, ορισμένα όμως από αυτά αναφέρονται στον Πίνακα 10 που ακολουθεί.

Πίνακας 10: Υπολείμματα και απόβλητα του βιομηχανικού τομέα

Υπολείμματα και απόβλητα δασικών βιομηχανιών					
Κατηγορίες βιομηχανιών	Είδος βιομάζας	Παραγωγή βιομάζας (t _{dm})	Υγρασία συγκομιδής (%)	Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg _{dm})	Αναφορές
Ξύλο από πριστήρια	Φλοιοί, πριονίδια, θρύμματα πλακίδια, εξακρίδια	-	25 -60	18 – 21	F. Pedretti, 2009.
Εργοστάσια χαρτιού και χαρτοπολτού	Μαύρο υγρό	-	-	-	-

²⁶ Εύρος και μέση τιμή.

²⁷ Η μέση τιμή αφορά σε “χλωρούς τόνους ανά 100 γραμμικά μέτρα”.

Υπολείμματα και απόβλητα ζωοτεχνικών βιομηχανιών						
Κατηγορίες βιομηχανιών	Είδος βιομάζας	% αποβλήτων του βάρους ζώντων ζώων	(%)	(MJ/t _{dm})	Αναφορές	
Βοοειδών Χοίρων Πουλερικών Αιγο-πρόβειων	Απόβλητα σφαγείων	7 – 9 12 – 14 23 -26 8-11	50 – 60	1,59 – 28,05	F. Pedretti, 2009.	
Υπολείμματα και απόβλητα αγροτικών βιομηχανιών						
Κατηγορίες βιομηχανιών	Είδος βιομάζας	(βιομάζα/κύριο προϊόν) Λόγος	t/ha	(%)	(MJ/Kg _{dm})	Αναφορές
Λαχανικών	Φλούδες, φλοιοί, τσόφλια, κελύφη	-	-	75 - 90	-	F. Pedretti, 2009.
Ροδάκινων	Κουκούτσια/πυρήνες	0,07	0,88	12-15	19,6 – 22	Cioffo, 2009
Αμυγδάλου	Κελύφη	0,73	3,65	< 15	19,6 - 22	
Φουντουκιών	Κελύφη	0,50 0,50 – 0,55	0,70 0,77	< 15 12-15	18,4 – 19 16,9 – 17,8	Cioffo, 2009 F. Pedretti, 2009.
Φιστικιών	Κελύφη	0,60	0,3	< 15	19,6 - 22	Cioffo, 2009
Πορτοκαλιών	Φλοιοί, κομμάτια φρούτων	0,10	1,48 – 2	> 80	-	Cioffo, 2009
Υπολείμματα ελιάς	Πυρηνόξυλο μετά την εξαγωγή πυρηνελαίου	0,22 – 0,28	1,32-2,8	12 - 20	17,6 – 18,4	Cioffo, 2009
Οίνου-σταφυλιών	Απόβλητα στεμφύλων	0,25 – 0,30 0,15 – 0,21	1,2–1,5	45 – 50 40 - 70	- 16,5 - 17,4	Cioffo, 2009 F. Pedretti, 2009.

Υπολείμματα και απορρίμματα του αστικού τομέα

Όπως ανακοινώθηκε στο Άρθρο 2 της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ της Ε.Ε., τα βιοαποικοδομήσιμα αστικά απόβλητα (BAA) ορίζονται ως τα απόβλητα που είναι σε θέση να υποστούν αναερόβια ή αερόβια αποσύνθεση, όπως είναι τα απόβλητα τροφίμων και κηπουρικής, το χαρτί και το χαρτόνι. Τα συνθετικά οργανικά υλικά, όπως είναι τα πλαστικά, εξαιρούνται από τον ορισμό αυτό, δεδομένου ότι δεν είναι βιοαποικοδομήσιμα.

Ωστόσο, έμφαση δίνεται στα υπολείμματα βιομάζας που μπορούν να συμβάλουν σε μια καθαρή μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η εκτίμηση όλου του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των αστικών αποβλήτων είναι μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία, επειδή κάθε χώρα έχει διαφορετικό σύστημα συλλογής και διαχείρισης των αποβλήτων της. Ως εκ τούτου, στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας κατάλογος μόνο των κυριότερων κατηγοριών των αποβλήτων (Πίνακας 11).

Πίνακας 11: Κυριότερες κατηγορίες αστικών αποβλήτων

Κατηγορίες	Είδος βιομάζας	(Βιομάζα/ΒΑΑ) Λόγος	Παραγωγή βιομάζας (t/y)	Υγρασία (%)	Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg _{dm})	Αναφορές
Οργανικό κλάσμα των ΒΑΑ (νοικοκυριά)	Οργανική ουσία	-	-	-	-	-
Οργανικό κλάσμα από εμπορικές υπηρεσίες, εστιατόρια, σχολεία, κλπ.	Οργανική ουσία	-	-	-	-	-
Χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια	Λάδι	-	-	-	-	-
Κλαδεύσεις από αστικές οδούς	Κλαδιά	8 - 25 ²⁸	80 -250	40	18 - 21	Foppa Pedretti, 2009.

4.4 Υπολογισμός της διαθέσιμης βιομάζας

Οι μελέτες και οι εκτιμήσεις για τους πόρους της βιομάζας (ειδικά οι μελέτες που εξετάζουν όλους τους τύπους βιομάζας για σχετικά μεγάλες γεωγραφικές περιοχές) πρέπει γενικά να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που συνδέονται με την αξιοπιστία των δεδομένων σχετικά με τα υφιστάμενα υπολείμματα, τα απόβλητα, τη βιομάζα που μπορεί να προέλθει από ενεργειακές καλλιέργειες, τα οποία συνδέονται επίσης με τον ορισμό του διαθέσιμου πόρου, όταν τα όρια - συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών και των οικονομικών - είναι ασαφή. Για την αξιολόγηση της διαθέσιμης βιομάζας είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν στο μοντέλο οι διάφοροι περιορισμοί (περιβαλλοντικοί, κοινωνικοί και οικονομικοί) που μπορούν να περιορίσουν την διαθεσιμότητά της.

Αφού έχουν εντοπιστεί τα διάφορα είδη διαθέσιμης βιομάζας, οι χρήσεις τους θα μπορούσαν να είναι μόνο εν μέρει αειφόρες. Η αξιολόγηση της “Αειφόρου Προμήθειας Βιομάζας” (ΑΠΒ) είναι δυνατή μόνο μέσω της αξιολόγησης και του ελέγχου όλων των βασικών πτυχών της αλυσίδας παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Ο υπολογισμός της “Διαθέσιμης Προμήθειας Βιομάζας” (ΔιΠΒ) από την “Δυνητική Προμήθεια Βιομάζας” (ΔυΠΒ) παρουσιάζεται παρακάτω.

Γενικά, η ποσότητα των υλικών μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο (Εξίσωση 1) που υπολογίζει τους διαθέσιμους τόνους βιομάζας ανά έτος, λαμβάνοντας υπόψη τους αντίστοιχους δείκτες βιομάζας που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σκοπός είναι να υπολογιστεί η ποσότητα της βιομάζας (τόσο ως πρωτογενές προϊόν όσο και ως υπολείμματα) που μπορεί να συγκομίζεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

$$Biomass_i = Area_or_cattle_dedicated_i \cdot yield_i \cdot RtP_i \cdot (1 - loss_i) \cdot (1 - current_use_i) \cdot (1 - ecol_i) \cdot (econ_i)$$

(Εξίσωση 1)

²⁸ Θεωρήθηκε ένα ποσοστό 8 – 25 % των υπολειμμάτων ξύλου ανά φυτό για τις κλαδεύσεις αραίωσης.

Όπου:

$Area_or_cattle_dedicated_i$ (εκτάρια ή αριθμός βοοειδών): η έκταση της περιοχής ή ο αριθμός των βοοειδών i που συμπεριλαμβάνονται στην περιοχή μελέτης

$yield_i$ (t/ha): η απόδοση της καλλιέργειας ή η κοπριά ανά βοοειδές i στην περιοχή μελέτης

RtP_i : η αναλογία υπολείμμα προς προϊόν της καλλιέργειας ή της κοπριάς ανά βοοειδές i

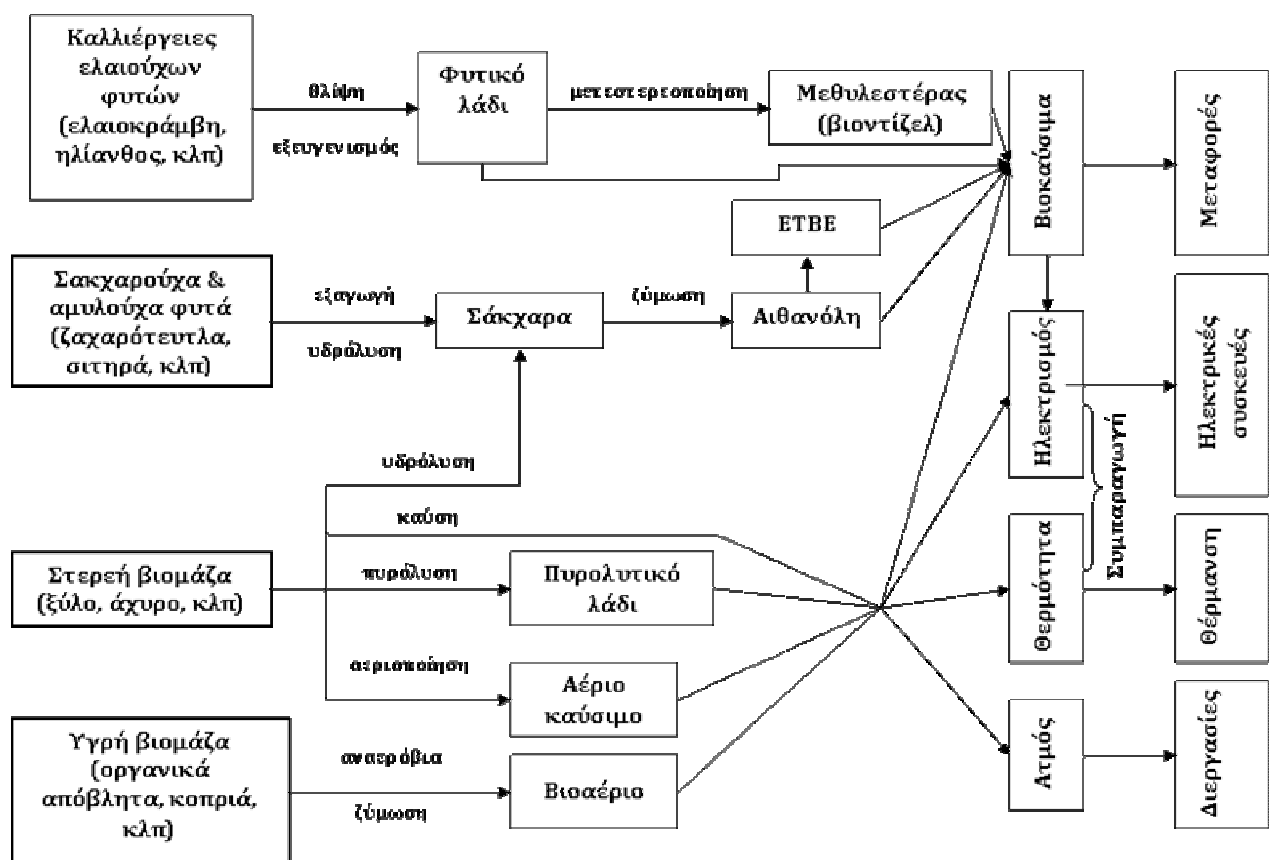
$loss_i$ (%): οι απώλειες υπολειμμάτων εξαιτίας τεχνικών θεμάτων i

$current_use_i$ (%): η τρέχουσα χρήση των υπολειμμάτων i

$ecol_i$ (%): το κλάσμα των υπολειμμάτων που δεν πρέπει να μετακινηθούν λόγω οικολογικών θεμάτων i

$econ_i$ (%): το κλάσμα των υπολειμμάτων το οποίο είναι κατάλληλο από οικονομική άποψη για ενεργειακή μετατροπή i

5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ – ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ



Σχήμα 4: Παρουσίαση των τεχνολογιών βιομάζας

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαθέσιμων πόρων βιομάζας που συνδέονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα, ειδικότερα υπολείμματα και απόβλητα από γεωργικές, βιομηχανικές, αστικές, δασικές και άλλες οικονομικές δραστηριότητες. Το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας, που είναι διαθέσιμο για έργα παραγωγής ενέργειας είναι στερεό ακατέργαστο φυτικό υλικό, με περιεκτικότητα σε υγρασία γενικά γύρω στο 50%. Όλοι αυτοί οι πόροι μπορούν να υποβάλλονται σε διεργασίες χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες, όπως η άμεση καύση (για ηλεκτρισμό και/ή θερμότητα, συστήματα ΣΗΘ), η αναερόβια χώνευση (συμπαραγωγή, για βιοαέριο πλούσιο σε μεθάνιο), η ζύμωση (των σακχάρων για αλκοόλες, βιοαιθανόλη), η εκχύλιση ελαίου (για βιοντίζελ), η πυρόλυση (για βιοκάρβουνο, αέριο και έλαιο) και η αεριοποίηση (για αέριο σύνθεσης πλούσιο σε μονοξείδιο του άνθρακα - CO - και υδρογόνο - H₂) (Σχήμα 4).

Κάθε τεχνολογική διεργασία μπορεί επίσης να ακολουθείται από μια σειρά από δευτερεύουσες διεργασίες (όπως σταθεροποίηση, αφυδάτωση, αναβάθμιση, διύλιση), ανάλογα με τα ιδιαίτερα τελικά προϊόντα. Στον Πίνακα παρουσιάζεται η ευελιξία των τεχνολογιών επεξεργασίας της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας και υλικών σε συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας ή συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), αερίων, υγρών και στερεών βιοκαύσιμων .

Πίνακας 12: Επισκόπηση των τεχνολογιών βιομάζας (Crucible Carbon, 2008)

Τεχνολογίες	Παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων				
	Θερμότητα	Ηλεκτρισμός	Αέρια	Υγρά	Στερεά
Άμεση καύση	✓	✓			
Αναερόβια χώνευση	✓	✓	✓		
Ζύμωση				✓	
Εκχύλιση ελαίου				✓	
Πυρόλυση	✓	✓	✓	✓	✓
Αεριοποίηση	✓	✓	✓	✓	

Η επιλογή των τεχνολογιών επεξεργασίας εξαρτάται από τη φύση και τη δομή των πρώτων υλών της βιομάζας και τα επιθυμητά αποτελέσματα του έργου. Από τον παραπάνω πίνακα, μπορεί να δει κανείς ότι η άμεση καύση ή η αεριοποίηση της βιομάζας είναι κατάλληλες όταν απαιτείται η παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Η αναερόβια χώνευση, η ζύμωση και η εκχύλιση ελαίου είναι κατάλληλες για τα είδη της βιομάζας που έχουν εύκολα εκχυλιζόμενα έλαια και σάκχαρα ή υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Μόνο η θερμική επεξεργασία με πυρόλυση μπορεί να παρέχει μια πλατφόρμα για όλες τις μορφές προϊόντων που αναφέρονται παραπάνω.

Πολλές θερμικές τεχνολογίες απαιτούν βιομάζα με χαμηλή περιεκτικότητα νερού (<15%), για την σωστή εφαρμογή τους. Γι' αυτές τις τεχνολογίες το ενεργειακό κόστος της ξήρανσης μπορεί να αντιπροσωπεύει μια σημαντική μείωση στην αποδοτικότητα της διεργασίας. Συνεπώς, είναι πολύ σημαντικό να προσδιορίζονται οι πηγές της βιομάζας, επειδή μερικά είδη μπορούν να προσφέρουν καλύτερη ποιότητα καυσίμων ή ενέργειας με μικρότερο κόστος από κάποια άλλα. Για το σκοπό αυτό, τα προγράμματα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα είναι δομημένα γύρω από τέτοια είδη (Tasmeen A., 2009).

Η ενεργειακή πυκνότητα και οι φυσικές ιδιότητες της βιομάζας είναι κρίσιμοι παράγοντες για θεωρήσεις σχετικά με τις πρώτες ύλες για την παραγωγή ενέργειας και πρέπει να είναι πλήρως κατανοητές προκειμένου να επιτευχθεί η προσαρμογή των πρώτων υλών και των τεχνολογιών διεργασίας. Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει μια επισκόπηση σχετικά με την ικανότητα της βιομάζας να υποστεί επεξεργασίες με την εφαρμογή των διαθέσιμων τεχνολογιών.

Πίνακας 5 Χημικός χαρακτηρισμός των διαφόρων πηγών βιομάζας (Crucible Carbon, 2008)

		Λίπη, έλαια	Πρωτεΐνη	Σάκχαρα/άμυλο	Λιγνοκυτταρίνη
Πηγές βιομάζας					
Ετήσιες καλλιέργειες	Καλλιέργειες αγρωστωδών			✓	✓
	Καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων	✓	✓		✓
Πολυετείς καλλιέργειες	Καλλιέργειες αγρωστωδών				✓
	Καλλιέργειες ελαιούχων δέντρων	✓			✓
	Λιγνοκυτταρινούχες καλλιέργειες δέντρων				✓
Υπολείμματα και απόβλητα	Οργανικά απόβλητα				✓
	Κτηνοτροφικά απόβλητα	✓	✓		
	Οργανικό κλάσμα αστικών αποβλήτων	✓	✓	✓	✓
Τεχνολογία επεξεργασίας					
Άμεση καύση		✓			✓
Αναερόβια χώνευση		✓	✓	✓	Μόνο κυτταρίνη
Ζύμωση			✓	✓	Μόνο κυτταρίνη
Εκχύλιση ελαίου		✓			
Πυρόλυση		✓	✓	✓	✓
Αεριοποίηση		✓	✓	✓	✓

Μία υψηλής παραγωγικότητας και επεκτάσιμη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας από βιομάζα πρέπει να κάνει πλήρη χρήση των πόρων βιομάζας και των συστατικών της για την ανάκτηση της μέγιστης τιμής. Η επισκόπηση του Πίνακας 6 επισημαίνει ότι η λιγνοκυτταρίνη είναι το συστατικό με το μεγαλύτερο όγκο στη βιομάζα και, για το λόγο αυτό, η θερμική επεξεργασία και η ζύμωση της κυτταρίνης, αφού δοκιμαστούν, θα μπορούσαν να αποτελέσουν στο άμεσο μέλλον μία από τις πιο σημαντικές πηγές για τον κλάδο της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.

Άλλες ειδικές διεργασίες (χώνευση, εκχύλιση ελαίου και ζύμωση) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κύριες διεργασίες για την επεξεργασία των πηγών βιομάζας με σημαντικές τιμές αποδόσεων για μη λιγνοκυτταρινούχες ουσίες (Crucible Carbon 2008). Η παραγόμενη ενέργεια όμως δεν εξαρτάται μόνο από τη διαθέσιμη βιομάζα, αλλά και από το χρησιμοποιούμενο είδος της τεχνολογίας ενεργειακής μετατροπής. Με την χρήση περισσότερο αποδοτικών τεχνολογιών παράγεται περισσότερη ενέργεια από το ίδιο ποσό διαθέσιμης βιομάζας.

5.1 Ολοκλήρωση μεταξύ των τεχνολογιών: γενικές απόψεις

Μια σύνθεση των βασικών παραγόντων των τεχνολογιών επεξεργασίας της βιομάζας παρουσιάζεται παρακάτω (Πίνακας 6). Οι θερμικές τεχνολογίες είναι οι λιγότερο ευαίσθητες ως προς την ποιότητα της πρώτης ύλης και μπορούν να επεξεργαστούν αποτελεσματικά τα λιγνοκυτταρινούχα υλικά. Οι τεχνολογίες αυτές είναι οι πιο ευέλικτες και δεν απαιτούν βιομάζα που να καλλιεργείται επί τούτου. Οι διαφορετικές από την άμεση καύση τεχνολογίες είναι σημαντικά περιορισμένης κλίμακας όσον αφορά στην εξάρτησή τους από συγκεκριμένες και πεπερασμένες πρώτες ύλες. Οι τεχνολογίες που παρέχουν μεγάλου όγκου και υψηλής αξίας δυνατότητες είναι επί του παρόντος οι λιγότερο ανεπτυγμένες και είναι υποψήφιες για ανάπτυξη της καινοτομίας στο άμεσο μέλλον.

Πίνακας 6: Σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας (Crucible Carbon, 2008)

Τεχνολογία επεξεργασίας της βιομάζας	Πιθανή κλίμακα ²⁹	Ευελιξία πρώτων υλών	Απόδοση μετατροπής ³⁰	Ευελιξία απόδοσης	Αγοραστική ή αξία προϊόντος	Φάση ανάπτυξης
Άμεση καύση	Μεγάλη	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Καθιερωμένη
Αναερόβια χώνευση	Μικρή	Μέση	Μέση	Χαμηλή	Μέση	Καθιερωμένη
Ζύμωση	Μέση ³¹	Μέση ³²	Μέση	Χαμηλή	Υψηλή	Καθιερωμένη
Εκχύλιση ελαίου/ Εστεροποίηση	Μικρή	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή	Καθιερωμένη
Πυρόλυση	Μεγάλη	Υψηλή	Μέση	Υψηλή	Μέση	Πρώιμη
Αεριοποίηση	Μεγάλη	Μέση	Μέση	Μέση ³³	Μέση	Πρώιμη

Η ανάλυση υποδεικνύει τη στρατηγική ελκυστικότητα της θερμικής επεξεργασίας για τα στερεά, υγρά και αέρια ενεργειακά προϊόντα, ακόμη και εάν τα βραχυπρόθεσμα έργα πρέπει να είναι περιορισμένης κλίμακας.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά από όλα όσα παρουσιάστηκαν σε αυτό το Κεφάλαιο (Βιομάζα), πρέπει να επισημανθεί ότι η αξιολόγηση της προμήθειας των πηγών βιομάζας είναι πολύπλοκη και ότι η “*Προμήθεια Δυνητικών Πηγών*” είναι μια έννοια διαφορετική από την “*Προμήθεια Διαθέσιμων και Αειφόρων Πηγών*”. Η χωρική ανάλυση προβλέπει συχνά μια καλή προμήθεια διαθέσιμης βιομάζας, αλλά

²⁹ Η κλίμακα της πιθανής βιομηχανίας εξαρτάται από την κλίμακα των διαθέσιμων πόρων βιομάζας. Οι τεχνολογίες αυτές που μπορούν να χρησιμοποιούν λιγνοκυτταρινούχο βιομάζα είναι σε πλεονεκτική θέση.

³⁰ Η ενεργειακή απόδοση μετρά το ποσό της ενέργειας των πρώτων υλών που διατηρείται στα προϊόντα.

³¹ Ο δι-πολυμερισμός της κυτταρίνης σε σάκχαρα θα επιτρέψει την πρόσβαση σε ευρύτερο φάσμα βιομάζας. Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία δεν είναι εμπορικά εγκατεστημένη.

³² Αυτό θα είναι υψηλότερο όταν ωριμάσουν οι τεχνολογίες που παράγουν πρώτες ύλες σακχάρων από κυτταρίνη.

³³ Τα άμεσα προϊόντα της αεριοποίησης είναι λίγα, αλλά αυτή είναι η βάση για ένα ευρύ φάσμα καυσίμων και χημικών προϊόντων μέσω αντιδράσεων σύνθεσης.

όταν τελικά υλοποιούνται οι αλυσίδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, μόνο ένα μικρό μέρος του συνόλου της διαθέσιμης βιομάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνθήκες αιεφορίας.

Πράγματι, η δυνητική βιομάζα δεν είναι ίδια με τη διαθέσιμη βιομάζα και αυτή είναι, επίσης, διαφορετική από την αιεφόρο βιομάζα. Η αξιολόγηση της διαθεσιμότητας και της αιεφορίας των πρώτων υλών αποτελεί ένα κρίσιμο σημείο στη στρατηγική ανάπτυξη των έργων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και συνδέεται στενά με την επιλογή των τεχνολογιών για την ενεργειακή μετατροπή.

Οι λιγνοκυτταρινούχες πηγές βιομάζας (τόσο από τις ενεργειακές καλλιέργειες όσο και από υπολείμματα ή απόβλητα) είναι, με διαφορά, οι πιο σημαντικές από άποψη μεγέθους και μπορούν να λειτουργήσουν σε συνεργασία και όχι ανταγωνιστικά με άλλες υφιστάμενες χρήσεις της βιομάζας, όπως είναι τα τρόφιμα, τα υλικά, οι οικολογικές υπηρεσίες και οι φυσικοί βιότοποι. Η χρήση πολλαπλών ιθαγενών ειδών ξυλώδους βιομάζας μεγαλύτερου περιόδου χρόνου αποτελεί την πιο σημαντική δυνατότητα για την ανάπτυξη νέων πόρων βιομάζας μεγάλης κλίμακας που υποστηρίζουν τη βιοποικιλότητα, την περιβαλλοντική αποθήκευση του άνθρακα και τις οικοσυστημικές υπηρεσίες με ελάχιστες επιπτώσεις στους πόρους των τροφίμων.

Μια άλλη πτυχή που επισημαίνεται είναι ότι η κάθε κατηγορία τεχνολογιών επεξεργασίας είναι κατάλληλη για ένα συγκεκριμένο εύρος των βιοχημικών παραμέτρων της βιομάζας. Οι επιλογές της θερμικής επεξεργασίας είναι οι πιο ευέλικτες από όλες τις κατηγορίες τεχνολογιών και επιτυγχάνουν κατά βέλτιστο τρόπο την πλήρη χρήση των στρατηγικής κλίμακας πόρων λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας.

Οι τεχνολογίες επεξεργασίας που παράγουν πολλαπλά ενεργειακά και υλικά προϊόντα για αγορές μεγάλης κλίμακας είναι πιο πιθανό να ανταποκριθούν στις κοινωνικές ανάγκες και να προσφέρουν αιεφόρες επιχειρηματικές δυνατότητες. Ένα μέλλον με ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα θα απαιτήσει όπως και να' χει σημαντικούς πόρους που βασίζονται στον άνθρακα, όπως τα υγρά καύσιμα για τις μεταφορές, οι αναγωγικές ουσίες της μεταλλουργίας και οι οργανικές χημικές ουσίες, οπότε προτιμώνται οι θερμικές τεχνολογίες επεξεργασίας που αντιμετωπίζουν αυτά τα πολλαπλά προϊόντα.

Τελικά, μια αιεφόρος αλυσίδα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα απαιτεί την μέγιστη δυνατή απόληψη αξίας από τις πηγές βιομάζας. Τα παραπροϊόντα της βιομάζας που κάνουν χρήση των εγγενών ιδιοτήτων των υλικών του πόρου είναι αυτά που εν γένει απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος αυτής της αξίας. Ενθαρρύνεται, λοιπόν, η προ-επεξεργασία των πρώτων υλών για την εξαγωγή ξύλου, ελαίων, πρωτεΐνης και διαλυτών σακχάρων (σε κάποια οικονομική αναλογία) και πρέπει να θεωρηθεί ως στήριξη της οικονομικής κατάστασης για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα, εάν οι αγορές έχουν την κατάλληλη κλίμακα.

Για το λόγο αυτό, η ανάπτυξη συγκεκριμένων έργων παραγωγής ενέργεια από βιομάζα δεν βασίζεται μόνο στις οικονομικές συνθήκες, αλλά πρέπει να λαμβάνει υπόψη ως θεμελιώδη απαίτηση συγκεκριμένες κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές, όπως είναι η εξασφάλιση της κοινωνικής αποδοχής για την λειτουργία και η ενσωμάτωση περιβαλλοντικών, τεχνολογικών, οικονομικών και κοινωνικών ανησυχιών. Εάν έχουν διευθετηθεί επαρκώς οι παράγοντες αυτοί, τα προτεινόμενα έργα θα μπορούν στη συνέχεια να ερευνηθούν περαιτέρω με τη χρήση ειδικών κατά περίπτωση τεχνο-οικονομικών μοντέλων, ως πρώτο βήμα για προμελέτες σκοπιμότητας,

‘Αναλύσεις Κύκλου Ζωής’ και πλήρων μελετών σκοπιμότητας. Η επιτυχής ολοκλήρωση καθενός από αυτά τα στάδια είναι σημαντική για τον έλεγχο της ανάπτυξης κινδύνων, καθώς και για τη διατήρηση της κοινωνικής και της επενδυτικής εμπιστοσύνης στις δυνατότητες της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

GJ:	Gigajoule – μονάδα ενέργειας που αντιστοιχεί σε 10^9 Joules
PJ:	Petajoule – μονάδα ενέργειας που αντιστοιχεί σε 10^{15} Joules
kW_e:	Kilowatt ηλεκτρικό – μονάδα ηλεκτρικής ισχύος ισοδύναμη με 10^3 Watts
kW_{th}:	Kilowatt θερμικό – μονάδα θερμικής ισχύος ισοδύναμη με 10^3 Watts
CO₂:	Διοξείδιο του άνθρακα
CO_{2e}:	Το ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα των αερίων του θερμοκηπίου αντιπροσωπεύει την ποσότητα των εκπομπών όλων των αερίων που συνδέονται με τις επιπτώσεις στη θέρμανση της γης, σε σχέση με το αέριο CO ₂ , λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές μετατροπής. Η επίδραση του μεθανίου στη θέρμανση της γης συγκρίνεται με 21 φορές αυτής του CO ₂ , ενώ του N ₂ O είναι ισοδύναμη με 310 φορές αυτής του CO ₂ .
N₂O:	Το οξείδιο του αζώτου είναι ένα αέριο του θερμοκηπίου που απελευθερώνεται από την βακτηριακή διάσπαση του εδαφικού αζώτου και κατά τη διάρκεια της καύσης.
Watt (W):	Μονάδα ισχύος, ισοδύναμη του 1 Joule χρησιμοποιούμενης ενέργειας ανά δευτερόλεπτο.
Αέρια θερμοκηπίου:	Αέριες εκπομπές που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση της γης. Περιλαμβάνουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂), το μεθάνιο (CH ₄ =25 CO _{2e}), το οξείδιο του αζώτου (N ₂ O=296 CO _{2e}) και άλλα αέρια που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια βιομηχανικών διεργασιών.
Αέριο σύνθεσης:	Ένα μείγμα υδρογόνου (H ₂) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO) που παράγεται από την αεριοποίηση και μπορεί να καεί ή να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για χημικές αντιδράσεις σύνθεσης
Αεριοποίηση:	Θέρμανση και μερική οξειδωση ανθρακούχου υλικού για την παραγωγή 'αερίου σύνθεσης'.
Αλκοόλη:	Υδρογονάνθρακας με μια ομάδα –OH δεσμευμένη στην αλυσίδα του άνθρακα
Αναερόβια χώνευση:	Βιολογική αποικοδόμηση ανθρακούχων υλικών από μικροοργανισμούς, κυρίως απουσία οξυγόνου, με παραγωγή μεθανίου (CH ₄), υδρογόνου (H ₂) και μικρών ποσοτήτων CO ₂ και H ₂ S.
Βιοενέργεια:	Από τεχνικής άποψης, κάθε θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια που πηγάζει από τη μετατροπή της βιομάζας.
Βιοκάρβουνο:	Μαύρο ανθρακούχο στερεό αποτέλεσμα της πυρόλυσης της βιομάζας.
Βιοκαύσιμο:	Από τεχνικής άποψης, κάθε βιολογικά προερχόμενο στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο για εφαρμογές καύσης, περιοριζόμενο όμως μερικές φορές στα καύσιμα για τις μεταφορές.
Δέσμευση άνθρακα:	Η απόληψη και η μέση έως μακράς διάρκειας αποθήκευση του ατμοσφαιρικού άνθρακα (κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα) σε "δεξαμενές" άνθρακα όπως τα δάση, το έδαφος, οι ωκεανοί και οι

	γεωλογικοί σχηματισμοί.
Ζύμωση:	Βιολογική αποικοδόμηση διαλυτών σακχάρων σε αιθανόλη ή βουτανόλη και CO ₂ από μικροοργανισμούς, απουσία οξυγόνου.
Θερμογόνος Δύναμη:	Η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται στο ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης ενός καυσίμου.
Καύση:	Πλήρης οξειδωση του καυσίμου
Κλιματική αλλαγή:	Η μεταβολή της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (αναφέρεται επίσης ως «υπερθέρμανση του πλανήτη»).
Κυτταρίνη:	Ένα αδιάλυτο κρυσταλλικό πολυμερές της γλυκόζης και το μεγαλύτερο σε όγκο μοριακό συστατικό των φυτών. Βλέπε λιγνοκυτταρίνη και υδατάνθρακες.
Λιγνίνη:	Μια άμορφη δομή μορίου στα φυτά που περιέχει συνδεδεμένους αρωματικούς δακτυλίους. Βλέπε λιγνοκυτταρίνη.
Λιγνοκυτταρίνη:	Ένας αδιάλυτος υδατάνθρακας που βρίσκεται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών και γι' αυτό αποτελεί την πλειονότητα της βιομάζας που προέρχεται από τα φυτά. Αποτελείται από κυτταρίνη και ίνες μέσα σε δομή λιγνίνης, με κάποια ημικυτταρίνη για ενίσχυση του δεσμού.
Πρεμνοφυή:	Συστάδες (ή λόχμες) δέντρων ή θάμνων που κόβονται και αναβλαστάνουν σε τακτικά διαστήματα.
Πυρόλυση:	Θέρμανση ανθρακούχου υλικού απουσία οξυγόνου για την παραγωγή προϊόντων ανθρακοποίησης, ελαίων και αερίων.
Πυρολυτικό λάδι:	Πολύπλοκο μείγμα πολύ καλά οξυγονωμένων υδρογονανθράκων που προκύπτει από το θερμικό δι-πολυμερισμό της βιομάζας, απουσία οξυγόνου.
Συμπαγωγή:	Μια εγκατάσταση παραγωγής που παράγει ταυτόχρονα ηλεκτρισμό και θερμική ενέργεια.
Υδατάνθρακες:	Μόρια, συνήθως βιολογικής προέλευσης, που αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο.
Υδρογονάνθρακες:	Μόρια που αποτελούνται από άνθρακα και υδρογόνο διατεταγμένα σε δομή αλυσίδας, διακλάδωσης ή δακτυλίου, που αποτελούν τη βάση των υγρών καυσίμων για τις μεταφορές.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

1. **Abbasi Tasneem, Abbasi S.A.** Biomass energy and the environmental impacts associated with its production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009.
2. **Adams W.M.** La Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, 29–31 January 2006.
3. **Andrade R. Marson Teixeira.** Biodiesel in the Amazon. Nairobi, Kenya. World Agroforestry Centre, 2010. www.worldagroforestry.org.
4. **Balat M.** Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – A review of current work. Energy Conversion and Management n. 52, 1479–1492, 2010.
5. **Barbieri S. Castelli G., Danuso F., Zuliani M.** Un metodo per la valutazione degli scenari climatici. A.I.A.M. Convegno Nazionale di Agrometeorologia. Matera, 22 - 23 April 2004. (A method for the evaluation of the climatic scenarios. National congress of Agrometeorology. Matera, 22 – 23 April 2004)
6. **EPA - Environmental Protection Agency.** European Waste Catalogue and Hazardous Waste List. Ireland, 2002.
7. **Borjesson P.I.** Emissions of CO₂ from biomass production and transportation in agriculture and forestry. Energy Conversion Management, 1996.
8. **Candolo G.,** Energia dalle biomasse vegetali: opportunità dalle aziende agricole. Agronomia . n.4 – p. 26, 2006. (Energy from vegetable biomass: opportunities from farms. Agronomy. N.4 –p.26, 2006).
9. **Canestrone R., Sarti A.,** Produzione di Biogas: test su Mais, girasole e Sorgo. Agricoltura, 2007. (Biogas Production: Test on Corn, Sunflower and Sorghum. Agriculture, 2007).
10. **Casagrande L., Croveri L., Russo M., Verdelli L.** Progetto Integrato grandi colture. Quaderni della ricerca - Agricoltura, n.45. Aprile 2005. www.agricoltura.regione.lombardia.it. (Integrated Project of Crops. Research Notebook – Agriculture, n.45. April 2005. www.agricoltura.regione.lombardia.it).
11. **Castelli S., Sala C., Negri M.** I sotto-prodotti nella filiera Agro-energetica del Biogas: due casi di studio. Attualità della ricerca nel settore delle energie rinnovabili da biomassa. Ancona, 2010. (The by-products in the Agro-energetic chain of the Biogas: two study cases. Actuality of the research in the sector of the renewable energies from biomass. Ancona, 2010).
12. **CEN/TC-335** "Standardization of Solid Biofuels within the Europe - CEN/TS 14961:2005". 2005.
13. **Cioffo G.,** Rilievo indici di relazione tra produzioni agricole e biomassa residuale associata per le regioni del Sud Italia. Roma: ENEA - Report RSE/2009/50, 2009. (Index of agricultural productions and residuals biomass for regions of Southern Italy. Roma: ENEA – Report RSE/2009/50, 2009).
14. **Crucible Carbon Consulting.** Biomass Technology Review: Processing for Energy and Materials Australia, 2008.
15. **Demirbas A.** Biomass Conversion Process. Energy Conversion and management. 1995.

16. **Demirbas A.** Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. Energy Conversion & Management, n.41 p. 633-646, 2000.
17. **Denimbras A.** Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. Energy Convers Manage. 2009.
18. **Demirbas A.** Political, economic and environmental impact: a review. Applied Energy 86, 2009.
19. **Demirbas A.** Progress and recent trends in biodiesel fuels. Energy Conversion and Management, n.50 p. 14-34, 2009.
20. **Demirbas A.** Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. Energy Conversion and Management, 2010.
21. **Directive 2008/98/EC.** European Parliament and of the Council. Brussel, 2008.
22. **Directive RED 2009/28/EC.** European Parliament and of the Council. Brussel, 2009.
23. **Foppa Pedretti Ester, Bordoni A., Romagnoli E., Toscano G., Rossini G., Cozzolino E., Riva G.** Filiere Agroenergetiche. Vol. I. Giancarlo Ripesi Editore, Ancona. ISBN 978-88-8249-090-4, 2009. (Agro-energetic Chains. Vol. I. Giancarlo Ripesi Publisher, Ancona. ISBN 978-88-8249-090-4, 2009)
24. **Foppa Pedretti E., Toscano G., Rossini G., Cozzolino E., Bordoni A., Romagnoli E., Riva G.** La Filiera del Biogas: Aspetti salienti dello stato dell'arte e prospettive. Vol.II. Giancarlo Ripesi Editore, Ancona. ISBN 978-88-8249-090-4, 2009. (Biogas chain: Important aspects of the art state and prospectives. Vol.II. Giancarlo Ripesi Publisher, Ancona. ISBN 978-88-8249-090-4, 2009).
25. **Francescato V. Antonini E., Paniz A.** Colture Energetiche per i terreni agricoli (Energetic Crops for agricultural lands) - www.biomassradecentre.eu, 2009.
26. **Jodice R.** Il bioetanolo: nuove opportunità produttive del comparto agricolo. Biotanolo Congress, Padova. www.scienzaegoverno.org/n/convegno/atti_20_04_07/3_Jodice.pdf, 2007/3.
27. **Mardikis M., Namatov I., Panoutsou C.** Research and technological development in the field of energy crops in Greece. 1st World Conference on biomass for Energy and Industry. - Sevilla Spain 5 - 9 June, 2000. James & James, 2001, p. 1502 - 1505.
28. **Nasrin A.B., Y.M.Choo,S.Mohamad,M.H.Rohaya ,A.Azali, Z.Zainal.** Oil Palm Biomass as Potential Substitution Raw Materials For Commercial Biomass Briquettes Production American Journal of Applied Sciences, © Science Publications, ISSN 1546-9239. - 2008. - p. 5 (3): 179-183,.
29. **Ranalli P.** Prospettive della produzione di biomasse energetiche. Attualità della ricerca nel settore delle energie rinnovabili da biomassa. Ancona, 2010. (Prospectives of the production about energetic biomass. Actuality of the research in the renewable energy sector from biomass. Ancona, 2010)
30. **Sacco D., Vidotto F., Grignani C., Ferrero A.,** Sostenibilità agronomica ed ambientale dei sistemi colturali risicoli, Quaderni di Agricoltura della Regione Piemonte, 2007. www.regione.piemonte.it. (Agronomic and environmental sustainability of the rice cropping systems. Notebook of Agriculture of the Piemonte's Region, 2007).

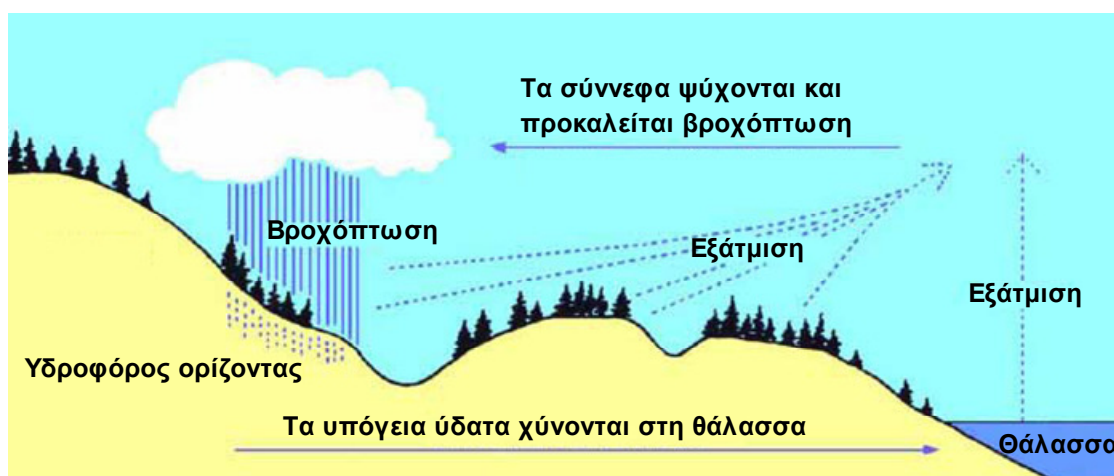
31. **Sager A., de Carolis C., Bordoni A., Gulligson G., Foppa Pedretti E., Polonara F., Riva G.** Application of the Biomass Model for sustainable agro - energetic chain on local area: two study case in different European Areas: Sweden - Italy. Energy Farming Congress. - Papenburg, 10-12 March 2009.
32. **Siemons R., Martijn V., Douwe van den Berg, Ian Mc Chesney, Whiteley M., Nikolaou N.** Report for UE commission: "Bio-Energy's role in the EU Energy market, 2004.
33. **Tickell Joshua** From the Fryer to the Fuel Tank: The Complete Guide to Using Vegetable Oil as an Alternative Fuel. 3rd Edition. Tallahassee. http://attra.ncat.org/atrapub/biodiesel_sustainable.html#tickell00. Tickell Energy Consulting, 2000.
34. **Trabucco F. Cruz Viggi C., Toro L., Pagnanelli F.** Sviluppo di un processo integrato per la produzione di bio-olio da microalgae. Atti del congresso nazionale: Attualità nella ricerca nel settore delle energie rinnovabili da biomassa. Ancona, 2010. (Development of the integrated process for the Bio-oil production from microalgae. National congress acts: Actuality of the research in the renewable energy sector from biomass. Ancona, 2010).
35. www.makeitbe.eu EU Project "Make It Be", 2009.
36. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Crop_production_statistics_at_regional_level

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βασικοί ορισμοί και διεργασίες

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το νερό που βρίσκεται σε κίνηση. Μπορεί να θεωρηθεί ως μία μορφή ηλιακής ενέργειας, καθώς ο ήλιος αποτελεί την κινητήρια δύναμη του υδρολογικού κύκλου, ο οποίος δίνει το νερό στη γη. Στον υδρολογικό κύκλο, το νερό της ατμόσφαιρας φθάνει στην επιφάνεια της γης ως βροχόπτωση. Ένα μέρος από αυτό το νερό εξατμίζεται, αλλά το μεγαλύτερο μέρος του είτε διηθείται στο έδαφος είτε γίνεται επιφανειακή απορροή. Το νερό από τη βροχή και το χιόνι που λιώνει φτάνει τελικά σε λίμνες, σε ταμιευτήρες ή στη θάλασσα, όπου η εξάτμισή του είναι συνεχής.



Σχήμα 1: Ο υδρολογικός κύκλος

Η υγρασία που διαχέεται στο έδαφος μπορεί να μετατραπεί σε υπόγειο νερό, μέρος του οποίου εισέρχεται επίσης στα υδατικά συστήματα μέσω πηγών ή υπογείων ρευμάτων. Το υπόγειο νερό μπορεί να κινηθεί προς τα επάνω μέσω του εδάφους κατά την διάρκεια ξηρών περιόδων και μπορεί να επιστρέψει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης. Οι υδρατμοί περνούν στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης, κυκλοφορούν, συμπυκνώνονται στα σύννεφα, και ένα μέρος επιστρέφει στη γη ως βροχή. Έτσι, κλείνει ο κύκλος του νερού. Η φύση εξασφαλίζει ότι το νερό είναι μια ανανεώσιμη πηγή.

Τα υδροηλεκτρικά έχουν την μεγαλύτερη συμμετοχή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε παγκόσμιο επίπεδο, εκτιμάται ότι υπάρχει εγκατεστημένη ισχύς 47.000 MW, με το δυναμικό - τεχνικό και οικονομικό - να ανέρχεται σχεδόν σε 180.000 MW.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά (ΜΥΗ) είναι κυρίως της κατηγορίας "κατά τον ρουν του ποταμού", δηλαδή δεν περιλαμβάνουν κατασκευές για την συγκράτηση σημαντικών ποσοτήτων νερού και, ως εκ τούτου, δεν απαιτείται η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων, αν και αυτά βοηθούν όπου υπάρχουν και μπορούν με ευκολία να χρησιμοποιηθούν. Δεν υπάρχει γενική συναίνεση σε διεθνές επίπεδο σχετικά με τον ορισμό ενός ΜΥΗ. Το άνω όριο κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 25 MW σε διάφορες χώρες, αλλά η τιμή των 10 MW γίνεται γενικά αποδεκτή, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης Μικρών Υδροηλεκτρικών (ESHA).

Ο ορισμός που χρησιμοποιείται εδώ για τα ΜΥΗ αφορά τα υδροηλεκτρικά συστήματα με ισχύ 10 MW ή μικρότερη. Τα ΜΥΗ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω σε "μίνι υδροηλεκτρικά", όπως συνήθως ορίζονται τα συστήματα με ισχύ κάτω των 500 kW, και "μικρο-υδροηλεκτρικά" για συστήματα με ισχύ μικρότερη από 100 kW. Όποιος ορισμός για το μέγεθος και να χρησιμοποιείται, τα ΜΗΥ είναι μία από τις πιο φιλικές προς το περιβάλλον μορφές παραγωγής ενέργειας, που βασίζονται στη χρήση μιας μη ρυπογόνου ανανεώσιμης πηγής, και που απαιτούν ελάχιστες παρεμβάσεις στο περιβάλλον.

Τους δίνεται επίσης η δυνατότητα να έχουν σημαντική επίδραση στην αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων, δεδομένου ότι - σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - τα ΜΥΗ μπορούν γενικά να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ανά πάσα χρονική στιγμή και ανάλογα με την ζήτηση (δηλ. δεν χρειάζονται κάποια εφεδρικά συστήματα ή συστήματα αποθήκευσης), τουλάχιστον κατά τις περιόδους του έτους που υπάρχει επαρκής διαθέσιμη ροή του νερού, και σε πολλές περιπτώσεις σε ανταγωνιστικό κόστος με τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα.

1.2 Πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών

Τα μικρά υδροηλεκτρικά αποτελούν μια από τις πιο αποδοτικές και αξιόπιστες ενεργειακές τεχνολογίες που μπορούν να εξετάζονται για την παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, τα βασικά πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών σε σχέση με τις τεχνολογίες αιολικής, κυματικής και ηλιακής ενέργειας είναι τα εξής:

- Υψηλή απόδοση (70-90%), με μεγάλη διαφορά η καλύτερη από όλες τις ενεργειακές τεχνολογίες.
- Υψηλό συντελεστή δυναμικού (συνήθως > 50%), σε σύγκριση με 10% για τα ηλιακά και 30% για την αιολική ενέργεια.
- Υψηλό επίπεδο προβλεψιμότητας, το οποίο ποικίλει ανάλογα με τους ετήσιους ρυθμούς βροχόπτωσης.
- Χαμηλός ρυθμός μεταβλητότητας, καθώς η παραγόμενη ισχύς μεταβάλλεται μόνο σταδιακά από μέρα σε μέρα (όχι από λεπτό σε λεπτό).
- Καλή συσχέτιση με την ζήτηση, δεδομένου ότι η παραγωγή είναι μέγιστη το χειμώνα.
- Πρόκειται για μία μακράς διάρκειας και ώριμη τεχνολογία, καθώς τα συστήματα μπορούν εύκολα να κατασκευάζονται ώστε να διαρκέσουν για 50 χρόνια ή και περισσότερο.



Είναι, επίσης, φιλικά προς το περιβάλλον. Τα μικρά υδροηλεκτρικά είναι στις περισσότερες περιπτώσεις του τύπου "κατά τον ρου του ποταμού". Με άλλα λόγια κάθε υδροταμιευτήρας ή φράγμα είναι αρκετά μικρό, συνήθως μόλις ενός υπερχειλιστής, οπότε δεν αποθηκεύεται σχεδόν

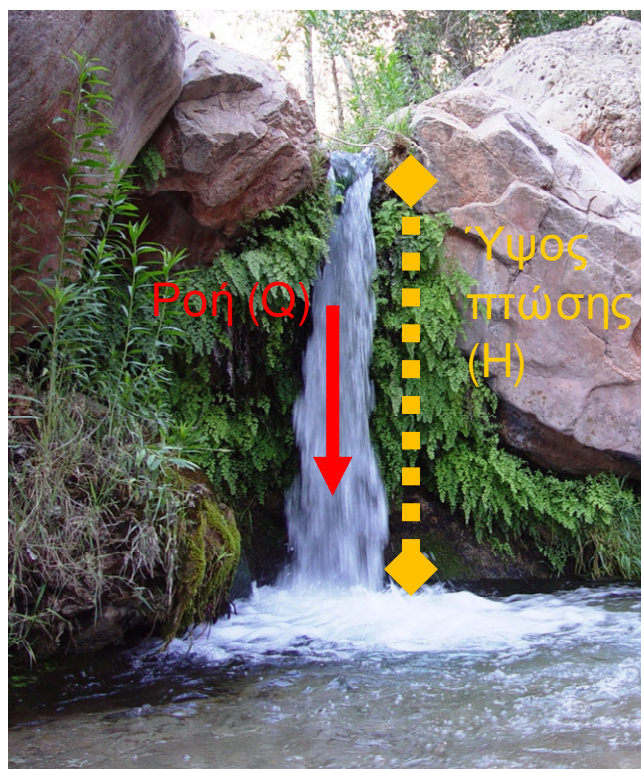
καθόλου (ή αποθηκεύεται ελάχιστο) νερό. Συνεπώς, οι κατά τον ρουν του ποταμού εγκαταστάσεις δεν έχουν τα ίδια είδη δυσμενών επιπτώσεων στο τοπικό περιβάλλον όπως τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα.

2. ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ

2.1 Ύψος πτώσης και ροή

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μία διαδικασία ενεργειακής μετατροπής στην οποία το νερό αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέσο μεταβίβασης και μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Με τον τρόπο αυτό, μετατρέπεται μέσω των βασικών τμημάτων του υδροηλεκτρικού συστήματος το διαθέσιμο ενεργειακό δυναμικό ή η συνολική ροή των υδάτων.

Η κάθετη πτώση του νερού, που είναι γνωστή ως το "ύψος πτώσης", είναι απαραίτητη για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το κινούμενο νερό δεν περιέχει από μόνο του επαρκή ενέργεια για την παραγωγή ωφέλιμης ισχύος, εκτός εάν υφίσταται σε πολύ μεγάλη κλίμακα, όπως στα υπεράκτια θαλάσσια ρεύματα. Ως εκ τούτου είναι αναγκαία δύο φυσικά μεγέθη: μία παροχή του νερού Q , και ένα ύψος πτώσης H . Είναι γενικά επιθυμητό το μεγαλύτερο ύψος πτώσης παρά η μεγαλύτερη ροή, γιατί έτσι απαιτείται μικρότερος εξοπλισμός.



Το *ακαθάριστο ύψος πτώσης (H)* είναι η μέγιστη διαθέσιμη κατακόρυφη υδατόπτωση, δηλαδή η απόσταση μεταξύ της ανώτερης και της κατώτερης στάθμης του νερού. Το πραγματικό ύψος πτώσης που αξιοποιείται στον υδροστρόβιλο είναι μικρότερο του ακαθάριστου ύψους πτώσης λόγω των απωλειών στις οποίες υπόκειται το μηχάνημα κατά τη μεταφορά του νερού έως αυτό καθώς και κατά την απομάκρυνσή του. Αυτό το μειωμένο ύψος πτώσης είναι γνωστό ως *καθαρό ύψος πτώσης*.

Η *παροχή (Q)* ενός ποταμού είναι ο όγκος του νερού που διέρχεται από μια κάθετη διατομή του ποταμού και μετριέται σε m^3/sec . Για τα μικρά σχήματα, η ροή μπορεί επίσης να εκφραστεί σε λίτρα/sec, όπου 1000 λίτρα/sec ισούται με $1 m^3/sec$.

Τα σχήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ύψος πτώσης:

- Μεγάλου ύψους πτώσης: 100 m ή και μεγαλύτερο,
- Μεσαίου ύψους πτώσης: 30 - 100 m,
- Μικρού ύψους πτώσης: 2 - 30 m.

Αυτές οι τιμές δεν είναι απόλυτες, απλά χρησιμοποιούνται για την κατηγοριοποίηση των θέσεων εκμετάλλευσης της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Τα σχήματα μπορούν επίσης να ομαδοποιηθούν ως ακολούθως:

- σχήματα κατά τον ρου του ποταμού,
- σχήματα όπου το κτήριο του στροβίλου βρίσκεται στη βάση ενός φράγματος,
- σχήματα ενσωματωμένα σε ένα κανάλι ή σε σωλήνα παροχής νερού.

Οι θέσεις μεγάλου ύψους πτώσης γενικά κοστίζουν λιγότερο για την ανάπτυξή τους από τις θέσεις μικρού ύψους πτώσης, αφού για την ίδια παραγωγή ισχύος η ροή μέσω του στροβίλου και οι απαιτούμενες υδραυλικές υποδομές θα είναι μικρότερες. Σ' έναν ποταμό με μια συγκριτικά απότομη κλίση σ' ένα μέρος του ρου του, μπορεί να αξιοποιηθεί η υψομετρική διαφορά εκτρέποντας το σύνολο ή μέρος της ροής, και επιστρέφοντάς το στον ποταμό αφότου διέλθει από το σρόβιλο. Το νερό μπορεί να μεταφερθεί από την υδροληψία απευθείας στο σρόβιλο μέσω ενός σωλήνα κατάθλιψης.

2.2 Ισχύς και ενέργεια

Οι υδροσρόβιλοι μετατρέπουν την πίεση του νερού σε μηχανική ισχύ στον άξονα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κινήσει μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος, ή κάποια άλλη μηχανή. Η διαθέσιμη ισχύς είναι ανάλογη με το γινόμενο του *ύψους πτώσης* και της *παροχής*. Ο γενικός τύπος που δίνει την ισχύ κάθε υδροηλεκτρικού συστήματος είναι:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (\text{Εξίσωση 1})$$

όπου:

P είναι η μηχανική ισχύς που παράγεται στον άξονα του στροβίλου (Watt),

η είναι η υδραυλική αποδοτικότητα του στροβίλου,

ρ είναι πυκνότητα του νερού (1000 kg/m^3),

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ($9,81 \text{ m/s}^2$),

Q είναι η παροχή όγκου του νερού που διέρχεται από τον σρόβιλο (m^3/s),

H είναι το αξιοποιήσιμο ύψος πτώσης του νερού στο σρόβιλο (m).

Οι καλύτεροι σρόβιλοι μπορούν να έχουν υδραυλικές αποδόσεις της τάξης του 80 έως και πάνω από 90% (υψηλότερες από όλους τους άλλους κινητήρες), αν και η απόδοση μειώνεται με το μέγεθος. Τα μικρο-υδροηλεκτρικά συστήματα (<100kW) τείνουν να έχουν αποδόσεις μεταξύ 60 και 80%. Εάν θεωρηθεί η απόδοση για ολόκληρο το σύστημα στο 70% (λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες κατά την ηλεκτροπαραγωγή), τότε η Εξίσωση 1 απλοποιείται ως εξής:

$$P \text{ (kW)} = 7 \times Q \text{ (m}^3/\text{s)} \times H \text{ (m)} \quad (\text{Εξίσωση 2})$$

2.3 Τα κύρια μέρη ενός μικρού υδροηλεκτρικού σχήματος

Στο σχήμα 2 απεικονίζεται ένα τυπικό σχήμα μικρού υδροηλεκτρικού με μέσο ή υψηλό ύψος πτώσης. Ειδικότερα, τα βασικά τμήματα μιας μικρής υδροηλεκτρικής μονάδας είναι τα εξής:

- Υδροταμιευτήρας: αποτελεί τη δεξαμενή αποθήκευσης του διαθέσιμου ενεργειακού δυναμικού.

- Σύστημα μεταφοράς, που περιλαμβάνει την υδροληψία (εξοπλισμένη με σχάρα) και το κύκλωμα μεταφοράς (κανάλι, αγωγός πτώσης, σήραγγες και αγωγός απαγωγής ή έξοδος), όπου μέρος της διαθέσιμης ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια.
- Υδραυλικός στρόβιλος (αλλοιώς υδροστρόβιλος): είναι το τμήμα της εγκατάστασης όπου η ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια.
- Στροφέας της γεννήτριας: η μηχανική ενέργεια που μεταβιβάζεται στον άξονα προκαλεί την περιστροφή του στροφέα και έτσι παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, σύμφωνα με τους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού.
- Γραμμή σύνδεσης με το δίκτυο: η ηλεκτρική ενέργεια οδηγείται και μετασχηματίζεται για σύνδεση με το δίκτυο.



Σχήμα 2: Τα μέρη ενός υδροηλεκτρικού σχήματος

3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

3.1 Επισκόπηση

Η κύρια συνιστώσα ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού είναι ο υδροστρόβιλος. Όλοι αυτοί οι στρόβιλοι μετατρέπουν την ενέργεια από την πτώση του νερού σε περιστροφική ισχύ στον άξονά τους, αλλά συχνά υπάρχει σύγχυση ως προς το είδος των στρόβιλου που θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε διαφορετικές περιστάσεις. Η επιλογή του στρόβιλου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας, κυρίως το ύψος πτώσης και την διαθέσιμη ροή, καθώς και από την επιθυμητή ταχύτητα λειτουργίας της γεννήτριας και το κατά πόσον ο στρόβιλος αναμένεται να λειτουργήσει σε συνθήκες μειωμένης ροής.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι στρόβιλων, γνωστοί ως στρόβιλοι "ώσης" και "αντίδρασης". Ο "στρόβιλος ώσης" μετατρέπει την δυναμική ενέργεια του νερού σε κινητική ενέργεια μιας δέσμης

νερού η οποία εκρέει από ένα ακροφύσιο και προσπίπτει επάνω στους κάδους ή τα πτερύγια του δρομέα. Ο "στρόβιλος αντίδρασης" χρησιμοποιεί την πίεση μαζί με την ταχύτητα του νερού για να αναπτύξει μηχανική ισχύ. Ο δρομέας κατακλύζεται πλήρως και τόσο η πίεση όσο και η ταχύτητα μειώνονται από την είσοδο προς την έξοδο.

Υπάρχουν 3 βασικοί τύποι στροβίλων ώσης σε χρήση: οι στρόβιλοι Pelton, Turgo και Crossflow (ή Banki). Οι δύο βασικοί τύποι στροβίλων αντίδρασης είναι οι τύπου έλικας (με τον Kaplan να αποτελεί μία εκδοχή) και οι στρόβιλοι Francis. Μια πρόχειρη ταξινόμηση των υδροστροβίλων σύμφωνα με τον τύπο τους και το εύρος των υψών πτώσης στο οποίο εφαρμόζονται δίνεται στον Πίνακα 1. Αυτός ο διαχωρισμός είναι προσεγγιστικός και εξαρτάται από τον ακριβή σχεδιασμό του κάθε κατασκευαστή.

Πίνακας 1: Στρόβιλοι Ώσης και Αντίδρασης

Είδος στροβίλου	Ταξινόμηση ύψους πτώσης		
	Μεγάλο (>50m)	Μέσο (10-50m)	Χαμηλό (<10m)
Ώσης	Pelton, Turgo, Multi-jet Pelton	Crossflow, Turgo, Multi-jet Pelton	Crossflow
Αντίδρασης		Francis (σπειροειδές περίβλημα)	Francis (ανοικτού αγωγού), Propeller, Kaplan

3.2 Είδη υδροστροβίλων κατάλληλοι για ΜΥΗ

Οι περισσότεροι υφιστάμενοι υδροστρόβιλοι μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες ως εξής:

- Τύπου Kaplan και έλικας (propeller).
- Τύπου Francis.
- Τύπου Pelton και άλλοι υδροστρόβιλοι ώσης.

Οι στρόβιλοι τύπου Kaplan και τύπου έλικας είναι στρόβιλοι αντίδρασης αξονικής ροής που γενικά χρησιμοποιούνται για μικρά ύψη πτώσης (συνήθως κάτω από 16 m). Ο **στρόβιλος Kaplan** έχει ρυθμιζόμενα πτερύγια δρομέα και μπορεί να διαθέτει ή όχι ρυθμιζόμενα οδηγία πτερύγια. Εάν είναι ρυθμιζόμενα και τα πτερύγια του δρομέα και τα οδηγία πτερύγια ο στρόβιλος αναφέρεται ως "διπλής ρύθμισης", ενώ εάν είναι σταθερά τα οδηγία πτερύγια τότε λέγεται "μονής ρύθμισης".

Στη συμβατική του έκδοση ο στρόβιλος Kaplan έχει ένα σπειροειδές περίβλημα (είτε από χάλυβα είτε από σιδηροπαγές σκυρόδεμα). Η ροή εισάγεται ακτινικά προς το εσωτερικό και εκτελεί μια στροφή ορθής γωνίας προτού εισέλθει στον δρομέα με αξονική κατεύθυνση. Όταν ο δρομέας έχει σταθερά πτερύγια, ο στρόβιλος είναι γνωστός ως τύπου έλικας. Οι **στρόβιλοι τύπου έλικας** μπορούν να έχουν κινητά ή σταθερά οδηγία πτερύγια. Οι μη ρυθμιζόμενοι στρόβιλοι τύπου έλικας χρησιμοποιούνται μόνο όταν τόσο η ροή όσο και το ύψος πτώσης παραμένουν πρακτικώς σταθερά.

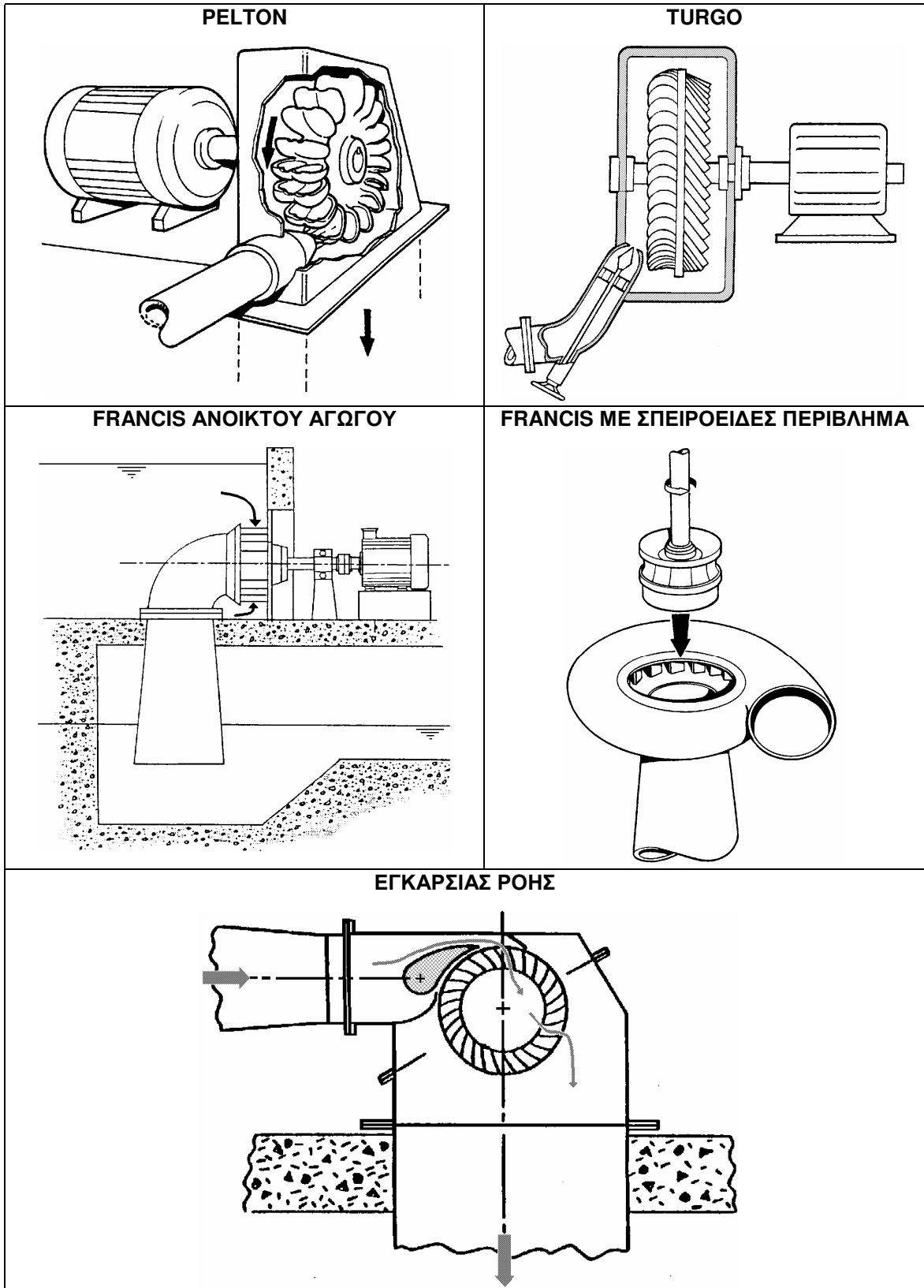
Από τους στροβίλους τύπου έλικας και Kaplan έχουν προκύψει οι βολβοειδείς και οι σωληνωτές μονάδες, όπου η ροή εισέρχεται και εξέρχεται με ελάχιστες αλλαγές στη διεύθυνση. Στον βολβοειδή στρόβιλο ο πολλαπλασιαστής και η γεννήτρια εγκλείονται μέσα σε ένα βολβό βυθισμένο στη ροή. Οι σωληνωτοί στρόβιλοι επιτρέπουν ποικίλες διαρρυθμίσεις, όπως τη μετάδοση κίνηση υπό ορθή γωνία, στροβίλους Straflo με αγωγούς σχήματος S, γεννήτριες με ιμαντοκίνηση, κλπ. Τα συστήματα μετάδοσης κίνησης υπό ορθή γωνία αποτελούν μια πολύ ελκυστική λύση, αλλά κατασκευάζονται μόνο μέχρι ένα μέγιστο όριο της τάξης των 2 MW.

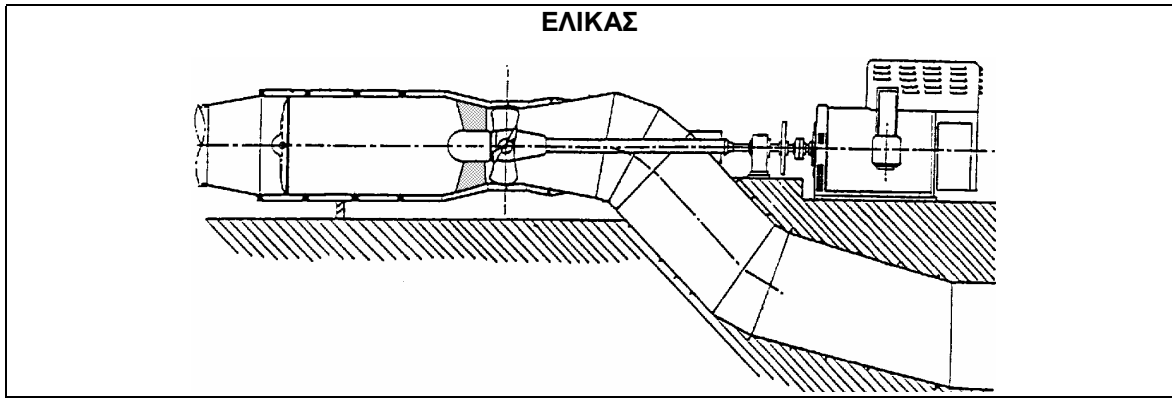
Οι **στρόβιλοι Francis** είναι στρόβιλοι αντίδρασης ακτινικής ροής, με σταθερά πτερύγια δρομέα και ρυθμιζόμενα οδηγία πτερύγια, που χρησιμοποιούνται για μεσαία ύψη πτώσης. Ο δρομέας αποτελείται από κάδους που διαμορφώνονται από σύνθετες καμπύλες. Ένας στρόβιλος Francis περιλαμβάνει συνήθως ένα χυτοσιδηρό ή χαλύβδινο σπειροειδές περίβλημα για τη διανομή του νερού γύρω από ολόκληρη την περίμετρο του δρομέα, και αρκετές σειρές πτερυγίων που καθοδηγούν και ρυθμίζουν την ροή του νερού προς το δρομέα. Στο σχήμα 3 δίνεται η σχηματική παράσταση του στροβίλου αυτού του τύπου (μαζί με τις παραστάσεις όλων των γνωστών υδρο-στροβίλων).

Οι **στρόβιλοι Pelton** είναι στρόβιλοι ώσης με μία ή πολλαπλές δέσμες, καθεμία από τις οποίες εκρέει μέσα από ένα ακροφύσιο με μια βελονοβαλβίδα για τον έλεγχο της ροής. Αυτοί χρησιμοποιούνται για μεσαία και μεγάλα ύψη πτώσης. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένας κατακόρυφος στρόβιλος Pelton και ο άξονας των ακροφυσίων που κείται στο ίδιο επίπεδο με τον δρομέα. Ορισμένοι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει ειδικούς τύπους αυτών των μηχανών, με περιορισμένο εύρος παροχής και ισχύος, οι οποίοι όμως μπορεί να είναι συμφέροντες υπό ορισμένες συνθήκες.

Ο **στρόβιλος εγκάρσιας ροής**, συχνά καλούμενος ως στρόβιλος Ossberger, από την ομώνυμη εταιρία που τον κατασκευάζει για παραπάνω από 50 χρόνια, ή και στρόβιλος Michell, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ευρύ φάσμα υψών πτώσης, επικαλύπτοντας αυτά των στροβίλων Kaplan, Francis και Pelton. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για ένα ρεύμα με μεγάλη παροχή και μικρό ύψος πτώσης.

Ο **στρόβιλος Turgo** μπορεί να λειτουργεί σε ύψη πτώσης από 30 έως 300 m. Είναι στρόβιλος ώσης, όπως και ο Pelton, αλλά οι κάδοι του διαμορφώνονται διαφορετικά και η δέσμη του νερού προσπίπτει στο επίπεδο του δρομέα υπό γωνία 20°. Το νερό εισέρχεται στον δρομέα από τη μια πλευρά του δίσκου του και εξέρχεται από την άλλη. Η μεγαλύτερη ταχύτητα του δρομέα του Turgo, λόγω της μικρότερης διαμέτρου του σε σύγκριση με τους άλλους τύπους, καθιστά πιο πιθανή την άμεση σύζευξη του στροβίλου και της γεννήτριας. Ένας στρόβιλος Turgo μπορεί να είναι κατάλληλος σε μεσαία ύψη πτώσης, όπου διαφορετικά θα χρησιμοποιούνταν στρόβιλος Francis. Πάντως, σε αντίθεση με έναν Pelton, το νερό που ρέει μέσω του δρομέα παράγει μια αξονική δύναμη, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός ωστικού εδράνου στον άξονα του.



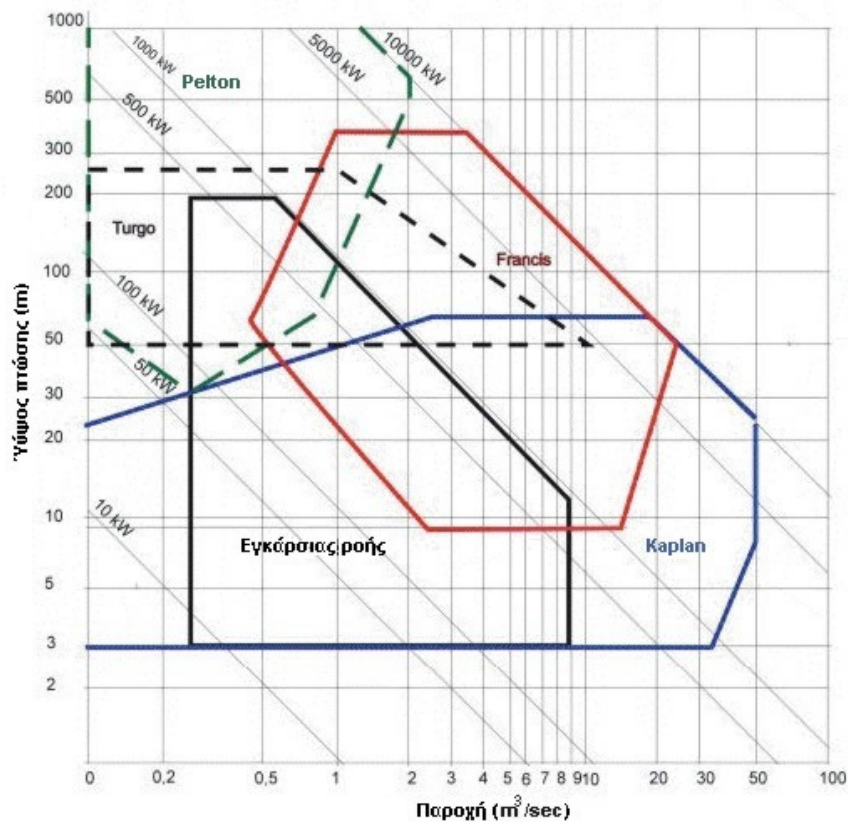


Σχήμα 3: Σχηματικές αναπαραστάσεις των κύριων τύπων υδροστροβίλων

3.3 Κριτήρια επιλογής στροβίλου

Ο τύπος, η γεωμετρία και οι διαστάσεις του στροβίλου καθορίζονται κατά κύριο λόγο από τα ακόλουθα κριτήρια:

- το καθαρό ύψος πτώσης,
- το εύρος των παροχών του νερού που διέρχεται από τον στρόβιλο,
- την ταχύτητα περιστροφής,
- προβλήματα σπηλαιώσης,
- το κόστος.



Σχήμα 4: Εύρος λειτουργίας των διαφόρων τύπων των στροβίλων

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται το εύρος λειτουργίας των διαφόρων τύπων υδροστροβίλων σε συνάρτηση με το ύψος πτώσης και την παροχή. Το ύψος πτώσης από μόνο του αποτελεί το πρώτο κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου τύπου στροβίλου. Ο επόμενος πίνακας δείχνει το εύρος του κατάλληλου ύψους πτώσης για τους διάφορους τύπους στροβίλων.

Πίνακας 2: Εύρος υψών πτώσης

Τύποι στροβίλων	Εύρος ύψους πτώσης (σε m)
Karlan και έλικας	$2 < H < 15$
Francis	$4 < H < 100$
Pelton	$30 < H < 1000$
Εγκάρσιας ροής	$1 < H < 150$
Turgo	$50 < H < 250$

Για το ίδιο καθαρό ύψος πτώσης, είναι δυσκολότερη η κατασκευή ορισμένων στροβίλων απ' ό,τι άλλων, συνεπώς είναι και ακριβότεροι. Για παράδειγμα, στα μικρά ύψη πτώσης, ένας στρόβιλος τύπου έλικας είναι φθηνότερος από ένα στρόβιλο Karlan που έχει σχεδιασθεί για την ίδια ονομαστική παροχή. Σε ένα σύστημα μέσου ύψους πτώσης, ένας στρόβιλος εγκάρσιας ροής θα είναι φθηνότερος από ένα τύπου Francis, του οποίου ο δρομέας είναι πιο περίπλοκος, όμως η απόδοσή του είναι υψηλότερη. Όσον αφορά στην παροχή, πρέπει να υπενθυμισθεί ότι οι στρόβιλοι δεν μπορούν να λειτουργούν από μηδενική ροή μέχρι την ονομαστική παροχή τους.

3.4 Αποδοτικότητα του υδροστροβίλου

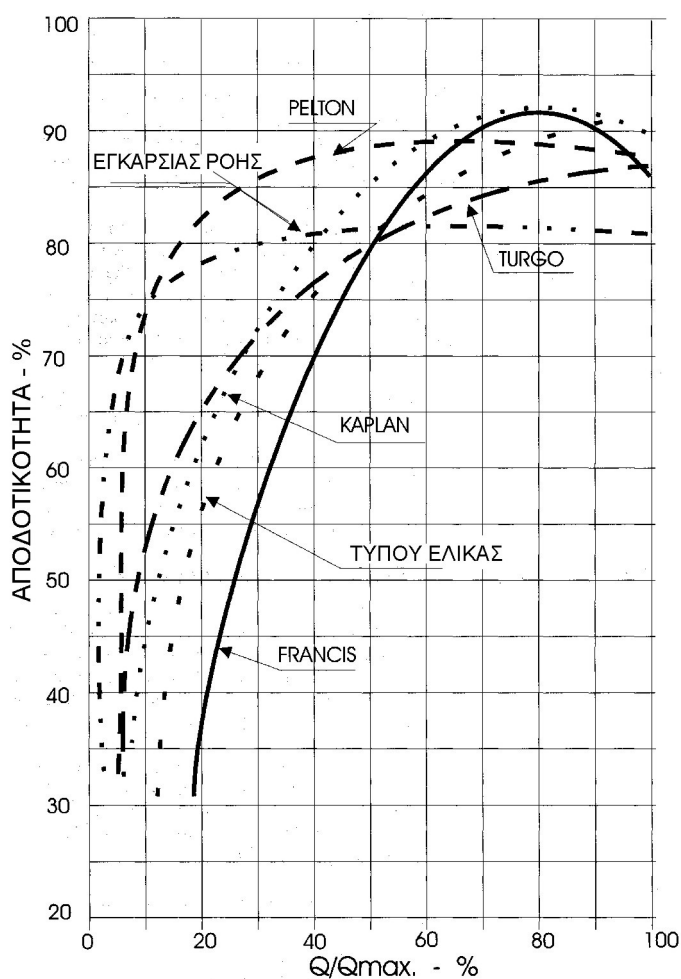
Ως αποδοτικότητα ενός υδροστροβίλου ορίζεται ο λόγος της ισχύος που παρέχει ο στρόβιλος (μηχανική ισχύς μεταδιδόμενη από τον άξονα του στροβίλου) προς την απορροφούμενη ισχύ (υδραυλική ισχύς η οποία ισοδυναμεί με την μετρούμενη παροχή υδάτων βάσει του καθαρού ύψους πτώσης). Για τον υπολογισμό της συνολικής αποδοτικότητας του συστήματος, η αποδοτικότητα του στροβίλου πολλαπλασιάζεται με αυτές του πολλαπλασιαστή στροφών (εάν χρησιμοποιείται) και της ηλεκτρογεννήτριας.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5 (μέση αποδοτικότητα αρκετών τύπων στροβίλων), η αποδοτικότητα μειώνεται ραγδαία κάτω από ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ονομαστικής παροχής. Ο υδροστρόβιλος προορίζεται από κατασκευής του να λειτουργεί στο (ή κοντά στο) σημείο της καλύτερης απόδοσής του, συνήθως στο 80% της μέγιστης παροχής. Καθώς η ροή αποκλίνει από αυτήν τη συγκεκριμένη τιμή, αποκλίνει και η υδραυλική αποδοτικότητα του στροβίλου.

Το εύρος των παροχών που θα πρέπει να χρησιμοποιούνται, και συνακόλουθα η παραγόμενη ενέργεια, διαφέρει εάν:

- η μονάδα θα πρέπει να παρέχει ηλεκτρισμό σε ένα μικρό δίκτυο, ή
- η μονάδα προορίζεται για σύνδεση με ένα μεγάλο δίκτυο διανομής.

Στην πρώτη περίπτωση, θα πρέπει να επιλεγεί μια παροχή που να επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρισμού καθ' όλο το έτος. Στην δεύτερη περίπτωση, η ονομαστική παροχή θα πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να μεγιστοποιούνται τα καθαρά έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 5: Αποδοτικότητες υπό μερικές παροχές των διάφορων τύπων υδροστροβίλων

Οι στρόβιλοι Kaplan και Pelton διπλής ρύθμισης λειτουργούν ικανοποιητικά σε ένα ευρύ φάσμα ροών (πάνω από το ένα πέμπτο περίπου της ονομαστικής παροχής). Οι στρόβιλοι Kaplan μονής ρύθμισης έχουν αποδεκτή αποδοτικότητα πάνω από το ένα τρίτο και οι στρόβιλοι Francis από το ήμισυ της ονομαστικής παροχής. Κάτω του 40% της ονομαστικής παροχής, οι στρόβιλοι Francis μπορεί να παρουσιάσουν αστάθεια που οδηγεί σε κραδασμούς ή μηχανικές δονήσεις. Οι στρόβιλοι τύπου έλικας με σταθερά πτερύγια μπορούν να λειτουργήσουν ικανοποιητικά μόνο σε ένα περιορισμένο εύρος κοντά στην ονομαστική τους παροχή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η αποδοτικότητα των στροβίλων έλικας μονής ρύθμισης είναι εν γένει καλύτερη από αυτή των μηχανών με ρυθμιζόμενο δρομέα.

3.5 Έλεγχος

Ο πίνακας ελέγχου είναι το «μαύρο κουτί» που παρακολουθεί τη λειτουργία μιας μικρής υδροηλεκτρικής μονάδας. Οι κύριες λειτουργίες του πίνακα ελέγχου είναι:

- η εκκίνηση και η διακοπή λειτουργίας του υδροστροβίλου,
- ο συγχρονισμός της γεννήτριας με το τοπικό δίκτυο,
- η παρακολούθηση της ανάντη στάθμης του νερού και η διασφάλιση ότι διατηρείται επάνω

από την ελάχιστη τιμή,

- η λειτουργία της βαλβίδας ελέγχου της ροής προς τον υδροστρόβιλο ώστε να ταιριάζει με τη διαθεσιμότητα του νερού,
- ο εντοπισμός σφαλμάτων και η ενεργοποίηση του συναγερμού ή η έναρξη της διακοπής λειτουργίας.

Για διασυνδεδεμένα συστήματα, ο πίνακας ελέγχου πρέπει να ανταποκρίνεται στις τοπικές απαιτήσεις για τη σύνδεση μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στο δίκτυο. Για μονάδες που δεν είναι συνδεδεμένες στο τοπικό δίκτυο αλλά λειτουργούν αυτόνομα, το σύστημα ελέγχου πρέπει να εξασφαλίζει ότι τόσο η τάση όσο και η συχνότητα της γεννήτριας παραμένουν εντός των επιτρεπόμενων ορίων, ανεξάρτητα από το φορτίο που εφαρμόζεται.

Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις που παράγουν τριφασικό ρεύμα, είναι συνηθισμένο ο πίνακας ελέγχου να έχει τις ακόλουθες ενδείξεις:

- ένα βολτόμετρο με ένα διακόπτη επιλογής που δείχνει την τάση μεταξύ των φάσεων καθώς και την τάση της γραμμής,
- ένα αμπερόμετρο σε κάθε φάση για την μέτρηση της έντασης του ρεύματος,
- ένα συχνόμετρο,
- έναν μετρητή κιλοβάτ, για την μέτρηση της στιγμιαίας ισχύος,
- έναν μετρητή κιλοβατωρών, για την μέτρηση της ενέργειας που παράγεται κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου,
- έναν μετρητή του συντελεστή ισχύος.



3.6 Προφύλαξη

3.6.1 Προστατευτικές σήτες

Μια προστατευτική σήτα είναι ένα είδος φράκτη που χρησιμοποιείται για να φιλτράρει τις φερτές ύλες σε έναν υδάτινο δίαυλο. Είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για να διατηρούνται τα ρυάκια, τα ποτάμια και οι λίμνες ελεύθερα από σκουπίδια και ανεπιθύμητα στοιχεία. Το βασικό σχέδιο όλων των προστατευτικών σητών είναι παρόμοιο, αλλά καθεμία από τις εσωτερικές, τις εξωτερικές και τις σήτες του υδροστρόβιλου εξυπηρετεί διαφορετικές ανάγκες. Οι σήτες μπορεί επίσης να κατασκευάζονται από διαφορετικά υλικά.



Μια απλή σήτα για τα σκουπίδια ενός υδάτινου δίαυλου μπορεί να κατασκευαστεί από οποιοδήποτε δικτυωτό υλικό που επιτρέπει στο νερό να

περνάει μέσα από αυτό, αλλά συγκρατεί τα μεγάλα κομμάτια των φερτών υλών. Μια σήτα συνήθως κατασκευάζεται από τα ίδια υλικά που κατασκευάζονται και οι φράκτες, όπως είναι το μέταλλο ή το πλαστικό. Ανάλογα με τον υδάτινο δίαυλο και την ποσότητα των ρυπαντών που περνάει μέσα από αυτές, οι σήτες συχνά πρέπει να καθαρίζονται τακτικά ώστε να αποφεύγεται το φράξιμο της διόδου του νερού.

Η σήτα αποτελεί ένα εμπόδιο στη ροή και έχει ως συνέπεια μια μικρή μείωση του ύψους πτώσης. Συνεπώς, η απόσταση των ράβδων θα πρέπει να είναι η μέγιστη δυνατή για να μπορεί όμως να συγκρατεί τις φερτές ύλες που είναι αρκετά μεγάλες για να προκαλέσουν ζημιά στο στρόβιλο. Ο προμηθευτής του στροβίλου θα πρέπει να παράσχει συμβουλές για τις σωστές διαστάσεις. Επιπλέον, η ταχύτητα ροής κοντά στη σήτα πρέπει να είναι σχετικά μικρή, κατά προτίμηση κάτω από 0,3 m/sec και σίγουρα όχι μεγαλύτερη από 0,5 m/sec.

3.6.2 Αυτόματοι καθαριστές

Η απόξεση με τα χέρια είναι δυνατή μόνο στα μικρά συστήματα, ή σε θέσεις οι οποίες είναι επανδρωμένες για άλλους λόγους. Υπάρχει πλέον μια μεγάλη γκάμα από διατάξεις αυτόματης απόξεσης που είναι διαθέσιμες για τον καθαρισμό της σήτας και την απομάκρυνση των συσσωρευμένων φερτών υλών. Οι πιο κοινοί τύποι περιγράφονται στη συνέχεια.

Τα **ρομποτικά χτένια**, τα οποία διατίθενται σε ποικιλία σχεδίων, αλλά συνήθως περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερα χτένια που κινούνται με υδραυλικό βραχίονα, είναι ο συνηθέστερος τύπος αυτόματου καθαριστή σήτας. Σε μερικά σχέδια χρειάζεται μόνο ένα απλό χτένι που μπορεί να εκτείνεται κατά μήκος της σήτας. Σε κάποιες περιπτώσεις δύο ή περισσότερα χτένια μπορούν να λειτουργούν δίπλα-δίπλα. Τα συστήματα αυτά είναι συνήθως πολύ στιβαρά, εν μέρει επειδή μπορούν να διατηρούν τον μηχανισμό κίνησης συνέχεια έξω από το νερό. Κύρια μειονεκτήματά τους είναι η οπτική παρουσία του εξοπλισμού και ο ελαφρώς μεγαλύτερος κίνδυνος για την υγεία και την ασφάλεια που εγείρεται όταν λειτουργεί χωρίς επίβλεψη ο εξοπλισμός.

Ένας **καθαριστής χτενιού-αλυσίδας**, στον οποίο μια ράβδος κινείται επάνω στη σήτα με τη βοήθεια ενός συστήματος μετάδοσης κίνησης με αλυσίδα σε κάθε άκρο της, αποτελεί μια άλλη επιλογή. Η ράβδος εναποθέτει τα φερτά υλικά που συλλέγονται σε ένα κανάλι που διατρέχει κατά μήκος την σήτα. Το κανάλι μπορεί να ξεπλύνεται με καθαρό νερό (αντλούμενο εάν είναι απαραίτητο), ξεπλένοντας τα φερτά υλικά προς τη μεριά ενός πλευρικού υπερχειλιστή.

Ο καθαριστής με **αρπάγη και ανυψωτικό** είναι μια στιβαρή εναλλακτική λύση στο μηχανικό χτένι. Ένα ενιαίο σύνολο “σιαγόνων” λειτουργεί κατά μήκος της σήτας και ανεβάζει το υλικό κατευθείαν σε έναν κάδο.

Οι **σήτες τύπου Coanda**, που έχουν εφαρμογή μόνο σε σχήματα υψηλού και μέσου ύψους πτώσης, δεν απαιτούν την ύπαρξη χτενιού επειδή χρησιμοποιούν το φαινόμενο Coanda για να φιλτράρουν και να απομακρύνουν τις φερτές ύλες και τα σωματίδια ιλύος, επιτρέποντας μόνο το καθαρό νερό να περάσει στο σύστημα προσαγωγής. Σύρματα από ανοξείδωτο χάλυβα, με ακρίβεια τοποθετημένα σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους, ενσωματώνονται σε μια προσεκτικά μορφοποιημένη σήτα που τοποθετείται στην κατάντη πλευρά του υπερχειλιστή πρόσληψης. Το καθαρό νερό συλλέγεται σε ένα θάλαμο κάτω από τις σήτες, ο οποίος συνδέεται απευθείας στον αγωγό πτώσης του στροβίλου.

(α) Σύστημα χτενιού-αλυσίδας



(β) Υδραυλικός βραχίονας



(γ) Καθαριστής με αρπάγη και ανυψωτικό



(δ) Σήτα Coanda



3.6.3 Προφύλαξη των ψαριών

Σε ποτάμια όπου υπάρχουν σημαντικές ανησυχίες για την αλιεία, υπάρχουν συνήθως πιο αυστηρές απαιτήσεις προφύλαξης για να εξασφαλιστεί ότι τα ψάρια θα αποτρέπονται από το να εισέρχονται στον υδροστρόβιλο και ότι θα συνεχίζουν την πορεία τους μέσω των κατάλληλων παρακάμψεων. Τα συγκεκριμένα μέτρα προφύλαξης των ψαριών θα αποτελέσουν αντικείμενο διαπραγμάτευσης, ανάλογα με τις ευαισθησίες της περιοχής.

Έχει δοκιμαστεί μια σειρά καινοτόμων μεθόδων για την αποφυγή της εισόδου των ψαριών στα στόμια εισόδου χωρίς τη χρήση φυσικής σήτας. Αυτές περιλαμβάνουν – μεταξύ άλλων - την χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, φραγμάτων με φυσαλίδες και ηχητικών κυμάτων για την οδήγηση των ψαριών μακριά από το στόμιο εισόδου. Οι μέθοδοι αυτές προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στον χειριστή του εκάστοτε μικρού υδροηλεκτρικού έργου, αποφεύγοντας ταυτόχρονα και οποιαδήποτε απόφραξη της ροής.

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΡΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσό της αξιοποιήσιμης υδροηλεκτρικής ενέργειας σε μια δεδομένη περιοχή είναι συνάρτηση του ύψους πτώσης και της αντίστοιχης παροχής. Έτσι, η αξιοποίηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού απαιτεί την αξιολόγηση του υδάτινου πόρου, η οποία εξαρτάται από τις φυσικές διεργασίες που συμβαίνουν σε τοπικό επίπεδο, αλλά και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Η ακριβής και αξιόπιστη αξιολόγηση των υδάτινων πόρων οδηγεί σε επιτυχή σχεδιασμό. Πάντως, η αξιόπιστη εκτίμηση των υδάτινων πόρων δεν είναι πάντοτε εύκολη υπόθεση. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις λιγότερο ανεπτυγμένες, μη-βιομηχανικές περιφέρειες και θα μπορούσε να είναι ένας από τους παράγοντες της ανεπαρκούς ανάπτυξης της υδροηλεκτρικής ενέργειας σε αυτές τις περιοχές.

Παραδοσιακά, για την εκτίμηση του υδάτινου δυναμικού λαμβάνονται υπόψη ιστορικά δεδομένα της εκροής του νερού που αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη θέση και, ως εκ τούτου, οι μελετητές χρησιμοποιούν τέτοιου είδους πληροφορίες. Τα Υπουργεία Περιβάλλοντος, οι Υδρολογικές και / ή Περιβαλλοντικές Υπηρεσίες (σε εθνικό / περιφερειακό / τοπικό επίπεδο) ή άλλοι παρόμοιοι οργανισμοί αποτελούν συνήθως πηγές δεδομένων για μετρήσεις της ροής στα πιο σημαντικά ποτάμια και υδατορεύματα των ευρωπαϊκών χωρών. Τα αρχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της ροής των υδατορευμάτων στην προτεινόμενη θέση, εφόσον ληφθεί υπόψη η πραγματική θέση της τοποθεσίας σε σχέση με το σταθμό μέτρησης (προς τα ανάντη ή κατόντη).

Αλλά, στις περισσότερες περιπτώσεις τα αρχεία διαθεσιμότητας υδάτινων πόρων παρελθόντων ετών αναφέρονται για συγκεκριμένη τοποθεσία. Λόγω της πολυπλοκότητας του υδρολογικού φαινομένου, η μελλοντική αξιολόγηση με βάση τα στοιχεία παρατήρησης παρελθόντων ετών για συγκεκριμένη θέση δημιουργεί αμφιβολίες σχετικά με την ακρίβεια και την αξιοπιστία της αξιολόγησης. Μπορεί να υπάρξουν αρκετές συνέπειες από μια τέτοια αξιολόγηση του υδάτινου πόρου που βασίζεται σε ανακριβή στοιχεία:

1. η υποεκτίμηση μπορεί να είναι η κύρια αιτία έλλειψης κινήτρου για την επένδυση στην υδροηλεκτρική ενέργεια – παρότι η πραγματική διαθεσιμότητα θα ήταν ενθαρρυντική,
2. η αξιολόγηση που βασίζεται στην παρατήρηση σε επιλεγμένη θέση μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια κάποιων πιθανών καλύτερων συνθηκών σε άλλες θέσεις, που επίσης μπορεί να έχει ως συνέπεια τον εσφαλμένο σχεδιασμό,
3. η συλλογή στοιχείων παρατήρησης από ένα μεγάλο αριθμό σταθμών που καλύπτουν ευρεία έκταση είναι δαπανηρή και χρονοβόρα.

Με την εμφάνιση των σύγχρονων υπολογιστικών εργαλείων, όπως είναι τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), η τηλεπισκόπηση και τα υδρολογικά μοντέλα, οι περιορισμοί που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να αντιμετωπιστούν πιο ολοκληρωμένα. Οι ρεαλιστικές αναπαραστάσεις:

- (i) του υφιστάμενου ανάγλυφου του εδάφους,
- (ii) των σύνθετων υδρολογικών φαινομένων, και
- (iii) των διακυμάνσεων του κλίματος

είναι πλέον δυνατές μέσω των χωρικών εργαλείων και των τεχνικών μοντελοποίησης. Έτσι, είναι πλέον δυνατή όχι μόνο η χωρική αλλά και χρονική προσομοίωση της πραγματικής υδρολογίας σε σχέση με την διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων μιας περιοχής.

Τα υδρολογικά μοντέλα αποτελούν απλοποιημένες, εννοιολογικές αναπαραστάσεις ενός μέρους του υδρολογικού κύκλου. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην υδρολογική πρόγνωση καθώς και για την κατανόηση των υδρολογικών διεργασιών. Πρόκειται για μια δυναμική τεχνική έρευνας των υδρολογικών συστημάτων τόσο για τους ερευνητές υδρολόγους όσο και για τους μηχανικούς που μελετούν τους υδάτινους πόρους. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν εν γένει μαθηματικές και στατιστικές αρχές για τη συσχέτιση συγκεκριμένων δεδομένων εισόδου (π.χ. την βροχόπτωση, την θερμοκρασία, κλπ.) με τα εξαγόμενα του μοντέλου (για παράδειγμα την απορροή).

Με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και των υδρολογικών μοντέλων έχει καταστεί δυνατή η ενσωμάτωση όλων των φυσικών γεγονότων που οδηγούν στην καλύτερη προσομοίωση του φυσικού κόσμου. Τα πλεονεκτήματα αυτών των εργαλείων και μοντέλων είναι η ικανότητά τους να προσομοιώνουν την περιεκτικότητα σε νερό σε σχέση με την εκροή εντός μιας μικροσκοπικής έκτασης στο χώρο για τρία διαφορετικά είδη ροών, συγκεκριμένα χερσαίες, επιφανειακές και ροές εντός αγωγών. Οι χρήσεις των υδρολογικών μοντέλων έχουν αυξηθεί λόγω των προτερημάτων τους έναντι των παραδοσιακών μεθόδων για την αξιολόγηση των υδάτινων πόρων.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) και τα εργαλεία τηλεπισκόπησης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί ευρέως για την αξιολόγηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού τα τελευταία χρόνια. Η χρησιμότητα των ΓΣΠ και των τεχνολογιών τηλεπισκόπησης αυξάνεται εφόσον μπορούν να ενταχθούν σε αυτά υδρολογικά μοντέλα βασιζόμενα στη διαδικασία. Αν και προκύπτουν αρκετά οφέλη από τα ενσωματωμένα στα ΓΣΠ υδρολογικά μοντέλα που βασίζονται στη διαδικασία, έχουν αναφερθεί και ορισμένοι περιορισμοί. Η απαίτηση για μεγάλο όγκο δεδομένων που αφορούν τις χρήσεις γης, το έδαφος και το κλίμα υπήρξε ένας σημαντικός περιορισμός για τα υδρολογικά μοντέλα. Η χρήση πολλών υπο-μοντέλων και των σχετικών θεωρήσεων αποτελούν επίσης περιορισμούς για συγκεκριμένες περιπτώσεις. Αυτοί οι περιορισμοί θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αβεβαιότητες πρόβλεψης του μοντέλου. Ωστόσο, οι αβεβαιότητες αυτές μπορούν να ελαχιστοποιηθούν μέσω της τυπικής διαδικασίας βαθμονόμησης και επαλήθευσης.

4.2 Εθνικό και περιφερειακό επίπεδο

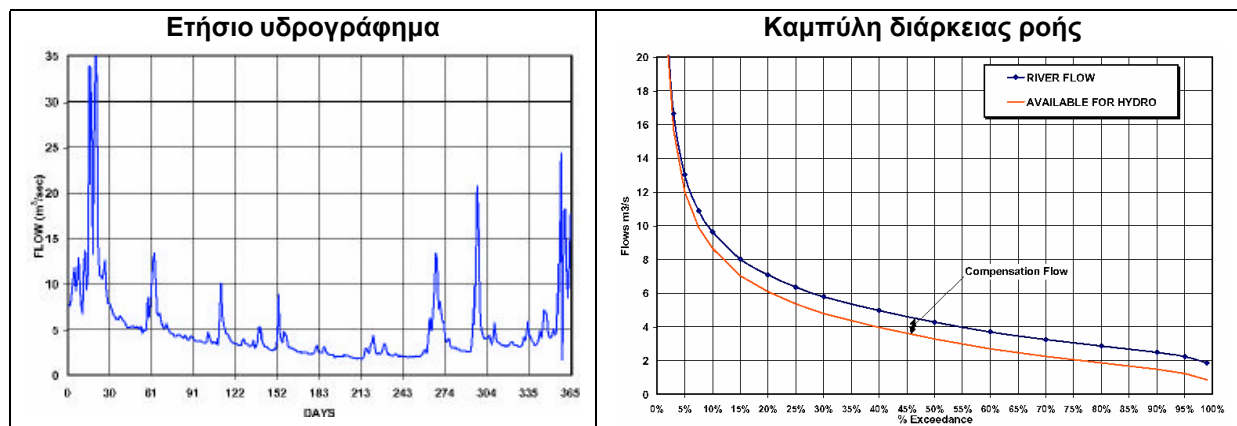
Για την αξιολόγηση των υδατικών πόρων σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο χρησιμοποιούνται δορυφορικές εικόνες για την ανάπτυξη της βάσης δεδομένων του ΓΣΠ για τον εντοπισμό του πόρου, την επιλογή της τοποθεσίας, τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό, τα δεδομένα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (ΨΜΕ) και του δικτύου μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για την κατάρτιση των τοποθεσιών. Εν γένει, τέτοιες ασκήσεις για αξιολογήσεις των πόρων σε μεγάλη κλίμακα πραγματοποιούνται από μία ομάδα ερευνητών που αποτελείται από ειδικούς στα ΓΣΠ, στην υδρολογία, στην υδροηλεκτρική ενέργεια, κλπ..

Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (στα αγγλικά: GIS) είναι ένα βασισμένο σε υπολογιστή σύστημα πληροφοριών που χρησιμοποιείται για την ψηφιακή απεικόνιση και ανάλυση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών που υπάρχουν στην επιφάνεια της γης. Η μεθοδολογία για την

αξιολόγηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού μιας περιοχής μπορεί να υλοποιηθεί με τη βοήθεια των μεθόδων που περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

4.2.1 Περιφερειακά μοντέλα διάρκειας της ροής

Υπάρχουν δύο τρόποι για να εκφραστεί η μεταβολή στη ροή των ποταμών κατά τη διάρκεια του έτους: το ετήσιο υδρογράφημα και η καμπύλη διάρκειας ροής ή ΚΔΡ, όπως φαίνεται παρακάτω:



Η ΚΔΡ είναι μια απλή γραφική απεικόνιση της διακύμανσης της ροής του νερού σε μία θέση, χωρίς καμία αναφορά στην σειρά με την οποία θα είναι διαθέσιμη αυτή η ροή. Δείχνει το πώς κατανέμεται η ροή κατά τη διάρκεια μιας περιόδου (συνήθως ένα έτος). Ο κατακόρυφος άξονας δίνει τη ροή, ο οριζόντιος άξονας δίνει το ποσοστό του χρόνου όπου η ροή υπερβαίνει την τιμή που φαίνεται στον άξονα y. Έτσι, για παράδειγμα, η ΚΔΡ μπορεί να δείξει αμέσως το επίπεδο της ροής που θα είναι διαθέσιμη για τουλάχιστον το 50% του έτους (γνωστό ως Q_{50}). Η ροή υπέρβασης για το 95% του έτους (Q_{95}) συχνά λαμβάνεται ως η χαρακτηριστική τιμή για την ελάχιστη παροχή του ποταμού.

Μπορούν να αναπτυχθούν άμεσα Καμπύλες Διάρκειας Ροής για τις πιθανές θέσεις για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα επαρκή δεδομένα ροής. Η ροή για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας για την μετρηθείσα θέση μπορεί να υπολογιστεί από αυτή την καμπύλη. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, στις περισσότερες από τις πιθανές θέσεις εγκατάστασης υδροηλεκτρικών σταθμών το πιθανότερο είναι να μην έχει εγκατασταθεί μετρητική διάταξη, οπότε είτε υπάρχουν ασήμαντα, ή δεν υπάρχουν καθόλου δεδομένα ροής για τέτοιου είδους αναλύσεις.

Για να προκύψει μία καμπύλη διάρκειας ροής για μια θέση σε ένα υδατόρευμα για την οποία δεν είναι διαθέσιμα επαρκή δεδομένα για την ροή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια περιφερειακή καμπύλη διάρκειας ροής. Τα περιφερειακά μοντέλα ροής αναπτύσσονται με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία από μερικές άλλες λεκάνες απορροής με μετρητικές διατάξεις στην ίδια περιοχή ή που έχουν μεταφερθεί από παρόμοια κοντινή περιοχή. Τέτοια μοντέλα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των καμπυλών διάρκειας ροής για λεκάνες απορροής στην εν λόγω περιοχή για τις οποίες δεν υπάρχουν μετρήσεις. Η διαθεσιμότητα τέτοιων περιφερειακών μοντέλων διάρκειας ροής είναι πολύ σημαντική (για παράδειγμα, κατά την εκτίμηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού σε απομακρυσμένες ορεινές περιοχές της χώρας).

Το μοντέλο ετήσιας διάρκειας ροής παρέχει το μοτίβο της ροής σε μία λεκάνη απορροής όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις. Για την ανάπτυξη του μοντέλου διάρκειας ροής θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, όπως είναι η επιφάνεια, η περίμετρος, το μήκος του κύριου καναλιού, το υψόμετρο του υψηλότερου και του χαμηλότερου σημείου, η γεωλογία της περιοχής, η υδρογεωλογία της περιοχής, οι χρήσεις γης, το κλίμα και άλλες παράμετροι. Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, η διάρκεια της ροής που προκύπτει από τα παραπάνω περιφερειακά μοντέλα ροής μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για προκαταρκτικές μελέτες σκοπιμότητας. Αυτό μπορεί να ακολουθηθεί από μία λεπτομερή μελέτη σκοπιμότητας της θέσης (για πιθανές τοποθεσίες) με βάση πραγματικές μετρήσεις της εκροής από το ποτάμι / υδατόρευμα.

4.2.2 Τηλεπισκοπικά δεδομένα για την ανάλυση των λεκανών απορροής

Η τεχνολογία τηλεπισκόπησης αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τον εντοπισμό των κατάλληλων θέσεων για την εγκατάσταση νέων υδροηλεκτρικών έργων, ιδίως στις δυσπρόσιτες περιοχές όπου το πιθανό υδατικό δυναμικό είναι υψηλό. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που διατίθενται στην εγγύς υπέρυθρη φασματική ζώνη (0,8 - 1,1 μm) δείχνουν καθαρά την αντίθεση μεταξύ των χαρακτηριστικών του εδάφους και του νερού και, συνεπώς, είναι κατάλληλα για τη χαρτογράφηση πολυετών υδατορεμάτων. Δεδομένα από το IRS-LISS III - Geocoded False Colour Composites (FCC) – δηλ. οι γεωκωδικοποιημένες συνθέσεις ψευδοχρωματικών εικόνων - μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση των ορίων της λεκάνης απορροής, του δικτύου απορροής, των πολυετών υδατορεμάτων, των χρήσεων γης και της φυτοκάλυψης για τέτοιες εκτιμήσεις.

Οι υψομετρικές καμπύλες και τα τριγωνομετρικά σημεία από τους τοπογραφικούς χάρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (Digital Elevation Model - DEM) αυτών των λεκανών απορροής χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε από τα διάφορα διαθέσιμα πακέτα λογισμικού GIS - Manifold, ARC-INFO, MapInfo, κλπ. Για λόγους περαιτέρω ανάλυσης, το όριο της λεκάνης απορροής, το δίκτυο απορροής και η θέση των κατοικημένων περιοχών μπορούν να υπερτίθενται σε αυτά τα μοντέλα.

4.2.3 Ψηφιακά μοντέλα εδάφους

Τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (Digital Terrain Models - DTM) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της κλίσης, του μήκους του καναλιού, της έκτασης της λεκάνης απορροής, του διαθέσιμου ύψους πτώσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και της θέσης των κατάλληλων χώρων για τα έργα πολιτικού μηχανικού στις μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες. Οι δορυφορικές εικόνες και τα ΓΣΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για τον σχεδιασμό των κατάλληλων (βέλτιστων) οδών, την ανάλυση των τομών, τον μηχανολογικό σχεδιασμό των πυλώνων και των καλωδίων, αλλά και την εκτίμηση του κόστους του δικτύου μεταφοράς ή της γραμμής τροφοδοσίας προς τον πλησιέστερο υποσταθμό.

4.3 Εκτίμηση του πόρου σε τοπικό επίπεδο (συγκεκριμένη θέση)

Ο μόνος πόρος που απαιτείται για ένα μικρό/μίνι υδροηλεκτρικό σταθμό είναι η διαθεσιμότητα τρεχούμενου νερού υπό κάποια κλίση. Ο προγραμματισμός για κάθε ΜΥΗ αρχίζει με την ακριβή (από κοντά) εκτίμηση του ύψους πτώσης και της διαθέσιμης ροής στην προτεινόμενη θέση. Στις

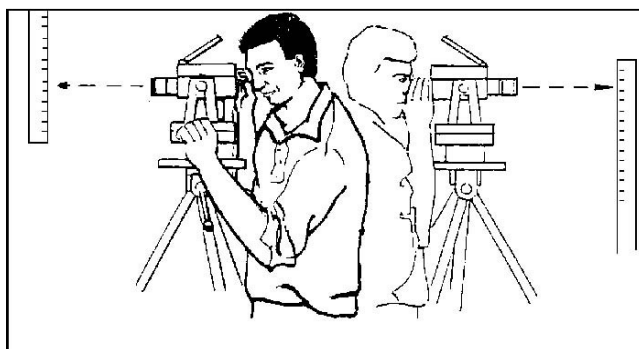
ακόλουθες υποενότητες περιγράφονται λεπτομερώς διάφορες μέθοδοι που εφαρμόζονται για τη μέτρηση του ύψους πτώσης και της εκροής.

4.3.1 Μέτρηση του ύψους πτώσης

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη μέτρηση του διαθέσιμου ύψους πτώσης. Μερικές μέθοδοι είναι καταλληλότερες για θέσεις με χαμηλά ύψη πτώσης, αλλά είναι πολύ επίπονες και μη ακριβείς για τα μεγάλα ύψη πτώσης. Είναι πάντα προτιμότερο να γίνονται αρκετές ξεχωριστές μετρήσεις του ύψους πτώσης σε κάθε περιοχή.

Ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας είναι ότι το ακαθάριστο ύψος πτώσης δεν παραμένει σταθερό, αλλά ποικίλλει ανάλογα με τη ροή του ποταμού. Πράγματι, όταν αυξάνεται η ροή του ποταμού, η στάθμη του νερού στο πίσω μέρος συχνά ανέρχεται ταχύτερα απ' ό,τι η στάθμη στο ανώτερο τμήμα, μειώνοντας έτσι το συνολικό διαθέσιμο ύψος πτώσης. Αν και αυτή η μεταβολή του ύψους πτώσης είναι πολύ μικρότερη από τη διακύμανση της ροής, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την διαθέσιμη ισχύ, ιδιαίτερα σε συστήματα με μικρό ύψος πτώσης όπου ακόμη και το 0,5 μέτρο είναι κρίσιμο. Για να εκτιμηθεί το διαθέσιμο ακαθάριστο ύψος πτώσης με ακρίβεια, θα πρέπει να μετρηθούν οι στάθμες των ανώτερων και κατώτερων τμημάτων του ποταμού για όλο το εύρος των ροών του ποταμού. Μερικές από τις πιο κοινές μεθόδους / τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ύψους πτώσης περιγράφονται στη συνέχεια.

Χωροβάτες και θεοδόλιχοι: Η χρήση του χωροβάτη είναι μία συμβατική μέθοδος για τη μέτρηση του ύψους πτώσης και θα πρέπει να χρησιμοποιείται εκεί όπου ο χρόνος και οι πόροι το επιτρέπουν. Οι συσκευές αυτές χρειάζονται ακριβείς βαθμονομήσεις και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται από έμπειρους χειριστές. Οι χωροβάτες χρησιμοποιούνται μαζί με ράβδους για τη μέτρηση του ύψους πτώσης σε μια σειρά από βαθμίδες. Ένας χωροβάτης είναι μια συσκευή που επιτρέπει στο χειριστή της να βλέπει την ράβδο που κρατάει ένας συνάδελφός του, γνωρίζοντας ότι η οπτική γραμμή είναι ακριβώς οριζόντια. Οι βαθμίδες συνήθως περιορίζονται από το μήκος της ράβδου σε μια μεταβολή του ύψους (συνήθως όχι περισσότερο από 3 m). Είναι αναγκαία η ύπαρξη ανεμπόδιστης θέας, οπότε θέσεις με μεγάλη βλάστηση είναι δύσκολο γενικά να εκτιμηθούν με αυτή τη μέθοδο. Οι χωροβάτες επιτρέπουν μόνο την οριζόντια θέαση, ενώ ο θεοδόλιχος μπορεί επίσης να μετρήσει κάθετες και οριζόντιες γωνίες, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία και επιτρέποντας την ταχύτερη ολοκλήρωση της εργασίας.



Κλισιόμετρα: Τα φορητά κλισιόμετρα μετρούν την γωνία κλίσης μιας πλαγιάς (αυτά ονομάζονται και εγκλισιόμετρα). Είναι όργανα μικρά και συμπαγή, και μερικές φορές περιλαμβάνουν ένα αποστασιόμετρο που εξαλείφει το πρόβλημα της μέτρησης της γραμμικής απόστασης. Το σφάλμα στην εκτίμηση κυμαίνεται κατά κανόνα μεταξύ 2 και 10%, ανάλογα με την δεξιότητα του χρήστη.

Σωλήνας με νερό και μανόμετρο: Αυτή είναι πιθανώς μία από τις απλούστερες μεθόδους για τη μέτρηση του ύψους πτώσης, αλλά παρουσιάζει ορισμένες αδυναμίες. Οι δύο κύριες πηγές των

σφαλμάτων που πρέπει (και μπορούν) να αποφευχθούν είναι τα όργανα που έχει χαλάσει η βαθμονόμησή τους και οι φυσαλίδες του αέρα στον σωλήνα. Για την αποφυγή του πρώτου λάθους, το όργανο θα πρέπει να επαναβαθμονομείται τόσο πριν όσο και μετά από κάθε σημαντική επιτόπια μελέτη. Για την αποφυγή του δεύτερου, θα πρέπει να χρησιμοποιείται διαφανής πλαστικός σωλήνας έτσι ώστε οι φυσαλίδες να είναι ορατές. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μεγάλα όσο και σε μικρά ύψη πτώσης, αν και η επιλογή του μανόμετρου εξαρτάται από το ύψος που πρέπει να μετρηθεί.

Σωλήνας γεμάτος με νερό και ράβδος: Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για θέσεις μικρού ύψους πτώσης. Είναι φθηνή, αρκετά ακριβής και δεν έχουν αναφερθεί συχνά λάθος αποτελέσματα. Πρέπει να γίνουν δύο ή τρεις ξεχωριστές προσπάθειες για να εξασφαλιστεί ότι τα τελικά αποτελέσματα είναι συνεπή και αξιόπιστα. Επιπλέον, τα αποτελέσματα μπορούν επίσης να διασταυρωθούν με μετρήσεις που έγιναν με άλλη μέθοδο, για παράδειγμα με το σωλήνα νερού και το μανόμετρο.

Αλφάδι και σανίδα: Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια κατά βάση με την μέθοδο του γεμάτου με νερό σωλήνα και τη ράβδο. Στη μέθοδο αυτή, ένα αλφάδι τοποθετείται σε μία επίπεδη ξύλινη σανίδα και δημιουργείται έτσι η οριζόντια κατόπτρευση. Σε ομαλές κλίσεις η μέθοδος αυτή τείνει να είναι πολύ αργή, αλλά είναι χρήσιμη στις απότομες κλίσεις. Με τη λήψη δύο μετρήσεων σε κάθε βήμα (σημαδεύοντας στην άκρη της σανίδας και γυρίζοντάς την) μηδενίζονται τα σφάλματα. Το σφάλμα κυμαίνεται γενικά γύρω στο 2%.

Χάρτες: Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα για της εκτιμήσεις σε περιφερειακό επίπεδο, οι χάρτες μεγάλης κλίμακας χρησιμεύουν για να δίνουν ενδεικτικές τιμές για το ύψος πτώσης, αλλά δεν είναι πάντα διαθέσιμοι ή δεν είναι εντελώς αξιόπιστοι. Για θέσεις με μεγάλο ύψος πτώσης (> 100 μ.) οι χάρτες με κλίμακα 1:50.000 είναι χρήσιμοι για τις προμελέτες σκοπιμότητας και είναι γενικά διαθέσιμοι.

Ραδιοϋψίμετρα: Τα ραδιοϋψίμετρα είναι αρκετά χρήσιμα για τη διεξαγωγή προκαταρκτικών μελετών σκοπιμότητας σε περιοχές με υψηλό ύψος πτώσης. Τα τοπογραφικά ραδιοϋψίμετρα δίνουν γενικά πολύ μικρά σφάλματα, μέχρι 3% στα 100 m. Πάντως, πρέπει να επιτρέπονται οι διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης, οπότε αυτή η μέθοδος δεν συστήνεται γενικώς, εκτός από τις περιπτώσεις που χρειάζεται να ληφθούν προσεγγιστικές τιμές (προκαταρκτικές μελέτες σκοπιμότητας).

4.3.2 Μέτρηση της παροχής

Ο σκοπός μιας υδρολογικής μελέτης είναι η πρόβλεψη της διακύμανσης της ροής κατά τη διάρκεια του έτους. Δεδομένου ότι η ροή διαφέρει από μέρα σε μέρα, μία μοναδική μέτρηση έχει πολύ μικρή σημασία. Όταν δεν είναι διαθέσιμη οποιαδήποτε υδρολογική ανάλυση, θα πρέπει να στηθεί ένα σύστημα μακροπρόθεσμων μετρήσεων. Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιείται συχνά για την ενίσχυση της υδρολογικής προσέγγισης και είναι επίσης ο πιο αξιόπιστος τρόπος προσδιορισμού της πραγματικής ροής σε μία θέση. Μετρήσεις που γίνονται άπαξ είναι χρήσιμες μόνο στην περίπτωση που πρέπει να γίνει ένας δειγματοληπτικός έλεγχος των υδρολογικών προβλέψεων.

Οι τεχνικές μέτρησης της παροχής που μελετώνται εδώ είναι οι εξής:

- η μέθοδος του υδροφράκτη,
- η μέθοδος σταδιακού ελέγχου,
- η μέθοδος του Salt Gulp,
- η μέθοδος του κάδου,
- η μέθοδος του πλωτήρα,
- Ρευματογράφοι.

Υδροφράκτες μέτρησης: Ένας υδροφράκτης μέτρησης της ροής είναι ένα μικρό φράγμα με μια εγκοπή σε αυτό μέσω του οποίου διέρχεται όλο το νερό του υδατορεύματος. Η παροχή μπορεί να προσδιοριστεί από τη διαφορά ύψους μεταξύ της στάθμης του νερού ανάντη και του κάτω μέρους της εγκοπής. Για αξιόπιστα αποτελέσματα, η κορυφή του υδροφράκτη πρέπει να είναι απότομη και πρέπει να εμποδίζεται η συσσώρευση ιζημάτων πίσω από αυτόν.

Οι υδροφράκτες μπορούν να κατασκευαστούν από σκυρόδεμα, μέταλλο ή ακόμα και ξύλο, και πρέπει πάντοτε να είναι τοποθετημένοι σε ορθή γωνία σε σχέση με τη ροή του υδατορεύματος. Η τοποθέτηση του υδροφράκτη πρέπει να γίνεται σε ένα σημείο όπου το υδατόρευμα είναι ευθύ και απαλλαγμένο από δίνες. Στα ανάντη, η απόσταση μεταξύ του σημείου μέτρησης και της κορυφής του υδροφράκτη πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από το μέγιστο ύψος πτώσης που πρόκειται να μετρηθεί. Δεν πρέπει να υπάρχουν εμπόδια στη ροή κοντά στην εγκοπή και ο υδροφράκτης θα πρέπει να είναι άριστα στεγανοποιημένος ώστε να μην υπάρχουν διαρροές.

Υδροφράκτης μέτρησης με ορθογώνια εγκοπή: Για βραχυπρόθεσμες μετρήσεις ή μετρήσεις κατά την εποχή της ξηρασίας, χρησιμοποιούνται προσωρινοί υδροφράκτες (κατασκευαζόμενοι συνήθως από ξύλο) που στερεώνονται στις όχθες και τον πυθμένα του ποταμού. Είναι αναγκαίο να εκτιμηθεί το εύρος των παροχών που θα μετρηθούν πριν από τον υδροφράκτη, ώστε να εξασφαλιστεί η κατάλληλη διαστασιολόγηση της εγκοπής του. Η χρήση μόνιμων υδροφρακτών μπορεί να είναι μια χρήσιμη προσέγγιση για τα μικρά υδατορεύματα, αλλά για τα μεγαλύτερα προτιμάται η σταδιοποίηση των φραγμάτων.

Η μέθοδος Salt Gulp: Αυτή η μέθοδος μέτρησης της παροχής έχει προκύψει από τις μεθόδους μέτρησης της αραιώσης με ραδιοϊσότοπα που χρησιμοποιούνται για τα ποτάμια. Είναι σχετικά εύκολο να γίνουν αρκετά ακριβείς (με πιθανότητα λάθους μικρότερη από 7%) και αξιόπιστες μετρήσεις της ροής για ένα ευρύ φάσμα τύπων υδατορεύματος. Δίνει καλύτερα αποτελέσματα όσο πιο τυρβώδες είναι το υδατόρευμα. Με αυτήν την προσέγγιση, ένας επιτόπιος έλεγχος της ροής του ρεύματος μπορεί να γίνει σε λιγότερο από 10 λεπτά και με ελάχιστο εξοπλισμό.

Στο υδατόρευμα χύνεται ένας κάδος με νερό με πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε αλάτι. Το νέφος του αλμυρού νερού αρχίζει να απλώνεται στο ρεύμα ενώ ταξιδεύει κατάντη, και μετά από κάποια απόσταση θα έχει καταλάβει όλο το πλάτος του υδατορεύματος. Το νέφος θα έχει ένα μέτωπο με μικρή περιεκτικότητα σε αλάτι, το μεσαίο τμήμα του που έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε αλάτι, και ένα τμήμα που κινείται αργά και έχει και αυτό μικρή περιεκτικότητα σε αλάτι. Η αλατότητα του νερού μπορεί να μετρηθεί με έναν μετρητή ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Εάν η ροή είναι μικρή δεν θα αραιωθεί πολύ το αλάτι, οπότε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νέφους (η οποία είναι μεγαλύτερη όσο πιο αλμυρό είναι το νερό) θα είναι υψηλή. Ως εκ τούτου, οι χαμηλές ροές χαρακτηρίζονται από υψηλή αγωγιμότητα και το αντίστροφο.

Έτσι, η παροχή είναι αντιστρόφως ανάλογη του βαθμού αγωγιμότητας του νέφους. Το εν λόγω φαινόμενο υποθέτει ότι το νέφος περνά από το όργανο στον ίδιο χρόνο σε κάθε περίπτωση. Αλλά όσο πιο αργή είναι η ροή, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος που χρειάζεται το νέφος για να περάσει από το όργανο. Οπότε η ροή είναι και αντιστρόφως ανάλογη του χρόνου διέλευσης του νέφους. Ο εξοπλισμός που απαιτείται για τη μέτρηση της ροής με αυτή τη μέθοδο είναι ένας κάδος, μαγειρικό αλάτι, ένα θερμόμετρο και ένας μετρητής αγωγιμότητας (με εύρος 0-1000 mS).

Μέθοδος του κάδου: Η μέθοδος του κάδου είναι ο απλούστερος και ταχύτερος τρόπος για τη μέτρηση της ροής σε πολύ μικρά υδατορεύματα. Το σύνολο της ροής εκτρέπεται σε έναν κάδο ή ένα βαρέλι και καταγράφεται ο χρόνος που χρειάζεται για να γεμίσει το δοχείο. Η παροχή προκύπτει απλά διαιρώντας τον όγκο του δοχείου με τον χρόνο πλήρωσης. Χρησιμοποιώντας ένα βαρέλι πετρελαίου 200-λίτρων μπορούν να μετρηθούν ροές έως και 20 l/s. Ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι ένας κάδος / ένα βαρέλι και ένα χρονόμετρο.

Μέθοδος του πλωτήρα: Η αρχή όλων των μεθόδων ταχύτητας-επιφάνειας είναι ότι η παροχή (Q) είναι ίση με το γινόμενο της μέσης ταχύτητας (V) με την εγκάρσια διατομή (A). Μαθηματικά μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:

$$Q = V \times A$$

Η εγκάρσια διατομή της κοίτης ενός υδατορεύματος επιλέγεται έτσι ώστε να μην αλλάζει πάρα πολύ για μια ορισμένη απόσταση / μήκος του ρέματος (μπορεί κανείς να θεωρήσει επίσης μια μέση διατομή για ένα γνωστό μήκος του ρέματος - υπό την προϋπόθεση ότι η κοίτη δεν αλλάζει πάρα πολύ). Μια σειρά από πλωτήρες, κατά βάση κομμάτια ξύλου, χρονομετρούνται στη συνέχεια σε ορισμένο μήκος του υδατορεύματος. Η ταχύτητα της ροής προκύπτει ως ο μέσος όρος ενός μεγάλου αριθμού μετρήσεων ιχών των πλωτήρων. Αυτή η ταχύτητα πρέπει κατόπιν να μειωθεί κατά ένα διορθωτικό συντελεστή που υπολογίζει τη μέση ταχύτητα σε σχέση με την ταχύτητα στην επιφάνεια. Πολλαπλασιάζοντας την μέση διατομή με την διορθωμένη ταχύτητα ροής υπολογίζεται εν τέλει η παροχή όγκου του ποταμού.

Ρευματογράφοι: Αυτή η μέθοδος είναι πιο ακριβής από τη μέθοδο του πλωτήρα. Η μετρητική διάταξη αποτελείται από έναν άξονα με μία έλικα ή με περιστρεφόμενα κύπελλα που συνδέονται στο άκρο του. Η έλικα είναι ελεύθερη να περιστρέφεται και η ταχύτητα περιστροφής σχετίζεται με την ταχύτητα ροής. Ένας απλός μηχανικός μετρητής καταγράφει τον αριθμό στροφών της έλικας όταν τοποθετείται στο επιθυμητό βάθος. Από τον μέσο όρο των τιμών που λαμβάνονται ομοιόμορφα σε όλη την διατομή μπορεί να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα του υδατορεύματος.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΩΝ ΜΥΗ

5.1 Γενικές αρχές

Το *πειραματικό δυναμικό*, όπως καθορίζεται για τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, περιλαμβάνει τα επεξεργασμένα αποτελέσματα από επιτόπιες μετρήσεις των παροχών στα υδατορεύματα τα οποία χαρακτηρίζονται από εκμεταλλεύσιμες υδατικές ροές. Αυτές οι μετρήσεις είτε γίνονται για ειδικούς σκοπούς από εθνικούς/περιφερειακούς/τοπικούς φορείς που δραστηριοποιούνται στον τομέα των υδάτινων πόρων, είτε έχουν προέλθει από την επεξεργασία παλαιότερων μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν από άλλους εμπλεκόμενους φορείς.

Τα δεδομένα που περιλαμβάνονται στο πειραματικό δυναμικό αφορούν την *'καμπύλη διάρκειας ροής'* σε συγκεκριμένα σημεία των υδατορευμάτων. Με βάση τα στοιχεία αυτών των μετρήσεων και με την χρήση ενός μοντέλου υδατορευμάτων, το οποίο προκύπτει από την επεξεργασία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους (όπως περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια της ενότητας αυτής), είναι δυνατή η πρόβλεψη των στοιχείων ροής ενός υδατορεύματος σε κάθε του σημείο.

Αυτό το τελευταίο συνιστά το *θεωρητικό δυναμικό* για τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα και είναι το βασικό δεδομένο για τους υπολογισμούς του τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού που ακολουθούν. Τα στοιχεία του θεωρητικού δυναμικού ενσωματώνονται στη βάση δεδομένων του συστήματος και παρέχουν την δυνατότητα αφενός της ανάκτησης και παρουσίασης των διαθέσιμων πληροφοριών (πρόβλεψη καμπύλης διάρκειας ροής, στοιχεία της τοπογραφίας και των χρήσεων γης) σε συγκεκριμένα σημεία των υδατορευμάτων, και αφετέρου της γενικότερης επισκόπησης του δυναμικού σε μεγάλα τμήματα των υδατορευμάτων υπό την μορφή θεματικών χαρτών αναπαράστασης.

Το *διαθέσιμο δυναμικό* διερευνάται με την επεξεργασία των παραπάνω στοιχείων και αφού υποβληθούν περιορισμοί που αφορούν εναλλακτικά:

- Νομικά/θεσμικά και περιβαλλοντικά θέματα (χωροταξικοί περιορισμοί, ελάχιστη απομένουσα ροή ποταμού),
- Γενικά τεχνικοοικονομικά ζητήματα (ελάχιστη παροχή, καθαρό ύψος πτώσης, εκτιμώμενη παραγωγή ισχύος, μήκος αγωγού προσαγωγής / μέγιστη απόσταση μεταξύ του σημείου υδροληψίας και του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής).

Το αποτέλεσμα της διερεύνησης αυτής είναι ο καθορισμός ζευγών σημείων (σημείο υδροληψίας - σταθμός ηλεκτροπαραγωγής) που ικανοποιούν τους περιορισμούς που έχουν τεθεί. Τα ζεύγη αυτά προσομοιώνουν υποθετικά έργα προς περαιτέρω διερεύνηση και αποτελούν τα δεδομένα για τα επόμενα βήματα της εκτίμησης του τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού.

Για την εκτίμηση του *τεχνολογικού δυναμικού*, το σύστημα προσομοιώνει την επιλογή και την λειτουργία υποθετικών υδροστροβίλων με τη χρήση αλγορίθμων προκειμένου να υπολογιστούν (για όλα τα υποψήφια έργα που αποτελούν το διαθέσιμο δυναμικό) τα εξής:

- ο τύπος του υδροστρόβιλου και η βέλτιστη εγκατεστημένη ισχύς,
- η παραγόμενη ενέργεια,
- οι συντελεστές χρησιμοποίησης του υδροστρόβιλου και της διαθέσιμης παροχής του νερού, ενώ στη συνέχεια γίνεται μία αρχική εκτίμηση των αντίστοιχων επενδύσεων και των στοιχείων οικονομικότητας των υποθετικών έργων, υπολογίζοντας:
 - το κόστος εγκατάστασης,
 - τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης,
 - το κόστος παραγωγής της ενέργειας (εκφραζόμενο σε € / kWh),
 - ορισμένους βασικούς δείκτες κερδοφορίας της επένδυσης (εσωτερικός βαθμός απόδοσης, καθαρή παρούσα αξία).

Ως αποτέλεσμα, το σύστημα προτείνει κάποια τμήματα των υδατορευμάτων στα οποία μπορούν να εγκατασταθούν μικρά υδροηλεκτρικά έργα με βέλτιστη ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα.

5.2 Περιγραφή της γεωγραφικής βάσης δεδομένων του συστήματος

Η βάση δεδομένων του συστήματος αποτελεί μια κεντρική δεξαμενή πληροφοριών απ' όπου αντλούνται στοιχεία είτε για άμεση ανάκτηση και απλή επεξεργασία τους είτε για να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία από πιο σύνθετα υπολογιστικά μοντέλα. Ανάλογα με το πληροφοριακό τους περιεχόμενο, τα στοιχεία της βάσης δεδομένων ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

Δεδομένα του θεωρητικού δυναμικού τα οποία περιλαμβάνουν δεδομένα για την γεωγραφική διασπορά του δυναμικού των μικρών υδροηλεκτρικών.

Γενικά γεωγραφικά δεδομένα αναφοράς, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα υπάρχοντα βασικά γεωγραφικά υπόβαθρα του φυσικού περιβάλλοντος, των υποδομών και των χρήσεων γης.

Τοπολογικά στοιχεία και ιδιότητες των ηλεκτρικών δικτύων, τα οποία αφορούν το ηλεκτρικό δίκτυο υψηλής και μέσης τάσης.

Περιγραφικά δεδομένα της τεχνολογίας, τα οποία αναφέρονται στα βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία της τεχνολογίας των ΜΥΗ.

Σε σχέση με το είδος τους, τα στοιχεία της βάσης δεδομένων διακρίνονται σε:

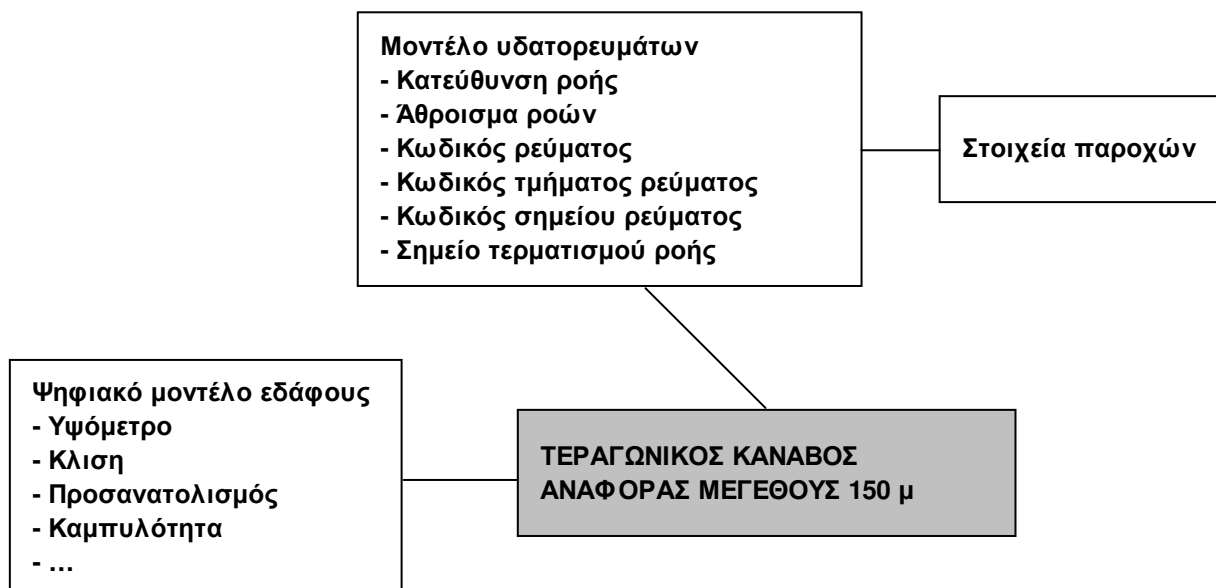
- ⇒ δεδομένα που αναπαριστούν χωρικά αντικείμενα (όπως οδικό δίκτυο, κάλυψη γης, ...),
- ⇒ δεδομένα (περιγραφικά ή αριθμητικά) τα οποία έχουν έναν ιδιαίτερο χωρικό χαρακτήρα και συνδέονται με τα στοιχεία της πρώτης κατηγορίας (όπως τιμές των παροχών...),
- ⇒ άλλα δεδομένα που μπορεί να τα διαχειριστεί η σχεσιακή βάση δεδομένων.

Τα στοιχεία της πρώτης κατηγορίας οργανώνονται στην γεωγραφική βάση δεδομένων του συστήματος με τις παρακάτω τρεις μορφές:

- Σε μορφή πλέγματος (ψηφιδωτό ή κανάβος)
- Σε διανυσματική μορφή (vector)
- Σε μορφή δικτύου (network).

Η επιλογή της μορφής απεικόνισης/αναπαράστασης στηρίζεται αφενός στον τύπο κάθε ομάδας δεδομένων, και αφετέρου στα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα που έχει κάθε μορφή έναντι των άλλων. Τα στοιχεία που έχουν καταχωρηθεί σε μορφή κανάβου σχετίζονται πιο αποτελεσματικά με άλλα θεματικά επίπεδα, είναι πιο "γρήγορα" στην ενημέρωση αλλά "χάνουν" σε ακρίβεια απεικόνισης. Αυτό συμβαίνει διότι τα δεδομένα καταχωρούνται σε πινακοποιημένη μορφή ενός τετραγώνου (κελιού) οπότε οι μετέπειτα επεξεργασίες, όσο σύνθετες και να είναι, μεταφράζονται σε απλές ή σύνθετες πράξεις ανάμεσα σε πίνακες.

Συνήθως η μορφή κανάβου χρησιμοποιείται για την καταχώρηση αρχείων στα οποία η ακρίβεια απεικόνισης δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα στο στάδιο της επεξεργασίας και ανάλυσής τους. Το σύνολο των δεδομένων του δυναμικού των ΜΥΗ καταχωρείται στην μορφή αυτή με τη χρήση ενός κοινού τετραγωνικού κανάβου (πλέγματος) αναφοράς, ο οποίος έχει ως βάση του το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (στην περίπτωση των ΜΥΗ, τα στοιχεία παροχών σε τοπολογικά μοντέλα υδατορευμάτων). Το Σχήμα 6 δίνει μία αναλυτική εικόνα των ψηφιδωτών μοντέλων που χρησιμοποιούνται.



Σχήμα 6: Τα ψηφιδωτά μοντέλα που χρησιμοποιούνται από την μέθοδο του ΚΑΠΕ για τον υπολογισμό του δυναμικού των ΜΥΗ

Η διανυσματική (vector) μορφή και η μορφή δικτύου χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις αρχείων όπου είναι πολύ σημαντική η ακρίβεια καταχώρησης και απεικόνισης της πληροφορίας, είτε προκειμένου να διασφαλιστεί η εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων (μέτρηση αποστάσεων υποθετικών εγκαταστάσεων από δρόμους ή ενεργειακά δίκτυα), είτε επειδή υπάρχει ανάγκη ακριβούς χαρτογραφικής απεικόνισης αυτών. Μερικές επεξηγήσεις που είναι αναγκαίες για τις παραπάνω μεταβλητές (βλ. Σχήμα 6) παρέχονται στη συνέχεια.

Η κατεύθυνση της ροής προσδιορίζει την διεύθυνση της ροής σε κάθε τετράγωνο. Αυτό σημαίνει ότι, διαβάζοντας αυτήν την πληροφορία, μπορεί κανείς να καταλάβει σε ποιο από τα γειτονικά τετράγωνα θα κατευθυνθεί μία υποθετική παροχή νερού (π.χ. βροχόπτωση). Η κατεύθυνση της ροής υπολογίζεται βρίσκοντας το μεγαλύτερο ύψος πτώσης για κάθε γειτονικό του εξεταζόμενου τετράγωνο. Το ύψος πτώσης υπολογίζεται ως:

$$\text{Ύψος πτώσης} = \frac{(\text{Διαφορά ύψους μεταξύ του εξεταζόμενου και του γειτονικού τετραγώνου}) * 100}{\text{Απόσταση μεταξύ των κέντρων των τετραγώνων}}$$

Το μέγεθος αυτό χρησιμοποιείται ως βασικό δεδομένο για την εκτίμηση του αθροίσματος των ροών.

Το άθροισμα των ροών καθορίζει για κάθε κελί από πόσα άλλα κελιά δέχεται νερό αυτό. Με το άθροισμα των ροών μπορεί να γίνει ο εντοπισμός των ποταμών της υπό εξέταση περιοχής. Αυτό γίνεται επιλέγοντας μία συγκεκριμένη τιμή η οποία θα είναι η ελάχιστη τιμή που μπορεί να έχει ένα κελί προκειμένου να ανήκει στο υδατικό δίκτυο της περιοχής. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί η τάξη του υδατορεύματος, καθώς και για να υπολογισθεί η παροχή κάθε ρέματος.

Στον Πίνακα 3 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά επίπεδα της γεωγραφικής βάσης δεδομένων που οργανώνονται σε διανυσματική δομή.

Πίνακας 3: Τα βασικά επίπεδα της γεωγραφικής βάσης δεδομένων που οργανώνονται σε διανυσματική δομή και η χρήση αυτών

ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	ΔΟΜΗ	ΧΡΗΣΗ
ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗ Ακολουθείται η ταξινόμηση 'CORINE'	Διανυσματική, κανάβου	Έλεγχος περιβαλλοντικών περιορισμών για την εγκατάσταση ΜΥΗ
ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΜΕΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ - Περιοχές προστασίας Natura - Αρχαιολογικοί χώροι - Γενικά Πολεοδομικά σχέδια - Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου - Βιομηχανικές περιοχές	Διανυσματική	Έλεγχος περιβαλλοντικών περιορισμών για την εγκατάσταση ΜΥΗ
ΣΗΜΕΙΑ ΟΙΚΙΣΜΩΝ	Διανυσματική	Έλεγχος περιβαλλοντικών περιορισμών για την εγκατάσταση ΜΥΕ
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	Διανυσματική, δικτύου	Καταχώρηση μετρήσεων παροχών των υδατορευμάτων
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	Διανυσματική	Υπολογισμός αποστάσεων και έργων επέκτασης για πιθανές εγκαταστάσεις.
ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ – ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	Διανυσματική, δικτύου	Έλεγχος παραμέτρων σύνδεσης, υπολογισμός κόστους σύνδεσης
ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΥΨΟΥΣ	Διανυσματική	Απεικόνιση ανάγλυφου εδάφους
ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΔΙΑΙΡΕΣΗ (δημοτικά διαμερίσματα)	Διανυσματική	Για λόγους τοπικού χωροταξικού σχεδιασμού

5.3 Μεθοδολογική προσέγγιση υπολογισμού του εκμεταλλεύσιμου δυναμικού των Μικρών Υδροηλεκτρικών

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά οι προδιαγραφές των μοντέλων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την σχεδίαση και ανάπτυξη του λογισμικού εκτίμησης του τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού των μικρών υδροηλεκτρικών (ΜΗΥ). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα μοντέλα που παρουσιάζονται εδώ έχουν ενσωματωθεί σε ένα λογισμικό που έχει αναπτυχθεί με την μορφή βιβλιοθηκών. Οι εν λόγω βιβλιοθήκες χρησιμοποιούνται από το πληροφοριακό σύστημα για την διερεύνηση σεναρίων αξιοποίησης του δυναμικού των ΜΥΗ.

5.3.1 Μοντέλο δεδομένων υδατορευμάτων

Τα υδατορεύματα και οι σχετικές με αυτά πληροφορίες (υδρολογικές λεκάνες απορροής, παροχές, κλπ.) μπορούν να προσομοιωθούν με την βοήθεια δύο διαφορετικών μοντέλων.

Κατ' αρχήν υπάρχει ο *διανυσματικός τρόπος απεικόνισης*, σύμφωνα με τον οποίο ένα υδατό-ρευμα αποτελείται από ένα δίκτυο γραμμικών τμημάτων (segments) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τοπολογικές σχέσεις (τάξη τμήματος, κόμβος σύνδεσης τμημάτων, προηγούμενο και επόμενο τμήμα, κλπ.). Με βάση αυτόν τον τρόπο:

- όλες οι πληροφορίες που αφορούν το προς εξέταση ρεύμα (μετρημένα ή υπολογισμένα στοιχεία παροχών, στοιχεία αναγλύφου όπως το υψόμετρο, ο προσανατολισμός και η κλίση, κλπ.) καταχωρούνται ως στοιχεία τμημάτων ή κόμβων, τα οποία ψηφιοποιούνται από τους αντίστοιχους χάρτες,
- οι λεκάνες απορροής σε συγκεκριμένα σημεία του ρεύματος αποτελούν πολύγωνα τα οποία ψηφιοποιούνται με τον ίδιο τρόπο που ψηφιοποιούνται και τα υδατορεύματα, οπότε όλα τα στοιχεία αυτών των λεκανών καταχωρούνται ως στοιχεία αυτών των πολυγώνων.

Ως συγκριτικό πλεονέκτημα του διανυσματικού τρόπου απεικόνισης θεωρείται η γεωγραφική ακρίβεια των καταχωρούμενων στοιχείων. Από την άλλη, βασικά μειονεκτήματά του αποτελούν τόσο η χρονοβόρα διαδικασία της εισαγωγής και οργάνωσης των απαραίτητων δεδομένων όσο και η 'βραδύτητα' στην εκτέλεση υπολογισμών ανάλυσης (ειδικότερα στην περίπτωση του υπολογισμού και της αξιοποίησης στοιχείων που αφορούν τις λεκάνες απορροής και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους).

Ο δεύτερος τρόπος οργάνωσης των στοιχείων των υδατορευμάτων συνίσταται στη χρήση του *ψηφιδωτού τρόπου απεικόνισης*. Σύμφωνα με αυτόν, ο χώρος υποδιαιρείται σε κανονικά μοναδιαία τμήματα (κελιά) και όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες καταχωρούνται σε αυτά τα κελιά. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, ένα υδατόρευμα αποτελείται από ένα σύνολο τέτοιων τμημάτων κελιών τα οποία διακρίνονται από τα γειτονικά τους μόνο από το γεγονός ότι αποτελούν τμήματα ενός ρεύματος (λαμβάνοντας την τιμή 1, ενώ τα υπόλοιπα χαρακτηρίζονται από την τιμή 0).

Είναι προφανές ότι ο παραπάνω τρόπος δεν εγγυάται την ακριβή γεωγραφική απεικόνιση των στοιχείων του υδατορεύματος, όπως και ότι δεν υλοποιεί με ευκολία τις τοπολογικές σχέσεις ανάμεσα στα στοιχεία του υδατορεύματος (κόμβοι, τμήματα, λεκάνες απορροής). Από την άλλη μεριά όμως, η απλότητα του μοντέλου αυτού εγγυάται την απεριόριστη δυνατότητα ανάλυσης, εφόσον βέβαια τα δύο βασικά προβλήματα (τα σχετικά με την ακρίβεια και την τοπολογία) έχουν ξεπεραστεί.

Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού των μικρών υδροηλεκτρικών βασίζεται στην συνεχή εφαρμογή υπολογισμών και την υλοποίηση αλγορίθμων που λαμβάνουν υπόψη τους, εκτός των άλλων, τα γεωγραφικά και τοπολογικά δεδομένα. Βάσει της αρχικής θεώρησης ότι η δυνατότητα της επεξεργασίας των παραπάνω στοιχείων είναι σημαντικότερη από την γεωγραφική τους ακρίβεια, επιλέχθηκε για την συνέχεια της μοντελοποίησης το *ψηφιδωτό μοντέλο οργάνωσης*.

Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται:

- τα στοιχεία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε σχέση με τα στοιχεία των υδατορευμάτων, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα μοντέλα στοιχείων των υδατορευμάτων προκύπτουν από επαναληπτική επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, καθώς και η
- μέθοδος υλοποίησης του συνολικού τοπολογικού μοντέλου υδατορεύματος.

5.3.2 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους και υδατορεύματα

Τα στοιχεία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM) διαχωρίζονται σε:

- Υψομετρικά στοιχεία που προκύπτουν απευθείας από μετρητικές μεθόδους [υψόμετρο – z].
- Μορφολογικά στοιχεία που προκύπτουν από επεξεργασία των υψομετρικών στοιχείων:
 - [κλίση- slope – sl]¹
 - [προσανατολισμός- aspect- as]
 - [καμπυλότητα κλίσης- profile curvature – prfcv]²
 - [καμπυλότητα προσανατολισμού- planform curvature – plncv]³
- Στοιχεία του υδρογραφικού δικτύου που προκύπτουν από επεξεργασία των υψομετρικών στοιχείων
 - [κατεύθυνση ροής – flow direction – fd]
 - [άθροισμα ροών – flow accumulation – fd]

Η *κατεύθυνση της ροής* προσδιορίζει την κατεύθυνση της μέγιστης κλίσης ενός συγκεκριμένου σημείου (λαμβάνοντας υπόψη τις 8 διευθύνσεις των γειτονικών κελιών). Στη συνέχεια, το *άθροισμα των ροών* προσδιορίζει τον αριθμό των κελιών τα οποία “κατευθύνονται” προς το συγκεκριμένο κελί. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι η παράμετρος αυτή εμμέσως προσδιορίζει και υδρολογικά την επιφάνεια της ζώνης απορροής για κάθε σημείο, αφού

Επιφάνεια ζώνης απορροής = άθροισμα ροών X επιφάνεια κελιού

Είναι προφανές ότι όλα τα κελιά με μηδενική τιμή αθροίσματος ροής αποτελούν προεξοχές, ενώ τα κελιά με μεγάλη τιμή αθροίσματος ροής αποτελούν κοίτες.

5.3.3 Τοπολογικό μοντέλο υδατορεύματος

Όπως φάνηκε και στο προηγούμενο πεδίο, το μοντέλο δεδομένων ενός υδατορεύματος ορίζεται ως ένα σύνολο από σημεία που αποτελούν με τη σειρά τους υποσύνολο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους αναφοράς. Αυτό που δεν καθορίζεται από το εν λόγω μοντέλο όμως είναι οι τοπολογικές σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στα στοιχεία κάθε υδατορεύματος. Για να εκφραστούν αυτές οι τοπολογικές σχέσεις αρκεί να καθοριστούν για κάθε ρεύμα τα ακόλουθα:

- Τα ξεχωριστά τμήματα⁴ (segments) που το απαρτίζουν.
- Η τάξη κάθε τμήματος⁵.
- Η θέση αυτού του τμήματος στο υδρογραφικό δέντρο.
- Η θέση κάθε σημείου μέσα στο τμήμα που ανήκει.

Προκειμένου να εκφραστούν οι σχέσεις αυτές (συνεπώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ροής του υδατορεύματος) εισάγονται τρεις νέες πληροφορίες σε κάθε κελί που αποτελεί στοιχείο ενός υδατορεύματος. Αυτά τα τρία νέα χαρακτηριστικά είναι:

¹ Πρώτη παράγωγος υψομέτρου

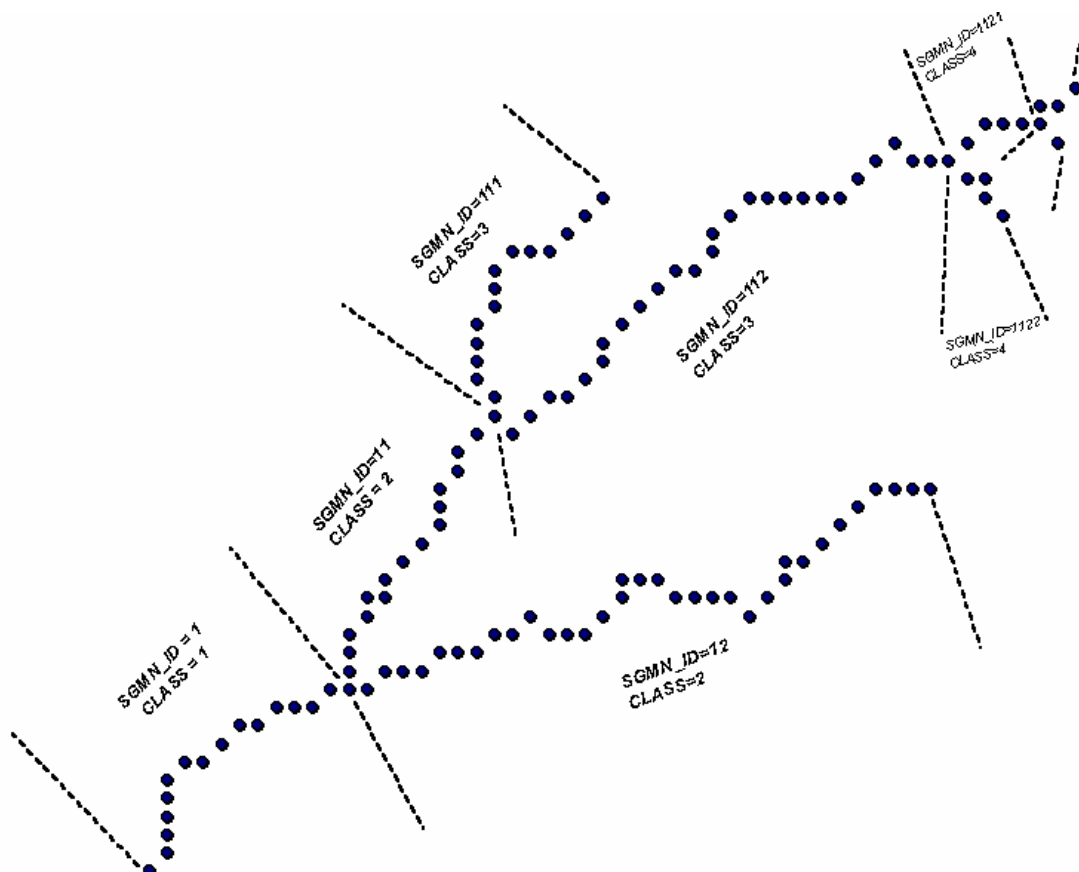
² Δεύτερη παράγωγος υψομέτρου

³ Πρώτη παράγωγος προσανατολισμού

⁴ Σαν τμήμα ορίζεται το διάστημα ροής από έναν κόμβο συμβολής σε έναν άλλο

⁵ Θεωρείται ότι το τελευταίο τμήμα (εκβολές) ενός υδατορεύματος είναι πρώτης τάξης και σε κάθε διακλάδωση ανεβαίνει η τάξη κατά ένα.

- ο κωδικός που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο υδρογραφικό σύστημα (δέντρο) [RV_ID] στο οποίο ανήκει το σημείο (κελί),
- ο κωδικός που χαρακτηρίζει το τμήμα (segment) που ανήκει το κελί [SGMN_ID] (βλεπε Σχήμα 7),
- ο αύξων αριθμός του κελιού μέσα στο τμήμα (segment) στο οποίο ανήκει [PNT_SN], με την ανοδική κατεύθυνση αντίθετη στην φορά της ροής.



Σχήμα 7: Απεικόνιση του τοπολογικού μοντέλου υδατορεύματος

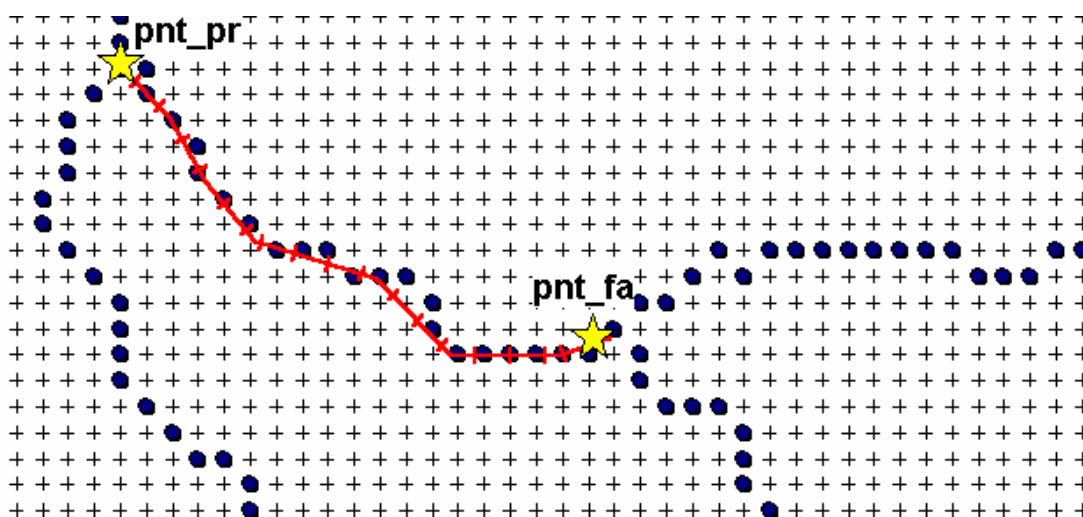
Ο κωδικός που χαρακτηρίζει το τμήμα στο οποίο ανήκει το κελί είναι αυτός που καθορίζει και το πιο σημαντικό τοπολογικό χαρακτηριστικό του ρεύματος και δημιουργεί - με έμμεσο τρόπο - την τοπολογία δικτύου – δένδρου του υδατορεύματος. Η κωδικοποίηση παρουσιάζεται καθαρά στο σχήμα 7, και σύμφωνα με αυτήν ορίζονται τόσο η τάξη κάθε τμήματος όσο και το προηγούμενό του τμήμα με απλές μαθηματικές σχέσεις, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Ένα υδρολογικό δέντρο έχει βέβαια και τους περιορισμούς του, οι οποίοι και θα πρέπει να λαμβάνονται κάθε φορά υπόψη. Οι παραπάνω περιορισμοί αφορούν

- Στην απόκλιση που παρουσιάζεται ανάμεσα στην χαρτογραφική απεικόνιση των ρευμάτων και στην απεικόνισή τους με βάση το μοντέλο που περιγράφηκε προηγουμένως. Η απόκλιση αυτή είναι σημαντικότερη στα κατόντη των ρευμάτων παρά στα ανάντη και οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι σε μικρές κλίσεις η ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους δεν δίνει πάντα αξιόπιστα αποτελέσματα, και αφετέρου σε σφάλματα που προκύπτουν κατά την δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM).

- Στην αδυναμία της κωδικοποίησης να εκφράσει επαρκώς κάποιες δομές (δέλτα και βρόχους ροής).

Βασικό σημείο για την έρευνα του απολήψιμου δυναμικού σε ένα υδατόρευμα είναι η υλοποίηση της έννοιας της γραμμής ροής (flow path), στον βαθμό που τα στοιχεία ενός υποθετικού έργου περιλαμβάνουν ένα σημείο απόληξης (pnt_fa) καθώς και ένα σημείο έργου (pnt_pr), με την μεσολάβηση βέβαια του αγωγού προσαγωγής ο οποίος θεωρείται ότι ακολουθεί την όδευση της γραμμής ροής (βλ. Σχήμα 8).



Σχήμα 8: Η διαδρομή του υδατορεύματος

Με βάση τις τοπολογικές σχέσεις που μόλις περιγράφηκαν μπορούν να εξαχθούν οι παρακάτω πληροφορίες:

- ποια είναι τα ανάντη και κατόντη σημεία ενός επιλεγμένου σημείου,
- εάν δύο σημεία (κελιά) ανήκουν στο ίδιο path (γραμμή ροής),
- ποια είναι τα σημεία (κελιά) μιας γραμμής ροής κατά την φορά της ροής,
- ποιο είναι το μήκος μιας γραμμής ροής.

Άλλα στοιχεία ενδιαφέροντος που προκύπτουν από την ανάλυση είναι:

- η μηκοτομή μιας γραμμής ροής ή ενός οποιουδήποτε τμήματός της,
- η ταξινόμηση των τμημάτων μιας γραμμής ροής ή ενός οποιουδήποτε άλλου τμήματος σε σχέση με την κλίση και την κατεύθυνση,
- ο συνδυασμός οποιασδήποτε άλλης γεωγραφικής πληροφορίας (πρωτογενούς ή υπολογιζόμενης) που μπορεί να είναι χρήσιμη (χρήσεις γης, αποστάσεις από σημεία ή γραμμές, κλπ).

Τέλος, ορισμένοι χρήσιμοι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται επιπλέον αποσκοπούν:

- στην εύρεση των κελιών που συνιστούν την λεκάνη απορροής ενός δοθέντος σημείου,
- στην κωδικοποίηση των σημείων ενός υδατορεύματος.

5.3.4 Παραγωγή ενέργειας από μικρά υδροηλεκτρικά έργα

Μια υποψήφια θέση για την κατασκευή ενός μικρού υδροηλεκτρικού ορίζεται από την *θέση της υδροληψίας και την θέση κατασκευής του υδροηλεκτρικού σταθμού* (ΥΗΣ) κατά μήκος ενός υδατορεύματος. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο αυτών θέσεων είναι το *υδραυλικό ύψος πτώσης* (h).

Για την αξιολόγηση μιας θέσεως υποψήφιας για την εγκατάσταση ενός μικρού ΥΗΣ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα χαρακτηριστικά των ΥΗΣ:

- Η *έντονη διακύμανση της φυσικής απορροής* του υδατορεύματος ανάλογα με τις εποχές του έτους, ή ακόμη και μεταξύ υγρών και ξηρών υδρολογικών ετών. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο στα υδατορεύματα του Ελληνικού χώρου και ειδικότερα στα μικρού μεγέθους υδατορεύματα.
- Η *ποικιλία των υδροστροβίλων*. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένα, κάθε τύπος από τους διαθέσιμους υδροστροβίλους είναι κατάλληλος για μία περιοχή του διαθέσιμου ονομαστικού υδραυλικού ύψους πτώσης (h) και της ονομαστικής παροχής Q_r , έχει διαφορετικό εύρος λειτουργίας, διαφορετική καμπύλη του βαθμού απόδοσης, της οποίας το μέγιστο εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ του υδροστροβίλου, διαφορετικό μέγεθος και διαφορετικό κόστος.

Τα μικρά ΥΗΕ έχουν μία επιπλέον ιδιομορφία σε σχέση με τα μεγάλα, ότι κατά κανόνα δεν διαθέτουν ανάντη ταμιευτήρα μεγάλης χωρητικότητας για λόγους οικονομικούς. Σημειώνεται ότι τα μεγάλα ΥΗΕ (εκτός από αυτά που διαμορφώνονται κατά τον ρου μεγάλων ποταμών) εξοπλίζονται με ένα μεγάλο φράγμα το οποίο σχηματίζει μεγάλης χωρητικότητας ταμιευτήρα. Με τον τρόπο αυτό αποσυνδέεται η φυσική απορροή του υδατορεύματος από την παροχή που μπορούν να αξιοποιήσουν οι υδροστροβίλοι, καθώς ο κύριος σκοπός των μεγάλων ΥΗΕ είναι η κάλυψη των αιχμών του διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού δικτύου.

Τα μικρά ΥΗΕ, λόγω της μικρής ισχύος τους, δεν μπορούν να συνεισφέρουν στην κάλυψη των αιχμών ενός μεγάλου διασυνδεδεμένου δικτύου και για τον λόγο αυτό ο σχηματισμός ενός ταμιευτήρα επιβαρύνει δυσανάλογα το κόστος τους χωρίς αντίστοιχο όφελος για την επένδυση. Για τους λόγους αυτούς ένα μικρό ΥΗΕ, ακόμη και όταν διαμορφώνεται με εκτροπή του υδατορεύματος, λειτουργεί ως ΥΗΕ ροής, δηλαδή καλείται να αξιοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την διαθέσιμη φυσική απορροή. Αυτός εξάλλου είναι και ο λόγος για τον οποίο η ανάλυση αξιολόγησης ενός μικρού ΥΗΕ γίνεται με την καμπύλη διάρκειας της ροής και όχι με την χρονοσειρά της φυσικής απορροής, καθώς το μικρό ΥΗΕ δεν έχει ταμιευτήρα παρά μόνο μια μικρή λεκάνη ο όγκος της οποίας εξασφαλίζει τις καλές συνθήκες εισόδου του νερού στα έργα προσαγωγής και ο οποίος αντιστοιχεί στην παροχή λίγων ωρών.

Έτσι, για την αξιολόγηση μιας υποψήφιας θέσης ενός ΜΥΗ έργου θα πρέπει να προηγηθεί μία παραμετρική ανάλυση των οικονομοτεχνικών χαρακτηριστικών του, από την οποία, σύμφωνα με ένα κριτήριο, θα επιλεγεί το βέλτιστο μέγεθος των υδροστροβίλων (ονομαστική παροχή και ονομαστική ισχύς) και ο βέλτιστος αριθμός των στροβίλων που θα πρέπει να εγκατασταθούν. Ως μεταβλητές παράμετροι της μεθοδολογίας ανάλυσης που αναπτύχθηκε θεωρούνται στο εξής η ονομαστική παροχή Q_r του υδροστροβίλου και το πλήθος των υδροστροβίλων.

Όλοι οι προαναφερθέντες λόγοι οδηγούν στο γεγονός ότι η ανάλυση του τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροηλεκτρικού δυναμικού πρέπει να γίνεται για κάθε υδατόρευμα ξεχωριστά. Για κάθε υδατόρευμα το σύστημα παρέχει πληροφορίες για:

- το θεωρητικό δυναμικό,
- το διαθέσιμο δυναμικό, και
- το τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό,

όπως περιγράφεται αναλυτικά στα επόμενα. Τα απαραίτητα πρωτογενή στοιχεία που εισάγονται στη βάση δεδομένων του συστήματος περιλαμβάνουν τα *γεωγραφικά δεδομένα* του υδατορεύματος (τοπολογικό υδρογραφικό δένδρο) και την *αντιπροσωπευτική καμπύλη διάρκειας ροής* σε κάποια (ή κάποιο) σημεία του υδρογραφικού δένδρου

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Ως θεωρητικό δυναμικό ορίζεται η συνολική δυναμική ενέργεια που είναι διαθέσιμη σε προεπιλεγμένους κόμβους του υδατορεύματος. Ως δεδομένα χρησιμοποιούνται:

- οι κόμβοι του υδατορεύματος,
- η ετήσια καμπύλη διάρκειας ροής σε ένα, τουλάχιστον, σημείο του υδατορεύματος,
- τα γεωγραφικά δεδομένα,

ενώ το σύστημα υπολογίζει:

- την ετήσια καμπύλη διάρκειας ροής σε κάθε κόμβο του υδατορεύματος, σύμφωνα με τον *νόμο των ίσων επιφανειών* (συνέχεια της ροής),
- τις υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κόμβων,
- τη δυναμική ενέργεια του νερού σε κάθε κλάδο του υδατορεύματος.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Κατά την επισκόπηση του διαθέσιμου δυναμικού ενός υδατορεύματος εισάγονται κάποια φίλτρα διαθεσιμότητας τα οποία εκφράζουν κάποιους περιορισμούς στην δυνατότητα αξιοποίησης του νερού. Σημαντική παράμετρο ως προς την διαθεσιμότητα ενός ποταμού αποτελούν οι άλλες, μη ενεργειακές χρήσεις του νερού (άρδευση, ύδρευση, κλπ.). Το σύστημα παρέχει επίσης στον χρήστη πληροφορίες για τους εμπλεκόμενους φορείς στα δικαιώματα χρήσης του νερού σε κάθε τμήμα (κλάδο) του υδατορεύματος.

Κάποιοι περιορισμοί που μπορούν να εισαχθούν από τον χρήστη αφορούν χονδρικούς κανόνες όσον αφορά στην προσβασιμότητα, τους τεχνικούς περιορισμούς και την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης ενός υδατορεύματος. Τέτοιοι περιορισμοί μπορεί να είναι:

- η απόσταση των κλάδων (ή κόμβων) του υδατορεύματος από δρόμους,
- η απόσταση των κλάδων (ή κόμβων) του υδατορεύματος από το ηλεκτρικό δίκτυο Μέσης Τάσης,
- η ελάχιστη υψομετρική διαφορά,
- η ελάχιστη μέση ετήσια παροχή,
- τα γεωγραφικά δεδομένα (π.χ. η ελάχιστη κλίση του αγωγού πτώσης, οι αποστάσεις, η ελάχιστη-μέγιστη υψομετρία, κλπ.),
- οι χρήσεις γης.

Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που τίθενται, το σύστημα καθορίζει τους κλάδους του υδατορεύματος που τους ικανοποιούν και, κατ' επέκταση, είναι διαθέσιμοι για εκμετάλλευση (εγκατάσταση ΜΥΗΣ).

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑ

Στην ενότητα αυτή γίνεται μια τεχνικο-οικονομική ανάλυση όλων των πιθανών έργων που είναι δυνατό να εγκατασταθούν στο υδατόρευμα. Για κάθε πιθανό ΜΥΗ έργο υπολογίζονται οι εξής παράμετροι:

- η αναμενόμενη ετήσια παραγόμενη ενέργεια,
- οι δείκτες οικονομικής αξιολόγησης του έργου.

Το σύστημα αξιολογεί τα έργα αυτά σύμφωνα με την ενεργειακή τους αποδοτικότητα και την οικονομική τους βιωσιμότητα και, στη συνέχεια, παρέχει πληροφορίες για:

- τα αποδοτικότερα από ενεργειακής ή οικονομικής απόψεως έργα,
- τα αποδοτικότερα ενεργειακά ή οικονομικά έργα που μπορούν να υλοποιηθούν ταυτόχρονα.

Στον χρήστη δίνεται επίσης η δυνατότητα ανάλυσης ενός συγκεκριμένου ΜΥΗ έργου που αυτός επιθυμεί και μπορεί να καθορίσει (π.χ. για δεδομένα σημεία υδροληψίας και θέσης του υδροστροβίλου). Η ταξινόμηση των έργων γίνεται με κριτήρια που καθορίζονται παραμετρικά, όπως είναι:

- η μέγιστη απολαβή ενέργειας,
- το ελάχιστο κόστος ενέργειας,
- το μέγιστο οικονομικό όφελος (βάσει της Καθαρής Παρούσας Αξίας),
- η μέγιστη αποδοτικότητα των κεφαλαίων (βάσει του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης),
- κάποια γενικά φίλτρα επιτρεπτών ζευγών κόμβων (εισαγωγή φίλτρων από το χρήστη, όπως προδιαγράφονται στην παράγραφο για το διαθέσιμο δυναμικό).

Δίνεται επίσης η δυνατότητα στο χρήστη να θέτει κάποιους χονδρικούς περιορισμούς για τα υπό εξέταση έργα (με σκοπό τη μείωση των εξεταζόμενων έργων και, αντίστοιχα, του χρόνου των υπολογισμών). Τέτοιοι περιορισμοί μπορεί να είναι:

- το μέγιστο μήκος του αγωγού πτώσης,
- η ελάχιστη υψομετρική διαφορά,
- η ελάχιστη μέση ετήσια παροχή,
- ο μέγιστος αριθμός των στροβίλων σε κάθε υδροηλεκτρικό σταθμό,
- γεωγραφικοί περιορισμοί (π.χ. ελάχιστη κλίση αγωγού πτώσης, αποστάσεις, ελάχιστη-μέγιστη υψομετρία κ.α.)

Με βάση τους παραπάνω περιορισμούς το σύστημα μπορεί να καθορίζει όλα τα πιθανά έργα για τα οποία ενεργοποιείται ο "αλγόριθμος υπολογισμού ανάλυσης ΜΥΗΕ", που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΜΥΗΕ

Ο αλγόριθμος ανάλυσης ενός ΜΥΗΕ αναλύει διεξοδικά ένα έργο για ένα συγκεκριμένο ζεύγος κόμβων (υδροληψία-υδροστροβίλος). Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι:

- Σημείο υδροληψίας - Σημείο εγκατάστασης στροβίλου.
- Γεωγραφικά δεδομένα.
- Ετήσια καμπύλη διάρκειας ροής στο σημείο υδροληψίας.
- Κριτήριο ταξινόμησης.

Σύμφωνα με την ακολουθούμενη μεθοδολογία, υπολογίζεται η ονομαστική παροχή του υδροστροβίλου για κάθε ζευγάρι κόμβων που βελτιστοποιεί το έργο, σύμφωνα με το τεθέν κριτήριο ταξινόμησης. Η βέλτιστη ονομαστική παροχή βρίσκεται με διαδοχικές δοκιμές, ξεκινώντας από μια τιμή αναφοράς Q_{ref} . Για κάθε τιμή της παροχής εκτελούνται επιμέρους αλγόριθμοι για τη διαστασιολόγηση του υδροηλεκτρικού έργου καθώς και για τον υπολογισμό της αναμενόμενης παραγωγής ενέργειας ετησίως, τον υπολογισμό του κόστους του έργου και τον υπολογισμό των οικονομικών δεικτών (κόστος παραγόμενης ενέργειας, εσωτερικός βαθμός απόδοσης, καθαρή παρούσα αξία, κλπ.)

6. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ

6.1 Προκαταρκτικές ενέργειες

6.1.1 Αναζήτηση επαγγελματικής βοήθειας

Κάθε άτομο που είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη ενός έργου θα πρέπει να αναζητήσει “ανεξάρτητες” (δηλ. από τρίτο πρόσωπο) επαγγελματικές συμβουλές πριν αποφασίσει να προχωρήσει στη δέσμευση σημαντικών κεφαλαίων στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου.

Η συμμετοχή των εμπειρογνομόνων στην ανάπτυξη ενός ΜΥΗ μπορεί να κυμαίνεται από την προκαταρκτική αξιολόγηση της περιοχής μέσω της διεξαγωγή μιας μελέτης σκοπιμότητας, μέχρι την παροχή υπηρεσιών με το «κλειδί στο χέρι», που αφορά κάθε πτυχή της ανάπτυξης ενός έργου. Επιπλέον, υπάρχουν αρκετές εταιρείες που μισθώνουν, αναπτύσσουν και λειτουργούν θέσεις ενδιαφέροντος ως επιχειρηματική δραστηριότητα, και μπορούν να παρέχουν ένα πλήρες πακέτο δεξιοτήτων καθώς και την αναγκαία χρηματοδότηση.

6.1.2 Προκαταρκτική αξιολόγηση της τοποθεσίας

Ένας έμπειρος επαγγελματίας θα πρέπει να είναι σε θέση να υποδείξει εάν μια περιοχή/θέση αξίζει να εξεταστεί περαιτέρω, βασιζόμενος σε μια αρχική επίσκεψη και συζητώντας με τον υπεύθυνο για την ανάπτυξη του έργου καθώς και με άλλα άτομα. Οι προκαταρκτικές έρευνες αυτού του τύπου απαιτούν συνήθως εργασία όχι μεγαλύτερη των 2-3 ημερών. Μια μικρή επένδυση σε αυτό το στάδιο θα μπορούσε να οδηγήσει στην εξοικονόμηση πολύ μεγαλύτερων δαπανών και στην αποφυγή πιθανών επιπλοκών αργότερα κατά το στάδιο της κατασκευής.

Τα κύρια ζητήματα που πρέπει να εξετάζονται σε μια προκαταρκτική έρευνα είναι τα εξής:

- Η ύπαρξη κατάλληλης υδατόπτωσης ή υδροφράκτη και τοποθεσίας για την εγκατάσταση του υδροστροβίλου.
- Η συνεχής ροή του νερού με ένα αξιοποιήσιμο ύψος πτώσης.

- Η πιθανή δυνατότητα για εκτροπή του νερού του ποταμού προς έναν υδροστρόβιλο.
- Η ευκολία πρόσβασης στην θέση όσον αφορά τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή.
- Η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια σε μικρή απόσταση από τον σταθμό, ή η προοπτική σύνδεσης στο δίκτυο με λογικό κόστος.
- Οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην γύρω περιοχή.
- Η ιδιοκτησία της γης ή / και η προοπτική της εξασφάλισης ή της ενοικίαση γης για το έργο με λογικό κόστος.
- Μια πρώτη ένδειξη της ισχύος σχεδιασμού και της ετήσιας παραγωγής ενέργειας.

Η ακρίβεια των πληροφοριών μπορεί να είναι της τάξης του συν/πλην 25%, ωστόσο θα πρέπει να είναι επαρκής για να αποφασιστεί εάν θα χρειαστεί να διεξαχθεί μια πιο λεπτομερής μελέτη σκοπιμότητας.

6.2 Μελέτη σκοπιμότητας

Μια μελέτη σκοπιμότητας χρησιμοποιεί ακριβή δεδομένα και εξετάζει προσεκτικά τα κόστη. Μπορεί να περιγράφει το σχέδιο από την αρχική ιδέα μέχρι την τελική σχεδίασή του και θα συνοδεύει τις αιτήσεις για χρηματοδότηση του έργου και τις απαραίτητες άδειες. Οπότε είναι φρόνιμο η εκπόνηση της μελέτης σκοπιμότητας και του λεπτομερούς σχεδιασμού να ανατίθεται πάντοτε σε έναν επαγγελματία του χώρου. Το κόστος μιας πλήρους μελέτης σκοπιμότητας που εκπονείται από έναν ανεξάρτητο σύμβουλο εξαρτάται από τον σκοπό της και τα ειδικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας, καθώς και από το ύψος της εκτιμώμενης επένδυσης.

Οι ακόλουθες βασικές εργασίες θα πρέπει να αποτελούν τα συστατικά στοιχεία μιας μελέτης σκοπιμότητας:

1. **Υδρολογική μελέτη.** Συνήθως, μια υδρολογική μελέτη θα παράγει μία καμπύλη διάρκειας της ροής. Αυτή θα βασίζεται σε μακροχρόνια στοιχεία για τις βροχοπτώσεις και / ή τη ροή, σε συνδυασμό με τη γνώση της γεωλογίας της λεκάνης απορροής και των τύπων του εδάφους. Αυτή η μακροχρόνια πληροφορία μπορεί να ενισχυθεί από μετρήσεις της ροής μικρής χρονικής διάρκειας. Η μελέτη θα πρέπει να περιλαμβάνει επίσης μία εκτίμηση της απαιτούμενης ροής αντιστάθμισης.
2. **Σχεδιασμός του συστήματος.** Αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνει την περιγραφή της γενικής διάταξης του έργου, συμπεριλαμβανομένου ενός σχεδίου που θα δείχνει την γενική διάταξη της θέσης. Θα πρέπει να περιγράφονται λεπτομερώς τα βασικότερα στοιχεία των εργασιών, που θα καλύπτουν:
 - ❖ τα έργα πολιτικού μηχανικού (υδροληψία, φράγμα, αγωγός πτώσης, κτήριο στρόβιλου, κανάλι υπερχειλίσης, πρόσβαση στην τοποθεσία, κατασκευαστικές λεπτομέρειες),
 - ❖ τον εξοπλισμό ηλεκτροπαραγωγής (στρόβιλος, κιβώτιο ταχυτήτων, γεννήτρια, σύστημα ελέγχου),
 - ❖ τη σύνδεση στο δίκτυο.
3. **Κοστολόγηση του συστήματος.** Μία σαφής κοστολόγηση του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνει μια λεπτομερή εκτίμηση του αρχικού κεφαλαίου που θα χρειαστεί για το έργο,

το οποίο χωρίζεται σε:

- ❖ κόστος των έργων πολιτικού μηχανικού,
- ❖ κόστος της σύνδεσης στο δίκτυο,
- ❖ κόστος του ηλεκτρο-μηχανικού εξοπλισμού,
- ❖ αμοιβές μηχανικού και έξοδα διαχείρισης του έργου.

4. **Εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας και των ετήσιων εσόδων.** Στο σημείο αυτό, και συνοψίζοντας τα βασικά δεδομένα (ροή του ποταμού, υδραυλικές απώλειες, ύψος πτώσης, αποδόσεις στροβίλων και μέθοδοι υπολογισμού), υπολογίζεται η απόδοση του συστήματος από την άποψη της μέγιστης δυναμικής ισχύος εξόδου (σε kW) και η μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh /έτος), η οποία μετατρέπεται σε ετήσια έσοδα (€ /έτος)

Μια πρόσθετη εργασία, η οποία μπορεί να αποτελεί μέρος της κύριας μελέτης σκοπιμότητας, αλλά συνήθως γίνεται χωριστά, είναι η αξιολόγηση των **περιβαλλοντικών επιπτώσεων** του συστήματος.

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

BFI (δείκτης βασικής ροής)	Η αναλογία κατά την οποία συμβάλλει η απορροή στην βασική ροή.
P.E.	Πολυαιθυλένιο.
SOIL	Μία παράμετρος διαπερατότητας.
Αγωγός φυγής	Ένας αγωγός γεμάτος νερό ο οποίος εκτείνεται από κάτω από τον στρόβιλο έως το ελάχιστο επίπεδο νερού του καναλιού διαφυγής
Αγωγός προσαγωγής	Ένας σωλήνας (συνήθως κατασκευαζόμενος από ατσάλι, σκυρόδεμα ή χυτοσίδηρο και καμιά φορά πλαστικό) μέσω του οποίου οδηγείται το νερό υπό πίεση από την δεξαμενή φόρτισης στον στρόβιλο.
Ανάδρομο ψάρι	Ψάρι (π.χ. σολωμός) το οποίο ανεβαίνει το ποτάμι (κολυμπά ανάποδα στην ροή του ποταμού) από τη θάλασσα προς τις πηγές του σε συγκεκριμένες εποχές για να γεννήσει.
Απορροή	Η ποσότητα νερού από βροχοπτώσεις η οποία δεν εισέρχεται στο υδατόρευμα είτε ως επιφανειακή είτε ως υποεπιφανειακή ροή.
Αριθμός Reynolds	Μία αδιάστατη παράμετρος που χρησιμοποιείται (μεταξύ άλλων) στους υπολογισμούς της τριβής εντός ενός αγωγού, και προκύπτει από την διάμετρο του αγωγού, την ταχύτητα του υγρού και το (κινηματικό) ιξώδες.
Βαλβίδα τύπου πεταλούδας	Μία βαλβίδα ελέγχου του νερού στρεφομένου δίσκου που εσωκλείεται εντός ενός κυκλικού αγωγού, η οποία μπορεί να ανοίγει και να κλείνει με έναν εξωτερικό μοχλό. Συχνά τίθεται σε λειτουργία από ένα υδραυλικό σύστημα.
Βασική Ροή	Το τμήμα της απορροής ενός ποταμού που ενισχύεται από υπόγεια ύδατα τα οποία ρέουν με αργό ρυθμό μέσω του εδάφους και αναδύονται στον ποταμό μέσω των όχθων και της κοίτης αυτού.
Εν παράλληλο (σε παράλληλη διάταξη)	Ο όρος που χρησιμοποιείται για να δηλώσει ότι μία παραγωγική μονάδα λειτουργεί σε σύνδεση με την ηλεκτρική τροφοδοσία, και συνεπώς λειτουργεί συγχρονισμένα με την ίδια συχνότητα.
Εναλλασσόμενο ρεύμα (EP - AC)	Ηλεκτρικό ρεύμα του οποίου η πολικότητα αντιστρέφεται περιοδικά (σε αντίθεση με το συνεχές ρεύμα). Στην Ευρώπη η συχνότητα του κανονικού κύκλου είναι 50 Hz, στη Β. και Ν. Αμερική 60 Hz.
Ενέργεια	Το παραγόμενο έργο, μετρημένο σε Newton × μέτρα ή Joules. Όσον αφορά στην ηλεκτρική ενέργεια, ως μονάδα μέτρησης γενικά χρησιμοποιείται η κιλοβατώρα (kWh), που αντιπροσωπεύει την παραγόμενη ισχύ (kilowatt) σε ορισμένη χρονική περίοδο (ώρες). Ισοδυναμία: 1 kWh = 3,6x10 ³ Joules.
Εξατμισοδιαπνοή	Η συνδυασμένη επίδραση της εξάτμισης και της διαπνοής
Ζήτηση (ηλεκτρική)	Η στιγμιαία απαίτηση για ισχύ (σε kW ή MW) ενός ηλεκτρικού συστήματος.

Ισχύς	Η ικανότητα παραγωγής έργου. Μετριέται σε Joules/sec ή Watts (1MW = 1 J/s). Η ηλεκτρική ισχύς μετριέται σε kW.
Καμπύλη παροχής	Η συσχέτιση μεταξύ της μέσης ημερήσιας στερεοπαροχής και της παροχής.
Κανάλι διαφυγής	Το κανάλι απορροής από έναν στρόβιλο πριν την ένωση με το κύριο κανάλι του ποταμού.
Κατείσδυση	Η κίνηση του νερού προς τα κάτω μέσω των σωματιδίων του εδάφους προς την φρεατική επιφάνεια (επιφάνεια κορεσμού εντός του εδάφους που καλείται και «επίπεδο των υπόγειων υδάτων»).
ΚΔΡ (FDC)	Καμπύλη διάρκειας ροής: η γραφική αναπαράσταση των απορροών έναντι του ποσοστού του χρόνου (της περιόδου καταγραφής) κατά τον οποίο επιτυγχάνονται ή ξεπερνιόνται συγκεκριμένα μεγέθη της απορροής.
Λεκάνη απορροής	Το σύνολο της έκτασης του εδάφους και της υδάτινης επιφάνειας που τα νερά της συνεισφέρουν στην απορροή σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός υδατορεύματος
Λιθορριπή	Πετράδια, σπασμένα πετρώματα ή μπλόκια από σκυρόδεμα που είναι τοποθετημένα τυχαία σε στρώματα ως μέσο προστασίας από την διάβρωση.
Μέση Ημερήσια Ροή	Η μέση σε ημερήσια βάση ποσότητα νερού που διαπερνάει ένα συγκεκριμένο σταθμό (υδρο)μέτρησης .
Παραγωγή	Η ποσότητα ισχύος (ή ενέργειας, ανάλογα με τον ορισμό) που λαμβάνεται από έναν εξοπλισμό, σταθμό ή σύστημα.
Πυκνωτής	Μία διηλεκτρική διάταξη η οποία στιγμιαία απορροφά και αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια.
Ροή αποκατάστασης	Η ελάχιστη απαιτούμενη ροή βάσει της νομοθεσίας που πρέπει να απελευθερώνεται στο υδατόρευμα κάτω από ένα σημείο υδροληψίας, φράγμα ή υδατοφράκτη, ώστε να διασφαλίζεται επαρκής ροή κατόπιν για περιβαλλοντικούς σκοπούς ή για λόγους άρδευσης ή αλιείας.
Σκάλα ψαριών	Μία κατασκευή που αποτελείται π.χ. από μία σειρά υδατοφρακτών υπερχειλίσης οι οποίοι είναι διατεταγμένοι σε σκαλοπάτια ύψους 30 cm και χρησιμεύουν ως ένα μέσο που επιτρέπει στα μεταναστευτικά ψάρια να μετακινούνται στα ανάντη περνώντας από ένα φράγμα ή υδατοφράκτη.
Σπηλαιώση	Ένα υδραυλικό φαινόμενο κατά το οποίο το υγρό αεριοποιείται σε χαμηλή πίεση και σχηματίζονται φυσαλίδες ατμού οι οποίες σπάνε σχεδόν ακαριαία προκαλώντας υδραυλικό πλήγμα στην εμπειρεύουσα δομή. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να οδηγήσει σε κάποιες περιπτώσεις σε σοβαρές φυσικές καταστροφές.
Στάθμη (ενός ποταμού)	Η ανύψωση των επιφανειακών υδάτων.
Σταθμός αιχμής	Ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής που παράγει ενέργεια κυρίως κατά τη

διάρκεια των περιόδων μέγιστης ζήτησης του ηλεκτρικού δικτύου.

Σύγχρονη ταχύτητα

Η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας έτσι ώστε η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος να είναι ακριβώς η ίδια με εκείνη του συστήματος στο οποίο παρέχεται η ενέργεια.

Συνεχές Ρεύμα (ΣΡ - DC)

Ηλεκτρική ενέργεια που ρέει συνεχώς προς μία κατεύθυνση, σε αντιδιαστολή με το εναλλασσόμενο ρεύμα.

Συντελεστής ισχύος

Ο λόγος της ποσότητας ισχύος μετρημένης σε κιλοβάτ (kW) προς την φαινόμενη ισχύ που μετρείται σε κιλοβόλτ-αμπέρ (kVA)

Σχήμα “κατά τον ρου του ποταμού” (run-of-river)

Μία εγκατάσταση/μονάδα όπου το νερό χρησιμοποιείται με παροχή που δεν είναι μεγαλύτερη από αυτήν με την οποία το νερό ρέει κατεβαίνοντας τον ποταμό. Οι μονάδες αυτού του είδους ονομάζονται και «συνεχούς ροής».

Υπερκρίσιμη ροή

Ταχεία ροή που είναι ανεπηρέαστη από τις κατάντη συνθήκες.

Υπερτάχυνση

Η ταχύτητα του δρομέα όταν, στις συνθήκες σχεδιασμού, έχουν αφαιρεθεί όλα τα εξωτερικά φορτία.

Φορτίο αιχμής

Το ηλεκτρικό φορτίο κατά την χρονική στιγμή της μέγιστης ζήτησης.

Χρέωση ζήτησης (ισχύος)

Η αναλογία της χρέωσης για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στα χαρακτηριστικά ζήτησης του πελάτη.

ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Βιβλία αναφοράς

1. **Micro-Hydro Design Manual**, A. Harvey et al., IT Publications Ltd, London 1993.
2. **Layman's guidebook on how to develop a small hydro site**. Published by the European Commission, 200 Rue de la Loi, B-1049 Brussels, Belgium, 1994
3. **Hydropower – A handbook for Agency Staff**. *Environment Agency, May 2003*
4. **Manual of Hydrology**: Part 2. Low-Flow Techniques GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 1542-A U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE WASHINGTON 1963

Διευθύνσεις στο διαδίκτυο με χρήσιμες πληροφορίες σχετικές με τα ΜΥΗ

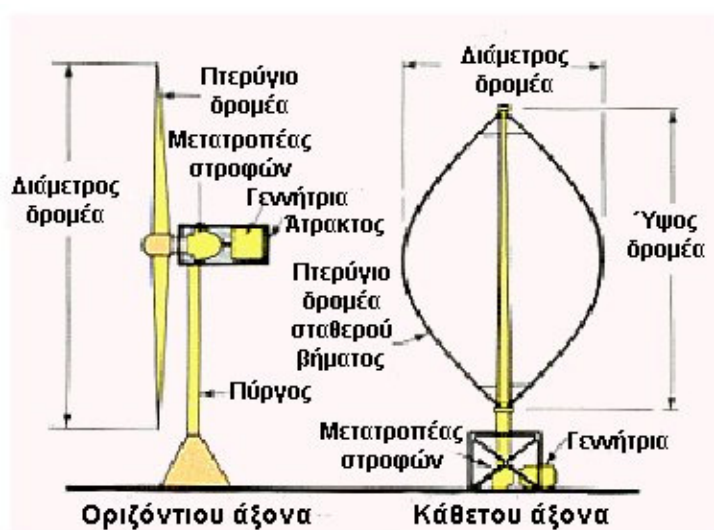
- Δικτυακός τόπος της Βρετανικής Ένωσης των Υδροηλεκτρικών: <http://www.british-hydro.org/>
- Δικτυακός τόπος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα Μικρά Υδροηλεκτρικά (ESHA), απ' όπου μπορεί να γίνει λήψη του Οδηγού *Layman* για τα ΜΥΗ: <http://www.esha.be/>
- Διαδικτυακή πύλη για τα μικρά υδροηλεκτρικά, με έμφαση στις αναπτυσσόμενες χώρες: <http://microhydropower.net>
- Ένας οδηγός της διεθνούς βιομηχανίας υδροηλεκτρικής ενέργειας, όπως συντάχθηκε από τη Διεθνή Εφημερίδα Υδροηλεκτρικών και Φραγμάτων - κυρίως προσανατολισμένος προς τις μεγάλες επιχειρήσεις και έργα. <http://www.hydropower-dams.com/atlas/industry.html>
- Η βάση δεδομένων James & James για προμηθευτές και υπηρεσίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που διαθέτει στοιχεία από σχεδόν 12.000 εταιρείες και οργανισμούς στο πεδίο των ΑΠΕ από όλο τον κόσμο: <http://www.ixj.com/suppands/renenerg/index.html>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1. Ο ΑΝΕΜΟΣ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Οι άνεμοι οφείλονται στο γεγονός ότι οι ισημερινές περιοχές της γης δέχονται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από τις περιοχές των πόλων, προκαλώντας ρεύματα μεταφοράς θερμότητας μεγάλης κλίμακας στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις μετεωρολόγων, περίπου το 1% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια, ενώ το 1% της καθημερινά εισαγόμενης ποσότητας αιολικής ενέργειας είναι σχεδόν ισοδύναμο με την παρούσα ημερήσια κατανάλωση ενέργειας σε όλο τον πλανήτη. Αυτό σημαίνει ότι το παγκόσμιο αιολικό δυναμικό είναι πολύ μεγάλο, αλλά και ευρέως διανεμημένο. Φυσικά, απαιτούνται πιο λεπτομερείς αξιολογήσεις για να ποσοτικοποιηθεί το αιολικό δυναμικό σε συγκεκριμένες περιοχές.

Η εξαγωγή ισχύος από τον αέρα άρχισε πολύ νωρίς στους αιώνες, με την παροχή κινητήριας δύναμης σε σκάφη, μύλους σιταριού και αλωνιστικές μηχανές. Μόνο προς την αρχή αυτού του αιώνα αναπτύχθηκαν ανεμογεννήτριες μεγάλης ταχύτητας για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Ο όρος Α/Γ χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα για να περιγράψει μια μηχανή με περιστρεφόμενα πτερύγια που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε χρήσιμη ισχύ. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες Α/Γ: οι Α/Γ οριζόντιου άξονα (ΑΓΟΑ) και οι Α/Γ κάθετου άξονα (ΑΓΚΑ), ανάλογα με τον προσανατολισμό του άξονα του δρομέα.



Σχήμα 1: Τύποι ανεμογεννητριών

Σήμερα, η σημαντικότερη εφαρμογή της αιολικής ενέργειας αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τις Α/Γ να λειτουργούν παράλληλα με τα γενικής χρήσης δίκτυα ηλεκτρικής ισχύος ή, στις πιο απομακρυσμένες περιοχές, παράλληλα με μηχανές τροφοδοτούμενες με ορυκτά καύσιμα (υβριδικά συστήματα). Το κέρδος από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας είναι η μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, καθώς επίσης και οι μειωμένες γενικές δαπάνες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι επιχειρήσεις ηλεκτρισμού δημόσιας ωφέλειας έχουν την ευελιξία να δεχτούν μια συμβολή περίπου 20% από τα συστήματα αιολικής ενέργειας. Με τα υβριδικά συστήματα ντιζελ-ανεμογεννητριών μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμων άνω του 50%.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο είναι μια νέα βιομηχανία (πριν από 20 έτη δεν υπήρχε καμία εμπορική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη). Σε μερικές χώρες η αιολική ενέργεια είναι ήδη ανταγωνιστική με την ενέργεια από ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια, ακόμη και χωρίς να ληφθούν υπόψη τα περιβαλλοντικά οφέλη της αιολικής ενέργειας. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος δεν λαμβάνει συνήθως πλήρως υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους (όξινη βροχή, καθάρισμα πετρελαιοκηλίδων, τα αποτελέσματα της αλλαγής του κλίματος, κλπ.). Η παραγωγή αιολικής ενέργειας συνεχίζει να βελτιώνεται με τρόπο ώστε να μειώνεται το κόστος και να βελτιώνεται η απόδοση.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο κοστίζει περίπου 5 έως 8 €cents ανά kWh και προβλέπεται να πέσει περίπου στα 4 €cents ανά kWh στο εγγύς μέλλον. Τα σχεδιαζόμενα έργα αιολικής ενέργειας είναι απλά και φθηνά για να συντηρηθούν. Οι αμοιβές από το ενοίκιο των γαιών που καταβάλλονται στους αγρότες παρέχουν πολύτιμο πρόσθετο εισόδημα στις αγροτικές κοινότητες. Την εργασία κατασκευής αναλαμβάνουν συνήθως τοπικές επιχειρήσεις παρέχοντας τοπική απασχόληση, ενώ δημιουργούνται μακροπρόθεσμες θέσεις εργασίας για τις εργασίες συντήρησης. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανία παγκοσμίως. Υπάρχουν περίπου 60 κατασκευαστές διεθνώς και οι περισσότεροι από αυτούς είναι ευρωπαίοι.

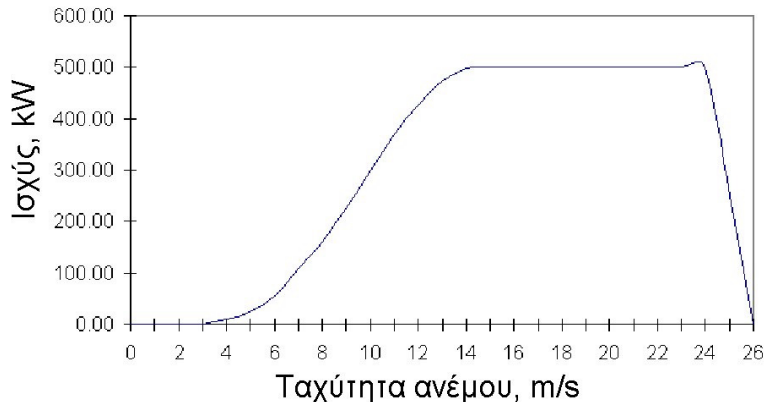
Περισσότερες από 10 μεγάλες ευρωπαϊκές τράπεζες και πάνω από 20 ευρωπαϊκές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν επενδύσει στην αιολική ενέργεια, όπως έχουν κάνει ανεξάρτητοι και επιχειρήσεις. Η αιολική βιομηχανία είναι επίσης σημαντικός εργοδότης. Μια πρόσφατη μελέτη από την ένωση κατασκευαστών Α/Γ της Δανίας καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η αιολική βιομηχανία στη χώρα αυτή απασχολεί 8.500 Δανούς και έχει δημιουργήσει περισσότερες από 4.000 θέσεις εργασίας έξω από τη Δανία. Η αιολική βιομηχανία εκεί είναι σήμερα μεγαλύτερος εργοδότης από τη δανική αλιευτική βιομηχανία. Η συνολική απασχόληση στην αιολική βιομηχανία στην Ευρώπη συνολικά υπολογίζεται ότι θα υπερβεί τις 20.000 θέσεις εργασίας.

1.1 Ονομαστική ισχύς ανεμογεννήτριας (Α/Γ)

Για την αξιοποίηση της ισχύος του ανέμου μια απαραίτητη προϋπόθεση είναι η σταθερή παροχή ενός ευλόγως ισχυρού ανέμου. Η μέγιστη ισχύς την οποία οι ανεμογεννήτριες (Α/Γ) είναι σχεδιασμένες για να παράγουν καλείται "ονομαστική ισχύς" και η ταχύτητα ανέμου με την οποία επιτυγχάνεται αυτή είναι η "ονομαστική ταχύτητα ανέμου". Αυτή επιλέγεται ώστε να εναρμονίζεται με το εύρος του ανέμου στην περιοχή, και είναι συχνά περίπου 1,5 φορές η μέση ταχύτητα ανέμου της περιοχής. Η κλίμακα Beaufort, μια ταξινόμηση της ταχύτητας του ανέμου, παρέχει μια περιγραφή της επίδρασης του ανέμου. Σχεδιάστηκε αρχικά για τους ναυτικούς και περιέγραφε την κατάσταση της θάλασσας, αλλά έχει τροποποιηθεί για να περιλαμβάνει τις επιδράσεις του ανέμου στο έδαφος.

Η ισχύς που παράγεται από την Α/Γ αυξάνεται από μηδέν, κάτω από την ταχύτητα εκκίνησης (συνήθως γύρω στα 5 m/s, αλλά πάλι ποικίλλει με την περιοχή), στο μέγιστο στην ονομαστική ταχύτητα (βλ. σχήμα 2). Επάνω από την ονομαστική ταχύτητα, η Α/Γ συνεχίζει να παράγει την ίδια ονομαστική ισχύ αλλά με χαμηλότερη απόδοση, έως ότου διακοπεί η λειτουργία της, όταν η ταχύτητα του ανέμου γίνεται επικίνδυνα υψηλή, δηλαδή επάνω από 25 με 30 m/s (συνθήκη θύελλας). Αυτή είναι η ταχύτητα διακοπής της λειτουργίας. Οι ακριβείς προδιαγραφές για τον

προσδιορισμό της ενεργειακής ισχύος μιας Α/Γ εξαρτώνται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια του έτους στην περιοχή ενδιαφέροντος.



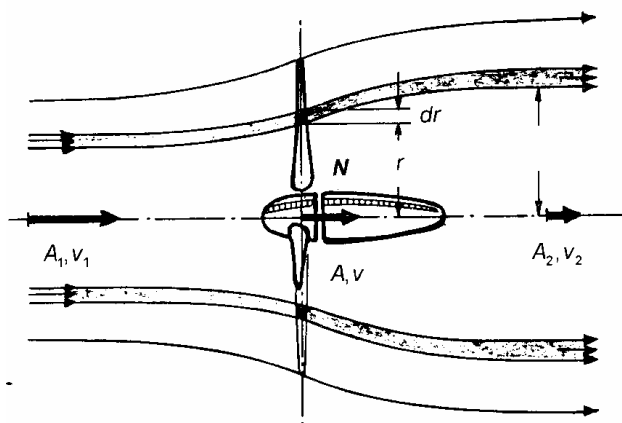
Σχήμα 2: Η καμπύλη ισχύος μιας τυπικής ανεμογεννήτριας

1.2 Εξαγωγή ισχύος από μια Α/Γ

Οι Α/Γ χρησιμοποιούν την κινητική ενέργεια της ροής του αέρα. Οι δρομείς μειώνουν την ταχύτητα του ανέμου από την αδιατάρακτη ταχύτητα v_1 μπροστά από το δρομέα σε μια ταχύτητα ανέμου v_2 πίσω από αυτόν (σχήμα 3). Αυτή η διαφορά στην ταχύτητα είναι ένα μέτρο για την κινητική ενέργεια που αποσπάται και περιστρέφει το δρομέα και, στο άλλο άκρο του συστήματος μετάδοσης κίνησης, τη συνδεδεμένη ηλεκτρική γεννήτρια. Η ισχύς που εξάγεται από μια Α/Γ δίνεται από τη σχέση:

$$P = \rho/2 \cdot c_p \cdot \eta \cdot A \cdot v_1^3 \tag{1.1}$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα, c_p ο συντελεστής ισχύος, η είναι η μηχανική/ηλεκτρική απόδοση, και A το εμβαδόν του δίσκου του δρομέα.

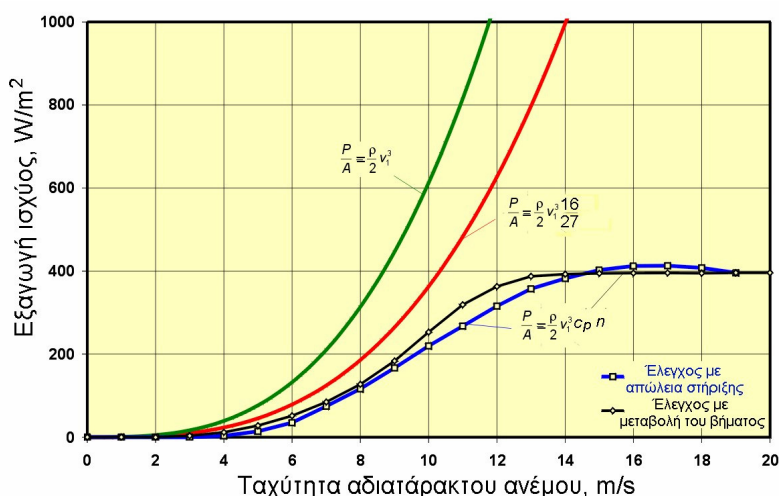


Σχήμα 3: Ροή αέρα μέσω μιας ανεμογεννήτριας

Σε ιδανικές συνθήκες, το θεωρητικό μέγιστο του c_p είναι $16/27=0,593$ (γνωστό ως όριο Betz) ή, με άλλα λόγια, μια Α/Γ μπορεί θεωρητικά να εξαγάγει το 59,3% του ενεργειακού περιεχομένου της ροής του αέρα. Υπό πραγματικές συνθήκες, το c_p δεν υπερβαίνει το 0,5, δεδομένου ότι περιλαμβάνει όλες τις αεροδυναμικές απώλειες της Α/Γ. Στις περισσότερες από τις δημοσιεύσεις

σήμερα η τιμή του c_p περιλαμβάνει όλες τις απώλειες και είναι, ουσιαστικά, ένας τρόπος συντόμευσης για το $c_p \cdot \eta$. Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται διάφορα περιεχόμενα ισχύος και δυναμικά παραγωγής ανάλογα με το συντελεστή ισχύος και την απόδοση μιας Α/Γ.

Σε περίπτωση που το c_p φθάνει στο θεωρητικό μέγιστό του, η ταχύτητα ανέμου v_2 πίσω από το δρομέα είναι μόνο το 1/3 της ταχύτητας v_1 μπροστά από αυτόν. Επομένως, ανεμογεννήτριες τοποθετημένες σε αιολικά πάρκα παράγουν λιγότερη ενέργεια λόγω της μείωσης της ταχύτητας του ανέμου που προκαλείται από την ύπαρξη άλλων ανεμογεννητριών μπροστά από αυτές. Αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ των Α/Γ μπορεί να μειωθεί η ενεργειακή απώλεια, επειδή το περιβάλλον πεδίο του αέρα θα επιταχύνει πάλι τον αέρα πίσω από μια Α/Γ. Ένα κατάλληλα σχεδιασμένο αιολικό πάρκο μπορεί, επομένως, να έχει λιγότερο από 10% απώλειες οφειλόμενες στο φαινόμενο των αμοιβαίων αναμίξεων.



Σχήμα 4: Παραγόμενη ισχύς ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του δίσκου του δρομέα συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου

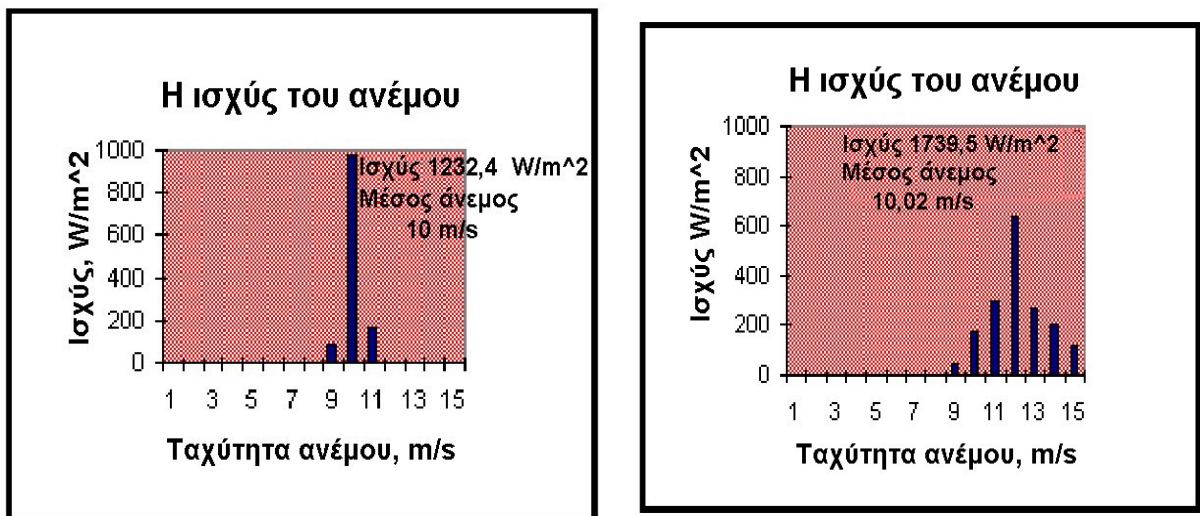
Η εξίσωση για την εξαγωγή ισχύος από μια Α/Γ [εξίσωση (1.1)] δείχνει ότι η ετήσια ενεργειακή παραγωγή της Α/Γ εξαρτάται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου της περιοχής, την πυκνότητα του αέρα, το μέγεθος του δρομέα και τον τεχνικό σχεδιασμό. Ειδικά, το ύψος του πύργου έχει αξιοσημείωτες επιπτώσεις στην ενεργειακή εξαγωγή, επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος επάνω από την επιφάνεια της γης. Όσον αφορά στην πυκνότητα του αέρα, ο αέρας είναι γενικά λιγότερο πυκνός στα θερμότερα κλίματα και επίσης η πυκνότητά του μειώνεται με το ύψος, ενώ μπορεί να κυμανθεί από περίπου 0,9 ως 1,4 kg/m³. Αυτή η επίδραση είναι όμως πολύ μικρή σε σύγκριση με την μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου.

1.3 Μεταβλητότητα του ανέμου

Ο άνεμος μεταβάλλεται μέσα σε μερικές ώρες καθώς διέρχεται ένα καιρικό σύστημα. Αυτή η μεταβλητότητα του ανέμου σημαίνει ότι η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται επίσης μεταβάλλεται συνέχεια. Αυτό είναι αντίθετο από τις περισσότερες συμβατικές πηγές ισχύος, όπου τα καύσιμα διατηρούνται συνήθως σταθερά. Ο ανεφοδιασμός με καύσιμο στην παραγωγή αιολικής ενέργειας δεν έχει μια σταθερή ροή. Το κλίμα ανέμου μιας περιοχής περιγράφει αυτήν την μεταβλητότητα στατιστικά. Διαφορετικές θέσεις έχουν διαφορετικό κλίμα ανέμου. Οι τροπικοί κύκλοι έχουν σταθερούς μέτριους ανέμους καθ' όλο το έτος, ενώ στα εύκρατα γεωγραφικά

πλάτη παρουσιάζονται πολύ μεγαλύτερες μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου, ειδικότερα περισσότερα περιστατικά υψηλής ταχύτητας ανέμου..

Δεδομένου ότι η αιολική ισχύς συναρτάται με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου, είναι εμφανές ότι η μέση ετήσια ισχύς θα ποικίλει από περιοχή σε περιοχή. Οι περιοχές με πιο υψηλές ταχύτητες ανέμου θα αποδώσουν περισσότερη ισχύ. Σαν απλό παράδειγμα, εξετάζονται δύο περιοχές και οι δύο με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου 10 m/s (σχήμα 5). Όπως φαίνεται από το σχήμα, η πρώτη περιοχή μπορεί να έχει συνολική αιολική ισχύ κατά τη διάρκεια του έτους $1232,4 \text{ W/m}^2$ ενώ η δεύτερη $1739,5 \text{ W/m}^2$. Με τον τρόπο αυτό φαίνεται η σημασία των ισχυρών ανέμων, και μέσω αυτού οι επιπτώσεις του κλίματος του ανέμου στα οικονομικά της παραγωγής αιολικής ενέργειας.



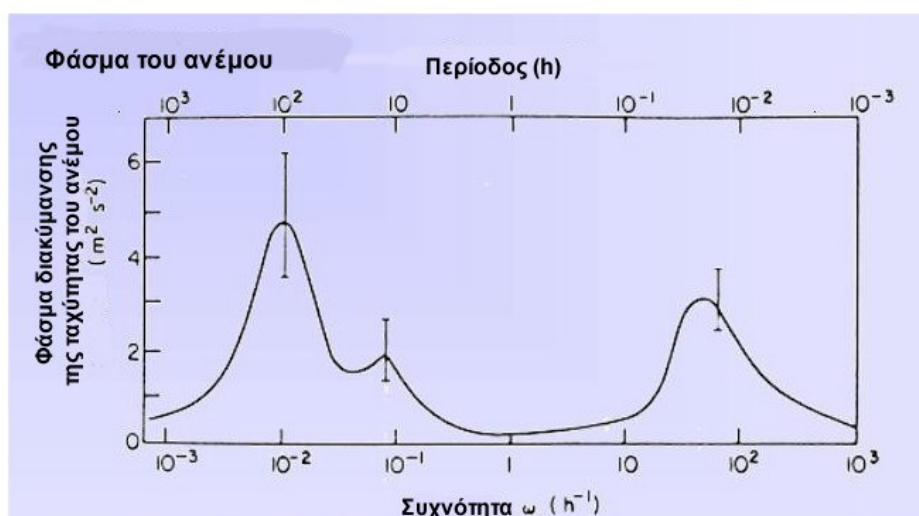
Σχήμα 5: Οι διαφορές στην παραγωγή ισχύος μεταξύ δύο περιοχών με την ίδια μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου

Επιπλέον, η διαθεσιμότητα του ανέμου δεν τίθεται υπό έλεγχο και, αν και μπορεί να προβλεφθεί μέχρι 36 ώρες μπροστά, η διαθεσιμότητα της ισχύος δεν μπορεί να είναι πάντα εγγυημένη. Στην ορολογία της ηλεκτρικής ενέργειας, η ισχύς που παράγεται από μία συγκεκριμένη Α/Γ δεν είναι "σταθερή". Επομένως, απαιτείται κάποια μορφή ενεργειακής αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες, ή έλεγχος ανεφοδιασμού, όπως είναι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι ένας βασικός παράγοντας για την οικονομική βιωσιμότητα της αιολικής ενέργειας. Η φαινομενική αυτή έλλειψη σταθερότητας στον ανεφοδιασμό έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν ως επιχείρημα ενάντια στην αιολική ενέργεια.

Εντούτοις, ο άνεμος μπορεί να περιγραφεί με στατιστικούς όρους. Κατόπιν, η μέση ποσότητα ισχύος που παράγεται σε ένα έτος χρησιμοποιείται για να περιγράψει την εγκατάσταση. Δεδομένου ότι η ζήτηση στο ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος περιγράφεται επίσης με στατιστικούς όρους, ένα ποσοστό της αιολικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί ως "σταθερό", υπό τον όρο ότι σ' αυτό συμπεριλαμβάνονται μόνο τα μικρά ποσά αιολικά-παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό περιγράφεται από την ισχύ της Α/Γ ή από το συντελεστή φορτίου. Περαιτέρω βελτιώσεις στη "σταθερότητα" μπορούν να επιτευχθούν μέσω συστάδων από μηχανές με μεγάλο γεωγραφικό διαχωρισμό. Τότε, η μεταβολή στη διαθεσιμότητα του ανέμου δια μέσω της περιοχής αυτής εξομαλύνεται.

1.4 Μεταβολή με το χρόνο

Ο άνεμος παρουσιάζει συνεχή διακύμανση, και αυτό είναι άμεσα προφανές από ένα ανεμόμετρο που καταγράφει την ταχύτητα του ανέμου. Εάν μια χρονική μακρά σειρά ταχύτητας του ανέμου μετασχηματισθεί στην περιοχή συχνότητας σε φάσμα ισχύος, κατόπιν μπορεί να προσδιοριστεί η χρονική κλίμακα της κυρίαρχης ενέργειας του ανέμου (σχήμα 6). Στα εύκρατα γεωγραφικά πλάτη παρατηρούνται δύο κύριες κορυφές, η μεγαλύτερη σε χρονικές κλίμακες μερικών ημερών, η δεύτερη σε χρονικές κλίμακες περίπου 10 sec. Η πρώτη οφείλεται στη διάβαση καιρικών συστημάτων μεγάλης κλίμακας, ενώ η δεύτερη συνδέεται με την τύρβη μέσα στη ροή.



Σχήμα 6: Χαρακτηριστικό φάσμα διακύμανσης της ταχύτητας του ανέμου

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι, οι δύο κορυφές χωρίζονται από ένα κενό από περίπου 10 λεπτά μέχρι 2 ώρες. Πολύ μικρό ποσό της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνεται σε αυτό το κενό. Αυτό είναι πολύ σημαντικό δεδομένου ότι επιτρέπει τη μεταχείριση των δύο τύπων κινήσεων χωριστά, με την τύρβη ως διαταραχή της ροής μεγάλης κλίμακας. Στη συνέχεια τα μαθηματικά της επίλυσης απλοποιούνται πολύ, και η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου μπορεί να εκφραστεί ως άθροισμα της μέσης ταχύτητας του ανέμου και μίας διαταραχής, δηλαδή: $U(t) = \bar{U} + U'(t)$.

Ο μέσος άνεμος πρέπει να υπολογίζεται ως μέσος όρος κατά τη διάρκεια μιας περιόδου εντός του φασματικού κενού, χαρακτηριστικά για 1 ώρα. Αυτό θα περιέγραφε έπειτα τη μόνιμη κατάσταση, κατά συνέπεια τη διαθέσιμη ενέργεια της Α/Γ. Η συνιστώσα διαταραχής έχει επίσης επιπτώσεις στην ισχύ της γεννήτριας, αλλά κατά τρόπο λιγότερο άμεσο, δεδομένου ότι η γεννήτρια δεν αντιδρά στις πολύ γρήγορες (δηλ. που δρουν λιγότερο από μερικά λεπτά) μεταβολές στην ταχύτητα ή την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτή η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το χρόνο μπορεί να απεικονιστεί με την περιγραφή της δομής του ανέμου ως σειράς δινών ή τρισδιάστατων περιστροφών όλων των μεγεθών που μεταφέρονται από τη μέση ροή.

Στις δίνες οφείλεται η μίξη του ανέμου και η δράση τους μπορεί να εξεταστεί με παρόμοιο τρόπο με τη μοριακή διάχυση. Καθώς μια δίνη περνά από το σημείο μέτρησης, η ταχύτητα του ανέμου παίρνει την τιμή της δίνης αυτής για μια χρονική περίοδο ανάλογη προς το μέγεθος της δίνης.

αυτό ονομάζεται "ριπή ανέμου". Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μεταβολή του ανέμου στην Α/Γ ξεπερνάει τον μέσο όρο και τα πρόσθετα φορτία δεν είναι σημαντικά. Εντούτοις, εάν η κλίμακα μήκους της δίνης είναι της ίδιας τάξης με την κλίμακα μήκους μιας συνιστώσας της γεννήτριας, κατόπιν η μεταβολή στο φορτίο μπορεί να έχει επιπτώσεις σε ολόκληρη τη συνιστώσα. Μια ριπή ανέμου 3-δευτερολέπτων αντιστοιχεί σε ένα μέγεθος δίνης γύρω στα 20m (δηλ. παρόμοιου μεγέθους με το πτερύγιο του δρομέα), ενώ μια ριπή ανέμου 15-δευτερολέπτων σε 50m.

Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή ριπής του ανέμου από τις σχετικές χρονικές κλίμακες για να υπολογιστούν τα μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία στην Α/Γ ή τις συνιστώσες της, πέρα από την αναμενόμενη διάρκεια ζωής της Α/Γ. Αυτό εκφράζεται ως μια μέγιστη ταχύτητα του ανέμου και ριπή σε μια περίοδο απόδοσης 50 ετών. Φυσικά, η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να ξεπεραστεί σε αυτήν την περίοδο, αλλά τα περιθώρια των φορτίων θα επιτρέψουν κάποια τέτοια υπέρβαση. Ο υπολογισμός των φορτίων είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τις εύκαμπτες δομές όπως είναι οι γεννήτριες, που είναι πιο ευαίσθητες σε ζημιές που προκαλούνται από τον άνεμο από τις άκαμπτες δομές, όπως είναι τα κτήρια.

2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Μία ανεμογεννήτρια μπορεί θεωρητικά να τοποθετηθεί οπουδήποτε σ' ένα ευλόγως ανοικτό πεδίο. Εντούτοις, ένα αιολικό πάρκο είναι μία εμπορική επιχείρηση και θα πρέπει να γίνεται προσπάθεια βελτιστοποίησης της κερδοφορίας της. Αυτό είναι σημαντικό όχι μόνο για τα κέρδη κατά τη διάρκεια της ζωής του πάρκου, αλλά επίσης και για την εξασφάλιση κεφαλαίου αρχικά για την εγκατάσταση της μονάδας. Για τον προγραμματισμό οικονομικά ελκυστικών αιολικών επενδύσεων είναι απαραίτητη η ύπαρξη αξιόπιστων ανεμολογικών στοιχείων για την περιοχή ενδιαφέροντος.

Εξαιτίας χρονικών και οικονομικών λόγων, δεν πραγματοποιούνται μετρήσεις για μακροχρόνιες περιόδους και, αντί αυτών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαθηματικές μέθοδοι για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού σε οποιαδήποτε τοποθεσία. Οι υπολογισθείσες συνθήκες για τον άνεμο και τα στοιχεία για την παραγωγή ενέργειας χρησιμεύουν ως βάση για τους οικονομικούς υπολογισμούς. Παράλληλα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσομοιώσεις των αιολικών συνθηκών για τη συσχέτιση των μετρήσεων σε συγκεκριμένη θέση με το αιολικό δυναμικό γειτονικών θέσεων, ώστε να στοιχειοθετηθεί το ανεμολογικό καθεστώς για ολόκληρη την περιοχή.

2.2 Προσδιορισμός των τοπικών συνθηκών

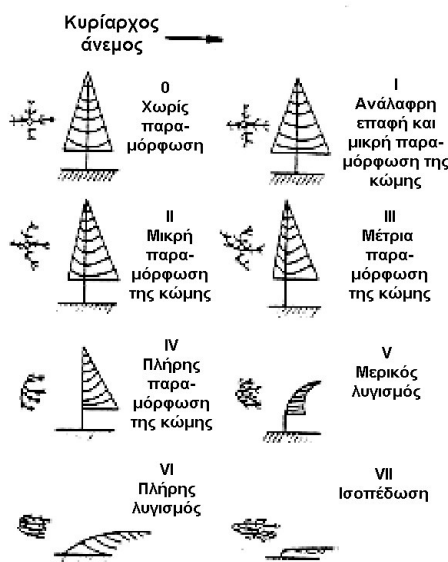
Καθώς η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να διαφέρει σημαντικά μεταξύ κοντινών αποστάσεων, π.χ. σε μερικές εκατοντάδες μέτρα, οι διαδικασίες για την αξιολόγηση των θέσεων μελλοντικής εγκατάστασης των Α/Γ εξετάζουν εν γένει όλες τις τοπικές παραμέτρους που είναι πιθανό να επηρεάζουν τις ανεμολογικές συνθήκες. Τέτοιες παράμετροι είναι:

- τα εμπόδια (φυσικά ή/και τεχνητά) στον περιβάλλοντα χώρο,

- η περιβαλλοντική τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής που χαρακτηρίζεται από τη βλάστηση, τη χρήση του εδάφους και τα κτίρια (περιγραφή τραχύτητας του εδάφους),
- η ορογραφία, όπως οι λόφοι, που μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης της ροής του ανέμου.

Οι πληροφορίες για τις τοπικές συνθήκες λαμβάνονται από τοπογραφικούς χάρτες, καθώς και από επιτόπιες επισκέψεις στην περιοχή ενδιαφέροντος για την καταγραφή των τοπικών εμποδίων. Επίσης, έχει αποδειχθεί ωφέλιμη η χρήση δορυφορικών στοιχείων για την περιοχή. Σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός δένδρων, έχουν αναπτυχθεί δείκτες αποδόμησης της βλάστησης, όπως είναι ο δείκτης Griggs-Puttnam για τα κωνοφόρα δένδρα (σχήμα 7). Αυτοί οι δείκτες μπορούν να δώσουν ποιοτικές πληροφορίες για την ταχύτητα και διεύθυνση του επικρατέστερου ανέμου, αλλά πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή διότι μπορεί να έχουν σημασία και άλλοι παράγοντες, ή οι δυνατοί άνεμοι μπορεί να πνέουν μόνο κατά την περίοδο της κύριας ανάπτυξης. Άλλοι επιτόπιοι δείκτες μπορεί να περιλαμβάνουν κάποια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως είναι οι αμμόλοφοι.

Κάποιες πληροφορίες για τον αιολικό πόρο μπορεί να είναι ήδη διαθέσιμες. Κλιματικά δεδομένα του μέσου ανέμου έχουν αποδοθεί στη μορφή χαρτών ισοταχών, οι οποίοι παρουσιάζουν τις γραμμές ίσης μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου λαμβανόμενη από αρχεία με στοιχεία παρατηρήσεων. Από τα στοιχεία αυτά μπορεί να υπολογιστεί η μέση διαθέσιμη αιολική ισχύς ετησίως στην τοποθεσία. Μερικές αρχικές μελέτες αποτίμησης διεξήχθησαν με τέτοιου είδους δεδομένα, καθόσον δεν υπήρχαν άλλα. Πάντως, δεν είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται δεδομένα από τις ισοταχείς για κάτι παραπάνω από μια χονδρική εκτίμηση του ολικού αιολικού πόρου της περιοχής, αφού τα δεδομένα από ορεινούς σταθμούς είναι συνήθως λίγα και εξομαλύνεται η επίδραση της μορφολογίας του εδάφους.



Σχήμα 7: Ταξινόμηση της ταχύτητας του ανέμου σύμφωνα με τον δείκτη Griggs-Puttnam

Μπορεί να υπάρξουν σοβαρά σφάλματα κατά τη χρήση αυτών των στοιχείων ως μέσων εκτίμησης μιας θέσης σ' ένα υψίπεδο, αφού η παρεμβολή της ταχύτητας του ανέμου κατά μήκος μιας πολύ απότομης μορφολογίας δεν είναι ακριβής, και η ισχύς του ανέμου στη θέση μπορεί να

υποεκτιμηθεί σοβαρά. Συνοψίζοντας, τα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτίμηση μιας θέσης μπορούν να ληφθούν από έναν αριθμό πηγών, όπως είναι:

- μετεωρολογικά δεδομένα από αρχεία,
- επιτόπια δεδομένα,
- δεδομένα από αριθμητικά ή φυσικά μοντέλα.

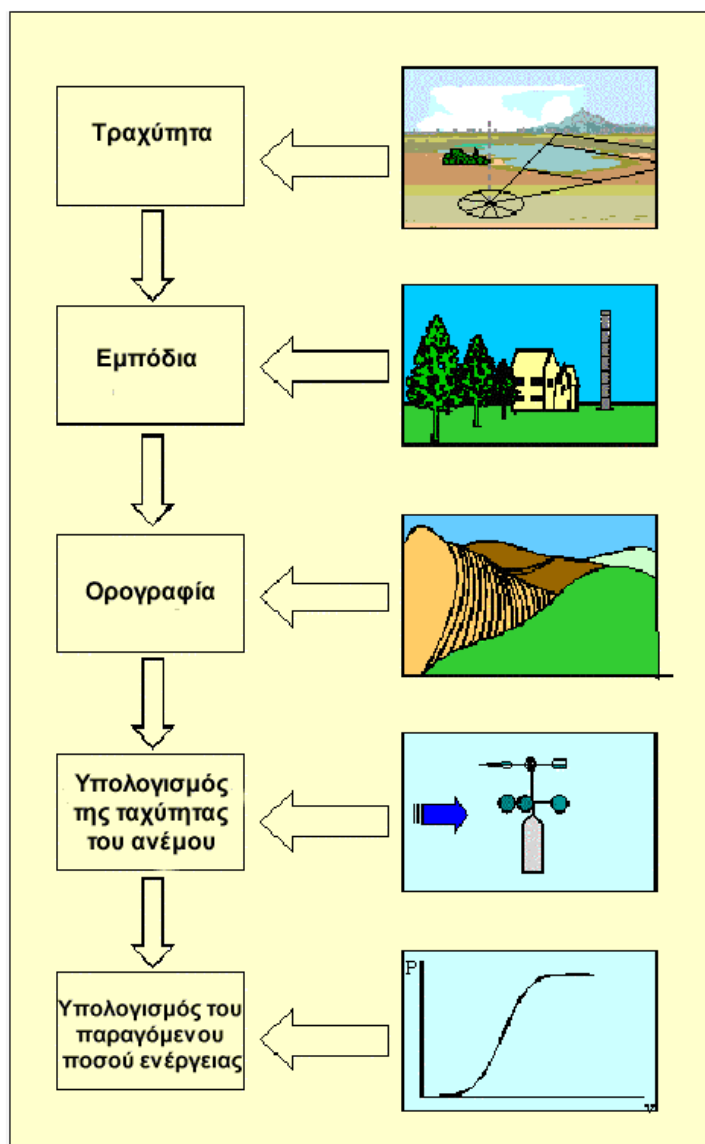
Μερικά από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαφόρων ειδών δεδομένων παρουσιάζονται στον πίνακα 1 παρακάτω. Απαιτείται η ακριβής εκτίμηση της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας ισχύος που αναμένεται από τη θέση. Επίσης, απαιτούνται πληροφορίες για την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου ως προς τον χρόνο. Για να επιτευχθεί αυτό με αξιοπιστία, χρειάζονται στοιχεία που να εκτείνονται σε αρκετά έτη, αλλά συνήθως εκτιμώνται από πολύ μικρότερα σετ στοιχείων με τη βοήθεια κατάλληλων υπολογιστικών μοντέλων. Μετά από αυτό, μπορεί να καθοριστεί η αναμενόμενη παραγωγή αιολικής ενέργειας σύμφωνα με την απόδοση ισχύος της ανεμογεννήτριας.

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων δεδομένων για την αξιολόγηση πιθανών θέσεων εγκατάστασης ανεμογεννητριών

	<i>Πλεονεκτήματα</i>	<i>Μειονεκτήματα</i>
Μετεωρολογικά στοιχεία αρχείου	Μεγάλες χρονοσειρές Ευρεία γεωγραφική κάλυψη	Σπάνια από αντιπροσωπευτικές θέσεις Μετρώνται στα 10m, όχι στο ύψος της πλήμνης Δύσκολη η παρεμβολή σε πολύπλοκες μορφολογίες
Επιτόπια δεδομένα	Αφορούν ειδικά πραγματικές θέσεις Δεδομένα στο ύψος της πλήμνης Η καταγραφή μπορεί να είναι προσαρμοσμένη για ειδικές πληροφορίες, π.χ. τύρβη	Δαπανηρή διαδικασία Τα βραχυχρόνια δεδομένα μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά Πιθανές μεγάλες απώλειες δεδομένων Η κακή τοποθέτηση του εξοπλισμού παρέχει μη αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα
Μοντελοποίηση	Φθηνότερη από τις επιτόπιες μετρήσεις Μπορούν να διερευνηθούν αρκετές τοποθεσίες σε σύντομους χρόνους Γρήγορη	Μπορεί να εφαρμόζεται ασύνετα Οι υποθέσεις του μοντέλου μπορεί να είναι λανθασμένες ή ανεπαρκείς Η ανάλυση μπορεί να είναι πολύ χαμηλή Η κλίμακα μπορεί να είναι λανθασμένη

2.3 Η διαδικασία που ακολουθείται

Μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδος για τη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη των ταχυτήτων του ανέμου και της παραγωγής ενέργειας σε συγκεκριμένες θέσεις είναι το Μοντέλο του Ευρωπαϊκού Αιολικού Άτλαντα "WASP" (σχήμα 8). Μία κατανομή συχνότητας ταχυτήτων του ανέμου που έχει μετρηθεί σε κάποιον σταθμό αναφοράς για αρκετά χρόνια υφίσταται κατάλληλη επεξεργασία ώστε να μπορεί να "μεταφερθεί" σε άλλες θέσεις. Το υπολογιστικό μοντέλο συνδυάζει τη λεπτομερή περιγραφή της θέσης της οποίας το αιολικό δυναμικό πρέπει να προβλεφθεί/συγκριθεί με την τροποποιημένη κατανομή συχνότητας του σταθμού αναφοράς, ο οποίος μπορεί να απέχει μέχρι και 100 χλμ. από την προς ανάλυση θέση.



Σχήμα 8: Απαραίτητα δεδομένα εισαγωγής για τη χρήση του κώδικα WA^{5P}

Σε συσχέτισμό με την καμπύλη ισχύος της A/G (ηλεκτρική ισχύς συναρτήσεως της ταχύτητας του ανέμου) μπορεί να υπολογιστεί η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας για τη θέση. Ένα χαρακτηριστικό του κώδικα WA^{5P} είναι ότι χρησιμοποιεί πολικές συντεταγμένες, όπου η αρχή των αξόνων συμπίπτει με τη θέση ενδιαφέροντος. Κατά συνέπεια, το επίπεδο ανάλυσης στην περιοχή της θέσης είναι πολύ υψηλό, με τα σημεία του πλέγματος να απέχουν μεταξύ τους περίπου 2m. Εξάλλου, η επίλυση περιορίζεται τοπικά, με συνέπεια την ελαχιστοποίηση του λάθους.

Στον WA^{5P} έχουν ενσωματωθεί τόσο φυσικά μοντέλα της ατμόσφαιρας, όσο και στατιστικές περιγραφές του κλίματος του ανέμου. Στα χρησιμοποιούμενα φυσικά μοντέλα περιλαμβάνονται:

- Ομοιότητα του επιφανειακού στρώματος – υπόθεση λογαριθμικής μεταβολής.
- Νόμος γεωστροφικής οπισθέλκουσας - εκτίμηση του επιφανειακού ανέμου βάσει του αριθμού ομοιότητας Rossby.
- Διορθώσεις ευστάθειας – αυτές επιτρέπουν τη διαφοροποίηση από την ουδέτερη ευστάθεια.

- Μεταβολή της τραχύτητας - επιτρέπει μεταβολές στη χρήση του εδάφους γύρω από την περιοχή.
- Μοντέλο σκίασης - μοντελοποιεί την επίδραση ενός εμποδίου στην τοπική ροή.
- Μοντέλο ορογραφίας - μοντελοποιεί την επιτάχυνση της ροής επάνω από την ορογραφία.

Το ανεμολογικό καθεστώς περιγράφεται στατιστικά από μία κατανομή Weibull που εξάγεται για τα δεδομένα αναφοράς. Η προκύπτουσα κατανομή Weibull σχεδιάζεται ώστε να περιγράψει όσο το δυνατόν καλύτερα τις περιοχές υψηλών ταχυτήτων του ανέμου. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι πολύ λίγη ισχύς παράγεται στις χαμηλές ταχύτητες. Η κατανομή ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης συνδυάζεται με την καμπύλη ισχύος της Α/Γ, οπότε μπορεί να υπολογιστεί η κατανομή πιθανότητας της παραγόμενης ισχύος. Για την επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής ακρίβειας στην πρόβλεψη της παραγόμενης ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο καμπύλες ισχύος που μετριοούνται από ανεξάρτητους οργανισμούς. Επιπλέον, κατασκευάζονται συνεχώς νέοι σταθμοί αναφοράς προκειμένου να μειωθεί η αβεβαιότητα πρόβλεψης του αιολικού δυναμικού.

Ανάλογα με την πολυπλοκότητα των υπό εξέταση θέσεων, χρησιμοποιούνται διάφορες διαδικασίες για τον καθορισμό του αιολικού δυναμικού. Πέραν του προαναφερθέντος υπολογιστικού κώδικα "WASP" υπάρχουν και άλλες σχετικές μεθοδολογίες, όπως είναι τα μεσοκλιματικά μοντέλα. Γενικά, τα μοντέλα αυτά απαιτούν μεγάλη υπολογιστική ισχύ, αλλά μπορούν να αποδώσουν λεπτομερώς την τρισδιάστατη περιγραφή της ροής του ρευστού, ειδικά σε περιπτώσεις σύνθετης ορεινής ορογραφίας. Ένας εντελώς διαφορετικός τρόπος αξιολόγησης του αιολικού πόρου περιλαμβάνει άμεσες μετρήσεις της ταχύτητας στη θέση ενδιαφέροντος.

Οι μετρήσεις αυτές, που συνήθως εκτελούνται σε περίοδο ενός έτους, μπορούν να συσχετιστούν με ολόκληρη τη γειτονική περιοχή ή μπορούν να μετασχηματιστούν στο ύψος πλήμνης ορισμένων τύπων Α/Γ με χρήση των προσομοιώσεων της ροής που περιγράφηκαν παραπάνω (η μέθοδος αυτή συχνά αναφέρεται ως MCP: Measure-Μέτρα, Correlate-Συσχέτιση, Predict-Πρόβλεψη). Ένας τρόπος για να περιληφθούν οι μετρήσεις για συγκεκριμένη θέση είναι να χρησιμοποιηθούν τα καταγεγραμμένα στοιχεία ως σταθμός αναφοράς στον κώδικα WASP. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν δεν διατίθενται άλλα αξιόπιστα δεδομένα αναφοράς, ή προκειμένου να επαληθευθεί η πρόβλεψη για το αιολικό δυναμικό σε σύνθετη τοπογραφία.

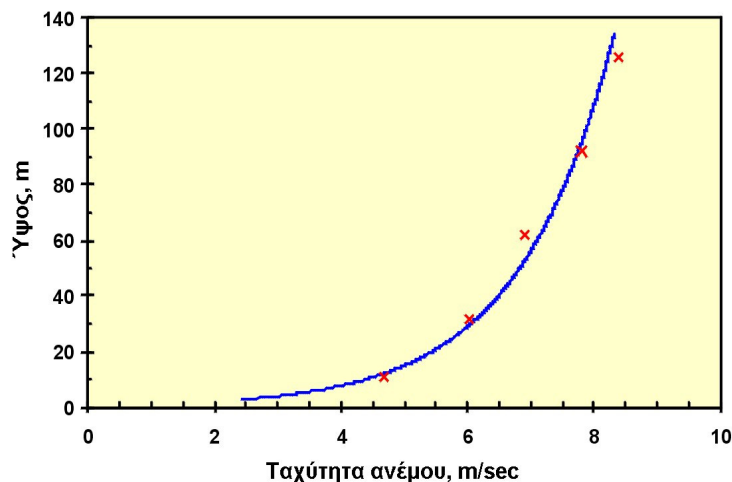
3. ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

3.1 Κατανομές ταχύτητας του ανέμου

Η τραχύτητα της επιφάνειας της Γης ελαττώνει την ταχύτητα του ανέμου. Με την αύξηση του ύψους επάνω από το έδαφος, η επίδραση της τραχύτητας μειώνεται και η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται. Στο σχήμα 9 απεικονίζεται η πιθανή μορφή ενός οριακού στρώματος της ταχύτητας του ανέμου. Μια απλή υπόθεση για την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος (h) είναι η λογαριθμική κατανομή:

$$v = \frac{v^*}{\kappa} \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)$$

όπου v είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h , v^* είναι η ταχύτητα τριβής, κ η σταθερά του von Karman, και z_0 το μήκος τραχύτητας.



Σχήμα 9: Μετρημένη κατανομή της ταχύτητας του ανέμου

Ενίοτε χρησιμοποιείται ένας εκθετικός νόμος για την περιγραφή της κατανομής της ταχύτητας του ανέμου, της μορφής:

$$v_2 = v_1 (h_2/h_1)^{\alpha}$$

όπου v_2 είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h_2 και v_1 η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h_1 . Η τιμή του α εξαρτάται από τα στοιχεία τραχύτητας του εδάφους και είναι διαφορετικό από το z_0 . Περισσότερες πληροφορίες αναφορικά με τις κατανομές της μέσης ταχύτητας του ανέμου παρέχονται στο χωρίο το σχετικό με τη μετεωρολογία και τη δομή του ανέμου.

3.2 Μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου

Η αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής απαιτεί ιδανικά την ύπαρξη δεδομένων όσο το δυνατόν μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας για την προτεινόμενη θέση εγκατάστασης των Α/Γ. Επιπλέον, ιδιαίτερα χρήσιμη για την πληροφόρηση των σχεδιαστών των Α/Γ είναι η κατανόηση της τύρβης στην περιοχή και γύρω από τον δρομέα. Η επίτευξη των ανωτέρω θα απαιτούσε γρήγορους χρόνους δειγματοληψίας και χωροταξική κατανομή των σημείων μέτρησης. Στην πράξη, όμως, ο χρόνος και το κόστος καθιστούν απαγορευτική μία τέτοια λεπτομερή διερεύνηση.

Οι μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου είναι οι πλέον κρίσιμες για την αξιολόγηση του αιολικού πόρου, τον προσδιορισμό της απόδοσης και την πρόβλεψη της ετήσιας παραγωγής ενέργειας. Σε οικονομικούς όρους, οι αβεβαιότητες μεταφράζονται άμεσα σε οικονομικό ρίσκο. Δεν υπάρχει άλλος κλάδος όπου η σημασία της αβεβαιότητας στις μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου να είναι τόσο μεγάλη όσο στις αιολικές εφαρμογές. Λόγω της έλλειψης εμπειρίας, πολλές μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου έχουν απαράδεκτα υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας, επειδή δεν ακολουθούνται σωστές πρακτικές κατά την επιλογή των ανεμόμετρων, τη βαθμονόμησή τους, την τοποθέτησή τους, καθώς και στην επιλογή της θέσης μέτρησης.

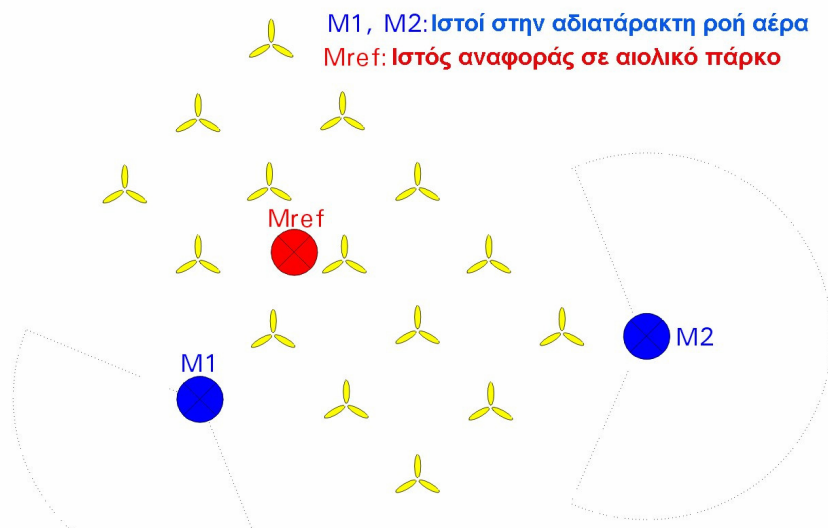
Μία σύγκριση της βαθμονόμησης των ανεμόμετρων σε διεθνές επίπεδο απέδειξε την ύπαρξη επιπέδων αβεβαιότητας μεγαλύτερων από $\pm 3,5\%$, σε βαθμονομήσεις που έγιναν σε διαφορετικές αεροσήραγγες. Αυτό αντιστοιχεί σε επίπεδο αβεβαιότητας περίπου 10% στην πρόβλεψη της ενεργειακής παραγωγής. Οι αεροσήραγγες που έγιναν αποδεκτές από το δίκτυο μετρήσεων MEASNET δεν διέφεραν περισσότερο από το 0,5% της ταχύτητας αναφοράς. Το MEASNET προσφέρει μια διαδικασία μέτρησης για βαθμονομήσεις των κυπελλοφόρων ανεμόμετρων, που αναπτύχθηκε ειδικά για τις αιολικές εφαρμογές.

Είναι πολύ σημαντικό κάθε ανεμόμετρο που χρησιμοποιείται για μετρήσεις ταχύτητας του ανέμου να βαθμονομείται μεμονωμένα σε κάποια αεροσήραγγα. Πάντως, εάν η συλλογή δεδομένων πρόκειται να έχει μεγάλη χρονική διάρκεια, συνιστάται να γίνονται και επιτόπιες βαθμονομήσεις με τη χρήση κάποιου ανεμόμετρου αναφοράς. Εξίσου σημαντική με τη βαθμονόμηση των ανεμόμετρων είναι και η επιλογή τους. Η κακή σχεδίαση των ανεμόμετρων, ακόμα κι αν αυτά είναι ειδικά βαθμονομημένα σε αεροσήραγγα, προκαλεί υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας στις μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου.

Ο λόγος είναι ότι για τυρβώδη άνεμο, υπό πραγματικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, τα ανεμόμετρα συμπεριφέρονται διαφορετικά απ' ό,τι στην αεροσήραγγα. Από έρευνες έχει προκύψει ότι μερικά ανεμόμετρα είναι εξαιρετικά ευαίσθητα σε αποκλίσεις της διεύθυνσης της ροής, οι οποίες υπό πραγματικές συνθήκες εμφανίζονται ακόμη και σε επίπεδη τοπογραφία, λόγω της τύρβης του αέρα. Οι επιδράσεις αυτές έχουν μεγάλη σημασία στη σύνθετη τοπογραφία και οδηγούν σε υπερ- ή υπο-εκτίμηση των πραγματικών ταχυτήτων του ανέμου. Σε λίγες μόνο σχεδιάσεις ανεμόμετρων δεν υφίστανται αυτές οι δυσμενείς επιδράσεις.

Μια άλλη πηγή σφαλμάτων στις μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου είναι η τοποθέτηση των ανεμόμετρων. Οι βραχίονες πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η διαταραχή του πεδίου ροής λόγω της παρουσίας τους, καθώς και αυτή λόγω της παρουσίας του ιστού. Οι ίδιοι κανόνες ισχύουν και όταν απαιτείται αντικεραυνική προστασία. Προκειμένου να αποφευχθεί η περίπτωση απόκλισης της ροής, εξίσου σημαντική είναι η ακριβής τοποθέτηση των ανεμόμετρων και κατά την οριζόντια έννοια. Οι ορθά υλοποιούμενες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου για μία περίοδο τουλάχιστον ενός έτους ελαττώνουν τον οικονομικό κίνδυνο ενός αιολικού πάρκου, αφού τα επίπεδα αβεβαιότητας των μετρήσεων αυτών είναι πολύ μικρότερα από τις προλέξεις των μοντέλων προσομοίωσης της ροής του ανέμου.

Η θέση εγκατάστασης του μετρητικού ιστού πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά ώστε να είναι αντιπροσωπευτική του αιολικού πάρκου. Για μεγάλα αιολικά πάρκα σε σύνθετη τοπογραφία πρέπει να επιλέγονται δύο ή τρεις αντιπροσωπευτικές θέσεις για την εγκατάσταση ισάριθμων μετρητικών ιστών. Τουλάχιστον μία μέτρηση πρέπει να εκτελεσθεί στο ύψος της πλήμνης των προς εγκατάσταση Α/Γ, δεδομένου ότι η προεκβολή από ένα χαμηλότερο ύψος στο ύψος αυτό προκαλεί πρόσθετες αβεβαιότητες. Εάν ένας από τους μετρητικούς ιστούς τοποθετηθεί κοντά στην περιοχή του αιολικού πάρκου (όπως ο M1 ή ο M2 στο σχήμα 10), τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ιστός αναφοράς της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του αιολικού πάρκου, καθώς και για τον προσδιορισμό της τμηματικής απόδοσης ισχύος του αιολικού πάρκου.



Σχήμα 10: Πιθανές θέσεις εγκατάστασης μετρητικών ιστών πριν και μετά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου

Εάν η παραγωγή ενέργειας ενός αιολικού έργου είναι εγγυημένη μέσω ενός σχετικού συμβολαίου, τότε τα συμβαλλόμενα μέρη πρέπει να αποφασίσουν σχετικά με τη θέση ανάρτησης του ιστού και ένας ανεξάρτητος φορέας θα πρέπει να αναλάβει τις ανεμολογικές μετρήσεις και την αξιολόγησή τους. Για τη συλλογή δεδομένων από μια συγκεκριμένη θέση, ένας ή περισσότεροι ανεμολογικοί ιστοί τοποθετούνται κοντά στις προτεινόμενες για τις Α/Γ θέσεις. Όλες οι μετρήσεις πρέπει να καταγράφονται και τα δεδομένα είτε να αποθηκεύονται επί τόπου σε κάποιο μαγνητικό μέσο, είτε να μεταφέρονται αυτόματα σε άλλο χώρο, π.χ. στο γραφείο του υπεύθυνου ανάπτυξης.

Προφανώς είναι απαραίτητες οι μετρήσεις της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου, χρειάζεται όμως να καταγράφονται και άλλα μετεωρολογικά στοιχεία, όπως η θερμοκρασία και η πίεση, για σύγκριση μεταξύ διαφορετικών θέσεων και για την πληρότητα του συνόλου των δεδομένων. Ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό πρέπει να είναι ανθεκτικός και αξιόπιστος, δεδομένου ότι, ως επί το πλείστον, θα παραμείνει έκθετος για μεγάλες χρονικές περιόδους. Μετρήσεις της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου απαιτούνται σε δύο τουλάχιστον ύψη, στα 10m και στο ύψος της πλήμνης. Εάν τα δεδομένα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και για τον υπολογισμό της τραχύτητας της επιφάνειας της υπό εξέταση περιοχής (z_0), τότε πρέπει να συμπεριληφθεί τουλάχιστον ένα ύψος μέτρησης ακόμα.

Τα δεδομένα για τη μέση ταχύτητα του ανέμου συλλέγονται συνήθως με τη χρήση κυπελλοφόρων ανεμόμετρων, τα οποία είναι αξιόπιστα και σχετικά φθηνά. Τα εν λόγω ανεμόμετρα έχουν συχνά πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά απόκρισης από εκείνα που χρησιμοποιούνται στους μετεωρολογικούς σταθμούς. Η διεύθυνση του ανέμου μετριέται με έναν ανεμοδείκτη. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου και η διεύθυνσή του. Εάν απαιτούνται στοιχεία για την τύρβη της περιοχής, τότε είναι αναγκαία η ύπαρξη τρισδιάστατων δεδομένων. Αυτά συλλέγονται με τη χρήση ανεμόμετρων τύπου έλικας, τα οποία είναι μειωμένης αντοχής, ή με ηχητικά ανεμόμετρα, τα οποία όμως είναι πολύ ακριβά.

Τα ανεμόμετρα αυτά παρέχουν στοιχεία τόσο για την ταχύτητα όσο και για τη διεύθυνση του

ανέμου. Η δειγματοληψία των στοιχείων πρέπει να γίνεται με μεγάλη συχνότητα, έως 20Hz. Για τον λόγο αυτό, η χωρητικότητα των ταινιών αποθήκευσης εξαντλείται γρήγορα, δυσκολεύοντας την αδιάκοπη καταγραφή σε συνεχή βάση. Η περιστροφή των δύο πρώτων τύπων ανεμόμετρων είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου, η οποία μετριέται είτε μέσω κάποιας μεταβαλλόμενης τάσης είτε με μία σειρά παλμών. Όλα τα περιστροφικά ανεμόμετρα έχουν μία οριακή ταχύτητα εκκίνησης, η οποία συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 2,0 m/s.

Η απόκριση του οργάνου στις μεταβολές της ταχύτητας περιγράφεται είτε από μία σταθερά χρόνου είτε από μία σταθερά απόστασης. Η σταθερά απόστασης είναι το μήκος της στήλης του αέρα που πρέπει να διαπεράσει την κεφαλή του οργάνου ώστε αυτό να αποκριθεί στο 63,2% της βηματικής μεταβολής και εξαρτάται μόνο από την πυκνότητα του αέρα. Η σταθερά χρόνου είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε το ανεμόμετρο να αντιδράσει στο 63,2% της βηματικής μεταβολής και είναι αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Κατά συνέπεια, στα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα υπάρχει η τάση υπερεκτίμησης του επιβραδυνόμενου ανέμου, το οποίο είναι γνωστό ως “σφάλμα υπέρβασης”.

Οι ανεμοδείκτες είναι συνήθως πολύστροφα ποτενσιόμετρα. Τυπικά, η μέγιστη τάση επιστρέφεται για το Βορρά σε σχέση με το σώμα του οργάνου, και η ελάχιστη για τις 357° περίπου. Έτσι, υφίσταται ένα κενό κοντά στο Βορρά του οργάνου. Τα σφάλματα των οργάνων συνήθως κυμαίνονται στις $\pm 2^\circ$, ενώ οι διευθύνσεις αναλύονται στις $0,3^\circ$ περίπου. Τα όργανα πρέπει να ευθυγραμμίζονται προσεκτικά, και συχνά αυτή είναι η μεγαλύτερη πηγή σφαλμάτων. Ο ανεμοδείκτης επηρεάζεται από τη σκίαση του ιστού, οπότε συχνά τοποθετείται έτσι ώστε ο ιστός να είναι ανάντη της λιγότερο πιθανής κατεύθυνσης του ανέμου. Μία πλήρης λίστα των διάφορων τύπων ανεμόμετρων που χρησιμοποιούνται και των χαρακτηριστικών τους παρέχεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά των διάφορων τύπων ανεμόμετρων

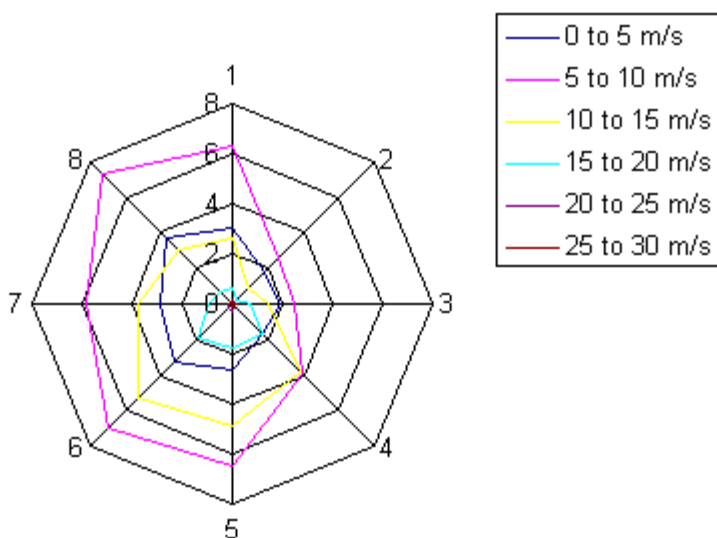
Τύπος	Μέθοδος μέτρησης	Σχόλια
Κυπελλοφόρα	Η ταχύτητα του ανέμου συσχετίζεται με την περιστροφική ταχύτητα των κυπέλλων.	Ανθεκτικά, αξιόπιστα και φθηνά.
Έλικας	Η ταχύτητα του ανέμου συσχετίζεται με την περιστροφική ταχύτητα των ελίκων.	Χρειάζονται ευθυγράμμιση με τον άνεμο, έχουν ταχύτερη απόκριση από τα κυπελλοφόρα, αλλά είναι μειωμένης αντοχής.
Σωλήνων πίεσης	Αναλογία μεταξύ ταχύτητας του ανέμου και της πίεσης στο σωλήνα.	Χρειάζονται ευθυγράμμιση με τον άνεμο, έχουν αργή απόκριση
Θερμού νήματος	Η ταχύτητα του ανέμου συσχετίζεται με την ψύξη του νήματος.	Πολύ ευαίσθητα και με γρήγορη απόκριση, επιρρεπή στις φθορές, χρησιμοποιούνται συνήθως σε αεροσήραγγες.
Ηχητικά	Η ταχύτητα του ανέμου συσχετίζεται με το χρόνο που μεσολαβεί για την μεταφορά ενός ηχητικού σήματος μεταξύ πομπού και δέκτη.	Μετρούν τις τιμές της ταχύτητας, διεύθυνσης και τύρβης του ανέμου, δύσκολα στη βαθμονόμησή τους.

Όπως γίνεται αντιληπτό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να γίνεται αξιόπιστα η καταγραφή των δεδομένων. Για το λόγο αυτό, τα καταγραφικό όργανο πρέπει να προφυλάσσεται από τις

καιρικές συνθήκες, κυρίως από τη βροχή. Σε πολλές μετρήσεις συμβαίνει απώλεια μεγάλου όγκου δεδομένων εξαιτίας μιας σειράς προβλημάτων, μεταξύ των οποίων είναι η διείσδυση νερού και οι διακοπές στην τροφοδοσία. Οι περισσότερες πιθανές θέσεις εγκατάστασης Α/Γ συνήθως βρίσκονται σε αφιλόξενο περιβάλλον, εντούτοις στην αγορά σήμερα διατίθενται αρκετά αξιόπιστα συστήματα καταγραφής. Επίσης, συνηθίζεται η μεταφορά των δεδομένων μέσω μόντεμ σε κάποιο σταθμό επεξεργασίας τους. Αυτό παρέχει το πλεονέκτημα της τακτικής παρακολούθησης των δεδομένων και τυχόν προβλήματα στα όργανα εντοπίζονται άμεσα. Ο προσεκτικός προγραμματισμός της διαδικασίας συλλογής των δεδομένων είναι ουσιώδης στη φάση της ανάπτυξης ενός αιολικού έργου.

3.3 Παρουσίαση των αποθηκευμένων δεδομένων

Οι πληροφορίες σχετικά με τον καθημερινό καιρό συνήθως διατίθενται ελεύθερα από τις κατά τόπους μετεωρολογικές υπηρεσίες. Εντούτοις, συνήθως υφίσταται κάποια χρέωση για την παροχή αρχειοθετημένων δεδομένων και υπηρεσιών γνωμοδότησης. Η μέση ταχύτητα του ανέμου και η διεύθυνσή του παρουσιάζονται συχνά μαζί σε ένα ανεμολόγιο, όπως αυτό του σχήματος 11. Σ' αυτό γίνονται εμφανείς οι επικρατούντες άνεμοι ετησίως σε κάθε μετεωρολογικό σταθμό. Μπορούν επίσης να υποδιαιρεθούν τα δεδομένα ώστε να δειχθεί η μηνιαία ή/και εποχιακή μεταβολή των μέσων ανέμων. Στη βόρεια Ευρώπη, σε γενικές γραμμές, οι κυρίαρχοι άνεμοι είναι οι νοτιοδυτικοί. Εντούτοις, μπορεί να εμφανισθούν σημαντικές εποχιακές μεταβολές στην ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου.

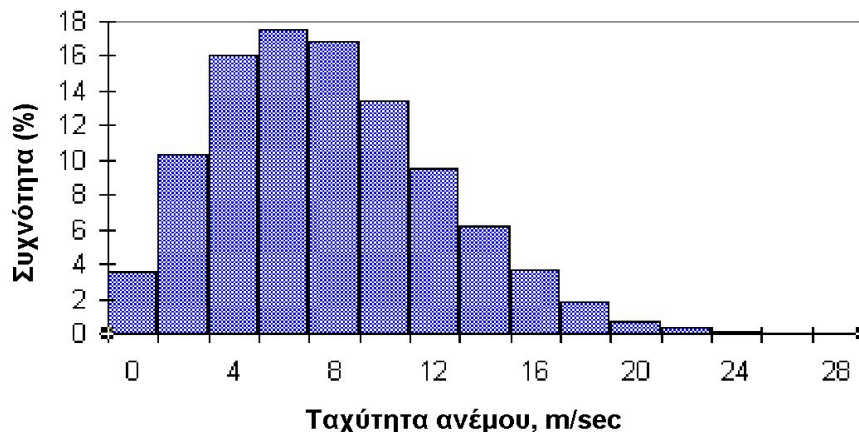


Σχήμα 11: Παράδειγμα ενός ανεμολόγιου

Στη νότια Ευρώπη, το ανεμολογικό καθεστώς χαρακτηρίζεται από εποχιακούς ανέμους. Ο κρύος χειμερινός καιρός συνδέεται με βόρειους και βορειοανατολικούς ανέμους. Οι μεταβολές αυτές είναι εμφανείς στα αρχεία ταχύτητας του ανέμου και θερμοκρασίας των σταθμών. Τα μετεωρολογικά δεδομένα μεμονωμένων σταθμών μπορεί επίσης να παρουσιάζονται υπό τη μορφή πίνακα συχνοτήτων. Τα στοιχεία τότε κατηγοριοποιούνται κατά εύρη ταχυτήτων και διευθύνσεων του ανέμου και παρουσιάζονται για ολόκληρο το έτος ή/και για κάθε μήνα ξεχωριστά υπό μορφή πίνακα, όπως αυτός που ακολουθεί:

Ταχύτητα ανέμου, m/sec	Βόρειοι	ΒΑ	Ανατολικοί	ΝΑ	Νότιοι	ΝΔ	Δυτικοί	ΒΔ	Σύνολο
0	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	3.6
2	1.4	0.8	1	0.9	1.3	1.6	1.4	1.8	10.3
4	2.4	1.3	1.2	1.2	2	2.5	2.3	3.1	16
6	2.8	1.2	1	1.5	2.5	2.9	2.3	3.2	17.5
8	2.3	0.8	0.9	1.9	3	2.9	2.4	2.6	16.9
10	1.5	0.5	0.7	1.8	2.4	2.6	2	1.8	13.4
12	0.9	0.3	0.5	1.5	1.9	2	1.4	1	9.5
14	0.5	0.2	0.4	1.1	1.2	1.5	0.7	0.5	6.2
16	0.2	0.1	0.3	0.8	0.8	0.8	0.4	0.3	3.7
18	0.2	0.05	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.1	1.8
20	0.1	0.05	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.7
22	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.05	0.05	0.05	0.3
24	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1
26	0.05		0.05	0.05	0.05		0.05	0.05	0.05
28	0.05		0.05	0.05	0.05			0.05	0.05
30									
U mean	7.76 m/s								

Στη συνέχεια, μπορεί να υπολογιστεί η μέση και η επικρατούσα ταχύτητα του ανέμου (συνήθως κάπως χαμηλότερη) με την αποτύπωση των δεδομένων ως μία κατανομή πιθανότητας, όπως αυτή που παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα 12. Τα δεδομένα μπορούν έπειτα να αντιστοιχισθούν με μια κατανομή Weibull, οπότε μπορεί να γίνει και μία εκτίμηση της διαθέσιμης ισχύος. Έτσι, οι υπεύθυνοι ανάπτυξης μπορούν να προσδιορίσουν τα κριτήρια στα οποία θα βασιστεί η επιλογή των ανεμογεννητριών. Στοιχεία από πολυετείς μετρήσεις διατίθενται από κάθε μετεωρολογικό σταθμό και αποτελούν ένα καλό στατιστικό δείγμα, το οποίο όμως δεν πρέπει να επηρεάζεται από μεμονωμένα μη αντιπροσωπευτικά έτη.



Σχήμα 12: Τυπική κατανομή πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου

3.4 Ανάλυση των επιτόπιων μετρήσεων

Τα στοιχεία μπορούν να αναλυθούν άμεσα μερικώς ή να αποθηκευτούν για κατοπινή χρήση, ανάλογα με τις δυνατότητες και την ευκολία πρόσβασης στη θέση. Εν γένει τα δεδομένα καταγράφονται κάθε λεπτό, ενώ η πιο ταχεία καταγραφή επιτρέπει την απόκτηση πληροφοριών γύρω από τα χαρακτηριστικά της τύρβης στη θέση αυτή. Είναι αναγκαίος ο ποιοτικός έλεγχος των στοιχείων για την αφαίρεση των ανεπαρκών μετρήσεων, τη βαθμονόμηση των ενδείξεων και τον έλεγχο της συμβατότητας των δεδομένων. Τα υπόλοιπα δεδομένα αναλύονται για να

δώσουν συνήθως τις μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου ανά δεκάλεπτο καθ' όλη την ημέρα, για κάθε ημέρα του έτους, ώστε να συμπεριληφθούν όλες οι εποχιακές μεταβολές.

Από μερικές μελέτες προκύπτει ότι, για να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη εκτίμηση του ετήσιου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, η ελάχιστη περίοδος μετρήσεων πρέπει να είναι 8 μήνες. Άλλοι ερευνητές ισχυρίζονται ότι είναι πιο σημαντικός ο αιολικός πόρος κατά τη χειμερινή περίοδο, καθώς αυτή συμπίπτει με την περίοδο μέγιστης ζήτησης φορτίου. Τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να ταξινομηθούν κατά εύρη ταχυτήτων, είτε για κάθε διεύθυνση του ανέμου είτε ως σύνολο. Κατόπιν υπολογίζεται το πλήθος των μετρήσεων που εμπίπτει σε κάθε συγκεκριμένο εύρος ταχυτήτων και παρίσταται γραφικά ως ποσοστό του συνόλου των μετρήσεων για να παράσχει την κατανομή συχνότητας.

Από τα δεδομένα αυτά μπορούν να προσδιοριστούν η μέση και η επικρατέστερη ταχύτητα του ανέμου. Παράλληλα, μπορεί να εξαχθεί μια κατανομή της ισχύος που εμπεριέχεται στον άνεμο (ανάλογη του κύβου της ταχύτητας). Τα δεδομένα μπορούν επίσης να παρουσιαστούν ως την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να είναι μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή, συνήθως μηδέν ($u > 0$). Εν γένει τα στοιχεία αυτά μπορούν να αντιστοιχιστούν με μία διπαραμετρική κατανομή Weibull, όπου οι δύο παράμετροι k και c προσδιορίζονται με τη χρήση τεχνικών όπως η μέθοδος των ροπών, των ελαχίστων τετραγώνων, κλπ.

Πιο συγκεκριμένα, η διπαραμετρική κατανομή Weibull έχει βρεθεί να προσαρμόζει πολλά δεδομένα ανέμου με αποδεκτή ακρίβεια. Εκφράζεται από τη σχέση:

$$p(U) = \frac{k}{c} \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right) \quad (3.1)$$

όπου $p(U)$ είναι η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της μέσης ταχύτητας του ανέμου U , c είναι η παράμετρος κλίμακας (με μονάδες ταχύτητας), και k είναι η παράμετρος μορφής (αδιάστατη). Όταν $k=2$ η κατανομή ανάγεται σε μια κατανομή Rayleigh, ενώ εάν $k=1$ προκύπτει μια εκθετική κατανομή. Αυτές είναι ειδικές περιπτώσεις της κατανομής Weibull. Στο μεγαλύτερο μέρος της βόρειας Ευρώπης οι συντελεστές k είναι κοντά στο 2.

Ολοκληρώνοντας τον πρώτο όρο της εξίσωσης (3.1) διαπιστώνεται ότι η παράμετρος κλίμακας c συσχετίζεται με τη μέση ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή, αφού:

$$\bar{U} = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3.2)$$

όπου $\Gamma(\bullet)$ είναι η πλήρης συνάρτηση Γάμα. Ομοίως,

$$\bar{U}^n = c^n \Gamma\left(1 + \frac{n}{k}\right), \quad \text{οπότε: } \bar{U}^3 = c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (3.3)$$

Κατόπιν, η διαθέσιμη πυκνότητα ισχύος E (σε Watts/m²) προκύπτει ως:

$$E = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (3.4)$$

ενώ η παράμετρος μορφής k σχετίζεται με το τετράγωνο της τυπικής απόκλισης του ανέμου σ^2 μέσω της σχέσης:

$$\sigma^2 = c^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right] \quad (3.5)$$

Από την άλλη, είναι πολύ σημαντικό το να είναι αντιπροσωπευτικά τα συλλεχθέντα δεδομένα, δηλ. η μετρηθείσα χρονιά να μην είναι ιδιαίτερος ήρεμη ή ανεμώδης. Για να εξασφαλιστεί αυτό χρειάζονται δεδομένα δεκαετίας. Προφανώς, αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό για μία θέση. Είναι παρόλα αυτά δυνατό να συγκριθούν τα δεδομένα της θέσης με τα δεδομένα μιας κοντινής θέσης και να εκτελεσθεί κάποιου τύπου μεθοδολογία μέτρησης – συσχέτισης – πρόβλεψης (MCP) για την αποτελεσματική επέκταση του σετ των δεδομένων στα 10 χρόνια.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι MCP, όπως οι ακόλουθες:

1. Αντιστοίχιση - εξαγωγή των παραμέτρων της Weibull από τη θέση μέτρησης και τη θέση αναφοράς, συσχετισμός τους για την περίοδο των μετρήσεων και στη συνέχεια εφαρμογή της διόρθωσης στα υπόλοιπα δεδομένα αναφοράς.
2. Υπολογισμός του συντελεστή διόρθωσης της ταχύτητας του ανέμου μεταξύ των θέσεων μέτρησης και αναφοράς, κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων και για κάθε εύρος διευθύνσεων του ανέμου.
3. Προσαρμογή συνεχών συναρτήσεων σε όλα τα δεδομένα της περιόδου μέτρησης και εφαρμογή τους στα υπόλοιπα δεδομένα αναφοράς.

Μόλις προσδιοριστεί μία μακροχρόνια κατανομή συχνότητας μπορεί να αντιστοιχιστεί η καμπύλη ισχύος μίας Α/Γ με τα ανεμολογικά δεδομένα, οπότε προκύπτει μία κατανομή συχνότητας της παραγόμενης ισχύος. Αυτή ισούται με την αναμενόμενη κατ' έτος παραγόμενη ισχύ στη θέση. Τα δεδομένα μπορούν φυσικά να συγκριθούν ως προς διαφορετικούς τύπους και διαμορφώσεις Α/Γ για τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

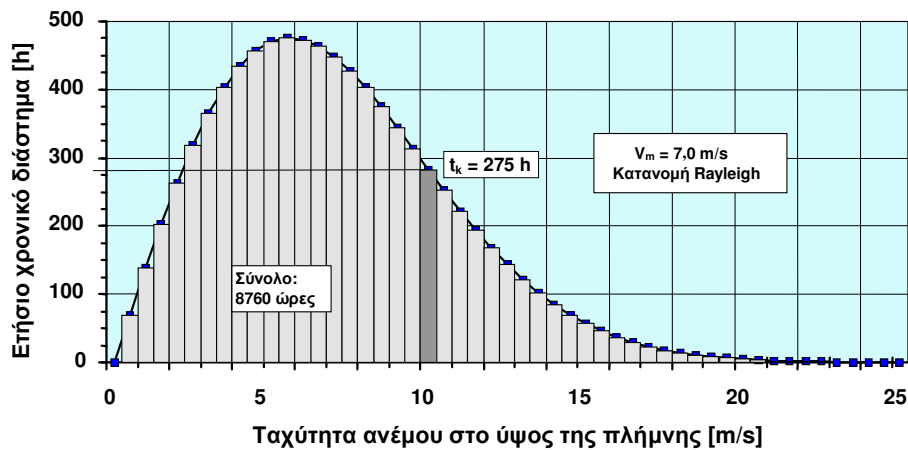
Η ετήσια παραγωγή ενέργειας μιας Α/Γ αποτελεί τον πιο σημαντικό οικονομικό παράγοντα. Οι όποιες αβεβαιότητες στον προσδιορισμό των καμπυλών της ετήσιας ταχύτητας του ανέμου και της ισχύος συμβάλλουν στη συνολική αβεβαιότητα όσον αφορά την πρόβλεψη της ετήσιας παραγωγής ενέργειας και οδηγούν σε μεγαλύτερο οικονομικό ρίσκο. Στα επόμενα παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού της Ετήσιας Ενεργειακής Παραγωγής (ΕΕΠ), για τον οποίο εφαρμόζονται οι ακόλουθες μέθοδοι:

- Ιστόγραμμα ταχύτητας του ανέμου και καμπύλη ισχύος.
- Θεωρητική καμπύλη κατανομής της ταχύτητας του ανέμου και καμπύλη ισχύος.

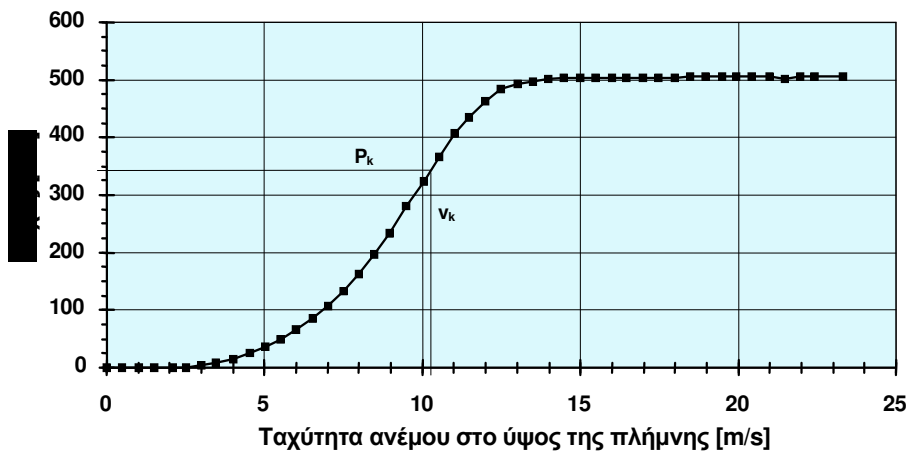
4.1 Υπολογισμός της ΕΕΠ με χρήση ιστογράμματος της ταχύτητας του ανέμου

Εάν το ιστόγραμμα της ταχύτητας του ανέμου είναι γνωστό από τις μετρήσεις, μπορεί να γίνει μια καλή εκτίμηση της ΕΕΠ με τη χρήση αυτού (σχήμα 13) και της καμπύλης ισχύος της Α/Γ (σχήμα 14). Για κάθε εύρος ταχύτητας του ανέμου, ο αριθμός των ωρών του εύρους πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη ισχύ που παράγεται από την Α/Γ και προκύπτει η παραγωγή ενέργειας που αντιστοιχεί σ' αυτό το εύρος. Αυτές οι τιμές αθροίζονται στο τέλος για να προκύψει η ετήσια παραγωγή ενέργειας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι υπάρχει ένα κάτω

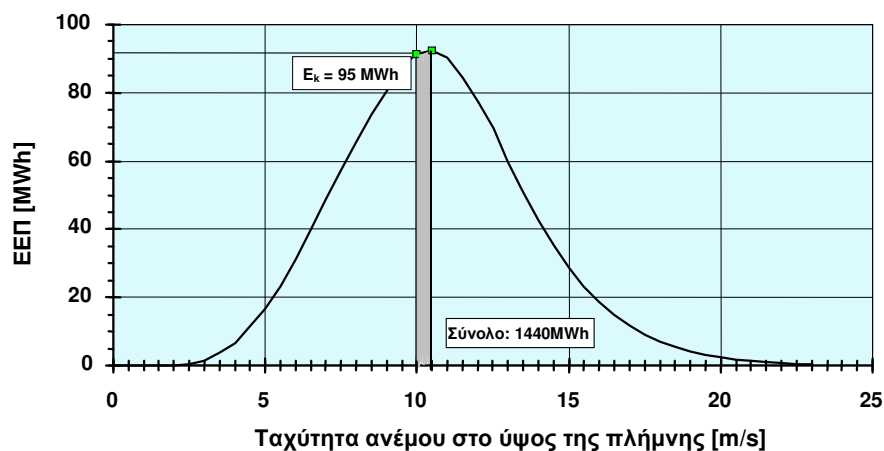
και ένα άνω όριο ταχύτητας, όπου πέρα από αυτά η Α/Γ δεν λειτουργεί. Επομένως, αυτά τα εύρη ταχυτήτων πρέπει να αποκλειστούν από το συνολικό άθροισμα.



Σχήμα 13: Παράδειγμα ιστογράμματος από μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου ($v_k=10,25$ m/s; $t_k=275$ h)



Σχήμα 14: Παράδειγμα καμπύλης ισχύος για τυπική πυκνότητα του αέρα ($1,225$ kg/m³) ($P_k=345$ kW; $v_k=10,25$ m/s)



Σχήμα 15: Παράδειγμα εκτιμώμενης παραγωγής ενέργειας στο εύρος ταχυτήτων k ($E_k=95$ MWh)

Η συνολική παραγωγή ενέργειας σε ένα έτος είναι (βλ. σχήμα 4.3): $E = \sum_{i=1}^{i=n} P[i] * h[i]$

4.2 Υπολογισμός της ΕΕΠ με την χρήση της θεωρητικής κατανομής της ταχύτητας του ανέμου

Εάν η κατανομή της ταχύτητας στη θέση ενδιαφέροντος δεν είναι γνωστή, μπορεί να υπολογιστεί ένα ιστόγραμμα ταχυτήτων από τη γνωστή ή την εκτιμώμενη μέση ταχύτητα του ανέμου. Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου συνήθως χρησιμοποιούνται δύο θεωρητικές κατανομές. Η κατανομή Weibull χρησιμοποιεί δύο παραμέτρους, μία παράμετρο μορφής και μία κλίμακας. Δεδομένου ότι η παράμετρος μορφής είναι συχνά άγνωστη, συνηθίζεται η χρήση της κατανομής Rayleigh, η οποία είναι πανομοιότυπη με μια κατανομή Weibull με παράμετρο μορφής ίση με 2.

Η κατανομή Rayleigh έχει την εξής έκφραση:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^2}$$

όπου $F(v)$ είναι η αθροιστική κατανομή Rayleigh για την ταχύτητα του ανέμου και \bar{v} είναι η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης. Τότε, η παραγωγή ενέργειας ετησίως προκύπτει ως:

$$EEΠ = 8760 * \sum_{i=1}^{i=N} [F(v_i) - F(v_{i-1})] \left(\frac{P_{i-1} + P_i}{2} \right)$$

όπου N είναι ο αριθμός των διαστημάτων, v_k η ταχύτητα v του ανέμου στο διάστημα k , P_k είναι η μέση παραγωγή ισχύος στο διάστημα k .

5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ

Πέραν της κατάστασης του ανέμου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και πολλοί άλλοι παράγοντες για την τελική επιλογή της βέλτιστης τοποθεσίας εγκατάστασης μιας αιολικής μονάδας. Αυτοί εν συντομία περιλαμβάνουν:

- την πρόσβαση στο δίκτυο,
- την πρόσβαση στις τοπικές οδούς,
- τις τοπικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, περιλαμβανομένης της ταξινόμησης του εδάφους,
- τη γειτνίαση με κατοικημένες περιοχές,
- τις επιπτώσεις του θορύβου,
- την παρεμβολή στα σήματα του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης, κλπ.

Οι τοποθεσίες των αιολικών πάρκων και οι αντίστοιχες καιρικές συνθήκες θέτουν στους μηχανικούς μεγάλες προκλήσεις ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του σχεδιασμού των αιολικών μονάδων και να εγκαθιστούν τα συστήματα. Η δύσκολη πρόσβαση στη θέση μπορεί να δυσχεράνει την παραλαβή των μεγάλων και βαρέων εξαρτημάτων, τα βραχύδη εδάφη μπορεί να καταστήσουν αδύνατη τη θεμελίωση, ενώ η βροχή και η ομίχλη μπορεί να επιφέρουν

διείσδυση νερού στις συνδέσεις και τους τερματισμούς των καλωδιώσεων. Θέματα όπως η θέση του μετασχηματιστή και η τάση της γεννήτριας αποκτούν επίσης σημασία καθώς αυξάνονται τα μεγέθη των ανεμογεννητριών. Ένα ιδιαίτερο θέμα για τα ηλεκτρικά συστήματα των αιολικών πάρκων είναι η επιλογή της τάσης του συστήματος διανομής της θέσης.

5.1 Πρόσβαση στη θέση

Η κατασκευή και η λειτουργία μιας αιολικής εγκατάστασης απαιτεί τη χρήση βαρέως εξοπλισμού για την προετοιμασία της θέσης, τη μεταφορά των υλικών κατασκευής και των εξαρτημάτων, αλλά και για την ανέγερση των Α/Γ και των ηλεκτρικών στύλων και πύργων. Έτσι, μπορεί να υπάρξει πιθανότητα τα αιολικά έργα να επηρεάσουν τις αγροτικές οδούς που σχεδιάζονται για αραιή κυκλοφορία ή ελαφρά οχήματα. Είναι πιθανό να πρέπει να ανοικοδομηθούν ή να ενισχυθούν τα υφιστάμενα υποστρώματα των οδών για να υποστηρίξουν τέτοια επιπλέον φορτία χωρίς να καταστραφούν, και να αυξηθεί η συχνότητα της προγραμματισμένης συντήρησης των οδών αυτών.

Η κατασκευή νέων οδών σε πλαγιές λόφων για την πρόσβαση στις κορυφές επίσης προκαλεί πιθανότητα διάβρωσης που μπορεί μακροπρόθεσμα να επιφέρει οπτικές μεταβολές στην περιοχή. Έτσι, μειώνοντας την ανάγκη για οδούς στα πλαίσια μιας αιολικής εγκατάστασης μειώνονται τα κόστη υποδομής, τα προβλήματα διάβρωσης και ποιότητας του νερού, καθώς και οι οπτικές επιπτώσεις. Με τη χρήση αερο-γέφυρας για τη μεταφορά των συνιστωσών των Α/Γ και την εγκατάστασή τους, για τις κύριες εργασίες συντήρησης, κλπ. μειώνεται κατά πολύ το μέγεθος και η διάνοιξη οδών σε απομονωμένες ή ευαίσθητες οπτικά περιοχές. Αυτό το είδος μεταφοράς επίσης μειώνει τις επιπτώσεις στις δημόσιες και επαρχιακές οδούς και προσφέρεται για ταχύτερη εγκατάσταση, αλλά είναι ακριβή και μπορεί να είναι ανέφικτη για τις μεγάλες ανεμογεννήτριες.

Γενικά, είναι σκόπιμο να:

- χρησιμοποιούνται τεχνικές κατασκευής και συντήρησης που δεν απαιτούν τη χρήση οδών, με σκοπό τη μείωση των προσωρινών και μόνιμων απωλειών γης,
- περιορίζονται οι κινήσεις των οχημάτων κατά κύριο λόγο στις υφιστάμενες οδούς πρόσβασης,
- περιορίζεται ο αριθμός των νέων οδών πρόσβασης, το πλάτος των νέων οδών και να αποφεύγονται ή ελαχιστοποιούνται οι κοπές και τα επιχωματώσεις,
- κατασκευάζονται νέοι οδοί πρόσβασης που να ακολουθούν κατά τη μεγαλύτερη δυνατή έκταση τις υφιστάμενες χαράξεις.

5.2 Ένταξη στο δίκτυο

5.2.1 Δημόσιο ηλεκτρικό σύστημα μεταφοράς και διανομής

Οι ανεμογεννήτριες συνήθως εγκαθίστανται σε αγροτικές ή ορεινές περιοχές όπου η ηλεκτρική σύνδεση με τον πλησιέστερο υποσταθμό ηλεκτρισμού μπορεί να είναι αδύνατη και η τοπική ζήτηση για ηλεκτρισμό μπορεί να είναι πολύ μικρότερη από το αιολικό δυναμικό παραγωγής. Ένας τρόπος για τον καθορισμό της «αντοχής» του ηλεκτρικού δικτύου είναι μέσω του επιπέδου αστοχίας, που αποτελεί ένα μέτρο του ρεύματος που θα κυκλοφορήσει όταν υπάρξει κάποιο πρόβλημα σ' ένα δίκτυο. Στην άκρη ενός μακροσκελούς ηλεκτρικού κυκλώματος το επίπεδο

αστοχίας θα είναι πολύ μικρότερο απ' ό,τι στο κέντρο ενός διασυνδεδεμένου δικτύου, για παράδειγμα σε μια πόλη ή μια βιομηχανική περιοχή.

Σε μια θέση με χαμηλό επίπεδο αστοχίας η επίδραση των Α/Γ μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να ενοχλεί τους τοπικούς καταναλωτές. Για τον λόγο αυτό, είναι μερικές φορές απαραίτητο να ενισχυθεί το δίκτυο ή να συνδεθούν οι Α/Γ σε κάποιο τμήμα του δικτύου με υψηλότερη τάση ή που να είναι ισχυρότερο, αρκετά μακριά από τη θέση. Αυτό όμως θα αυξήσει το κόστος. Τα συστήματα υψηλότερης τάσης, όπως είναι τα συστήματα μεταφοράς των 400 ή 275 kV, έχουν υψηλά επίπεδα αστοχίας. Γενικά, όσο χαμηλότερη είναι η τάση τόσο ασθενέστερο θα είναι το σύστημα. Οι τάσεις του συστήματος διανομής στις αγροτικές περιοχές των περισσότερων χωρών της Ε.Ε. είναι 132, 33 και 11 kV. Το σύστημα των 11 kV είναι το πιο εκτεταμένο, αλλά είναι απίθανο να υποστηρίξει περισσότερα από ένα έως τρία μεγαβάτ (MW) παραγωγής.

Ως Δημόσιος Προμηθευτής Ηλεκτρισμού (ΔΠΗ) αναφέρεται εδώ η επιχείρηση που διαχειρίζεται το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο (στις περισσότερες περιπτώσεις συμπίπτει με την ΠΕΗ, δηλ. την Περιφερειακή Εταιρεία Ηλεκτρισμού). Ο ΔΠΗ είναι υπεύθυνος για την ασφαλή και οικονομική λειτουργία του συστήματός του και έχει υποχρέωση να διατηρεί ικανοποιητική ποιότητα παροχής στους χρήστες αυτού, ενώ δεν αποτελεί απαραίτητα τον αγοραστή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις Α/Γ. Ο ΔΠΗ πρέπει να ερωτάται για το προτεινόμενο σχήμα από τα αρχικά στάδια.

Οι μηχανικοί του ΔΠΗ θα διεξάγουν αρχικές μελέτες για να εξασφαλίσουν την τεχνική βιωσιμότητα του έργου και μετά μπορούν να καθορίσουν το κόστος της σύνδεσης, το οποίο μπορεί να καθορίσει το κατά πόσο θα προχωρήσει το έργο ή όχι (ο ΔΠΗ μπορεί να χρεώσει γι' αυτήν την υπηρεσία). Το κόστος θα εξαρτηθεί από το μέγεθος της εγκατάστασης, την απόσταση από το πλησιέστερο σημείο διασύνδεσης, και την τάση σύνδεσης. Αυτό το τελευταίο σημείο μπορεί να είναι το πιο σημαντικό, καθώς το κόστος σύνδεσης μπορεί να καταστήσει τα μικρά έργα που βρίσκονται μακριά από το υφιστάμενο σύστημα εντελώς αντικοινωνικά. Αυτό είναι καλύτερο να διαπιστώνεται πριν αναλωθεί πολύ προσπάθεια επί του θέματος.

Στις αγροτικές ή ορεινές περιοχές, είναι πολύ πιθανό το πλησιέστερο σημείο στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο να είναι μία εναέρια γραμμή αντί για ένα υπόγειο καλώδιο. Μπορεί να βρεθεί ένας αριθμός σ' ένα στύλο ή πύργο (πυλώνα) που θα βοηθήσει τους μηχανικούς του ΔΠΗ να προσδιορίσουν στους χάρτες του συστήματος τη θέση της προτεινόμενης εγκατάστασης και, κατόπιν, να καθορίσουν την τάση της γραμμής. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στοιχεία από στρατιωτικούς χάρτες. Κάθε εναέρια γραμμή με μόνο δύο καλώδια μεταφέρει ένα μονοφασικό σύστημα και, συνήθως, χρειάζεται ενίσχυση όταν πρόκειται να εγκατασταθούν γεννήτριες.

5.2.2 Σχεδιασμός της σύνδεσης

Ο προσδιορισμός του κατάλληλου τεχνικού/οικονομικού σχεδιασμού του συστήματος συλλογής της ηλεκτρικής ισχύος για ένα αιολικό πάρκο και η σύνδεσή του με το ηλεκτρικό δίκτυο είναι μια διαδικασία πολυ-παραμετρικής βελτιστοποίησης που απαιτεί μεγάλη εμπειρία από την πλευρά του σχεδιαστή μηχανικού, καθώς επίσης τη διαθεσιμότητα σύγχρονων υπολογιστικών εργαλείων για την διευκόλυνση του έργου της εύρεσης και της τεκμηρίωσης της ορθής λύσης.

Διάφορα ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σ' αυτό το στάδιο είναι τα εξής:

- Η τάση σύνδεσης, η οποία έχει σημαντική επίδραση στο κόστος. Για παράδειγμα, μια νέα γραμμή 33 kV θα κοστίσει αρκετά περισσότερο απ' ό,τι η σύνδεση σε ένα υφιστάμενο κύκλωμα 11 kV. Πάντως, μια νέα γραμμή 11 kV μπορεί να κοστίσει περισσότερο από μια νέα γραμμή 33 kV, για ίδια παραγωγή της αιολικής εγκατάστασης.
- Η τάση διανομής μέσα στην αιολική εγκατάσταση.
- Η διάταξη των μετασχηματιστών και των ανεμογεννητριών.
- Η γείωση: η ηλεκτρική εγκατάσταση πρέπει να είναι επαρκώς γειωμένη ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι άνθρωποι ή ο εξοπλισμός δεν βλάπτονται από τις ηλεκτρικές βλάβες ή τους κεραυνούς, και για συμμόρφωση με τους κανονισμούς παροχής ηλεκτρισμού και ασφάλειας στο χώρο εργασίας. Είναι ένα πολύπλοκο ζήτημα και δεν πρέπει να υποτιμάται.
- Προστασία: πρέπει να διατίθεται εξοπλισμός προκειμένου να εξασφαλίζεται ότι η Α/Γ ή η αιολική διάταξη αποσυνδέεται αυτόματα όταν υπάρχει βλάβη στο δίκτυο. Παρομοίως, το δίκτυο πρέπει να προστατεύεται από τις επιδράσεις των βλαβών μέσα στην αιολική διάταξη.
- Διαδικασία μετρήσεων: το ηλεκτρικό ρεύμα μετριέται στο σημείο σύνδεσης με το τοπικό δίκτυο. Μετρητές απαιτούνται τόσο για την εξαγόμενη όσο και για την εισαγόμενη ενέργεια, αλλά και για την άεργο ισχύ. Η ακρίβεια της μέτρησης και το κόστος αυξάνεται με το μέγεθος της αιολικής εγκατάστασης.

Συνήθως η συνολική διάταξη του αιολικού πάρκου βασίζεται στη βελτιστοποίηση της παραγωγής του πάρκου όσον αφορά τις θέσεις των μεμονωμένων Α/Γ και την προσβασιμότητα σ' αυτές – δηλ. την υποδομή. Η συμμετοχή των βραχυκυκλωμάτων από το δίκτυο αποτελεί μια σημαντική παράμετρο και, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα και τα τιμολόγια του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού – μετασχηματιστές, καλώδια, κύριες μονάδες δακτυλίων, διακόπτες, κλπ. – επιλέγεται μια διάταξη που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του βασικού ηλεκτρικού σχεδιασμού και πιστοποιείται μέσω υπολογισμών αστοχίας ρεύματος.

Τέλος, εκτιμώνται οι συνολικές απώλειες καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου – και η καθαρή παρούσα αξία τους – για να διαπιστωθεί εάν μπορεί να δικαιολογηθεί από οικονομικής πλευράς η χρήση εξοπλισμού με χαμηλότερες απώλειες. Οι υπολογισμοί των απωλειών βασίζονται στο προφίλ παραγωγής του αιολικού πάρκου, το οποίο υπολογίζεται από τις παραμέτρους που περιγράφουν τον άνεμο – τις παραμέτρους Weibull – και την καμπύλη ισχύος των εξεταζόμενων ανεμογεννητριών.

5.3 Άλλα θέματα που επηρεάζουν την επιλογή της θέσης

Οι μονάδες αιολικών προσφέρουν αρκετά σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών σταθμών που λειτουργούν με άνθρακα, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Συγκεκριμένα, δεν χρησιμοποιούν καύσιμο, δεν εκπέμπουν αέριους ρύπους, αέρια θερμοκηπίου ή τοξικά απόβλητα, και δεν καταναλώνουν νερό ή άλλες πηγές σε ανεπάρκεια. Πάντως, οι αιολικές μονάδες μπορούν να εγείρουν περιβαλλοντικές και κοινωνικές ανησυχίες. Για παράδειγμα, παράγουν θόρυβο και μπορεί να ενοχλούν οπτικά τους πολίτες που κατοικούν στην περιοχή. Επίσης, μπορεί να διαταράξουν τις φυσικές κατοικίες άγριων ζώων ή να προκαλέσουν τραυματισμό ή θάνατο σε πτηνά.

Ευτυχώς, παρά τα σφάλματα του παρελθόντος, αυτά και άλλα πιθανά προβλήματα δεν αποτελούν στις περισσότερες περιπτώσεις σοβαρά εμπόδια στην ανάπτυξη των αιολικών. Με τον προσεκτικό προγραμματισμό της έρευνας, το σωστό σχεδιασμό και με έγκαιρες και συχνές συναντήσεις με τις επηρεαζόμενες κοινότητες, οι υπεύθυνοι ανάπτυξης των αιολικών μονάδων μπορούν να καθορίσουν και να αντιμετωπίσουν τα πιο σοβαρά θέματα πριν προβούν σε μεγάλες επενδύσεις σε νέα αιολικά έργα. Οι εταιρείες ηλεκτρισμού, οι κρατικές υπηρεσίες, οι οικολογικοί οργανισμοί, και άλλοι πρέπει να συνεργαστούν με τους επενδυτές ώστε να εξασφαλισθεί ότι υλοποιούνται αυτές οι αποτελεσματικές στρατηγικές.

Είναι προς το συμφέρον τόσο του επενδυτή όσο και του κοινού η διαδικασία αυτή να αντιμετωπίζει όλα τα δόκιμα θέματα με ένα ανοικτό, δίκαιο και αμερόληπτο τρόπο, ενώ θα ελαχιστοποιεί τα κόστη για τους συμμετέχοντες και τις καθυστερήσεις στη λήψη αποφάσεων. Σε μερικές περιπτώσεις, το αποτέλεσμα της διαδικασίας μπορεί να είναι η απόρριψη μιας προτεινόμενης θέσης για αιολική εγκατάσταση. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να καθοριστεί είτε ότι τα θέματα που εγείρονται δεν έχουν ουσία είτε ότι μπορούν να ληφθούν ειδικά μέτρα για την αντιμετώπισή τους.

5.3.1 Θέματα που αφορούν τις τοπικές κοινωνίες

Η κατασκευή και λειτουργία ενός αιολικού πάρκου περικλείει πολλές δραστηριότητες όμοιες με αυτές της κατασκευής και λειτουργίας ενός συμβατικού σταθμού ισχύος, π.χ. την κατασκευή οδών, τον καθαρισμό των γαιών, την κυκλοφορία φορτηγών, και την κατασκευή γραμμών μεταφοράς. Έτσι, αυτού του είδους οι δραστηριότητες μερικές φορές εγείρουν σημαντικό κοινωνικό ενδιαφέρον. Επιπλέον, τα αιολικά έργα εγείρουν ιδιαίτερα κοινωνικά θέματα, κυρίως αυτά που αφορούν την οπτική τους επίδραση και τον θόρυβο.

Θέματα χρήσης γης

Αντίθετα με τις περισσότερες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, τα αιολικά έργα είναι γεω-παραισφρητικά και όχι γεω-εντατικά. Βάσει της παραγωγής σε μεγαβάτ (MW), η γη που απαιτείται για ένα αιολικό έργο υπερβαίνει σε έκταση αυτήν που απαιτείται για τις περισσότερες από τις λοιπές ενεργειακές τεχνολογίες. Πάντως, παρότι οι αιολικές μονάδες μπορεί να εκτείνονται σε μεγάλη γεωγραφική περιοχή και να έχουν μεγάλο πεδίο επίδρασης, το φυσικό αποτύπωμα του έργου καλύπτει ένα μικρό μόνο μέρος της γης αυτής. Μια αιολική μονάδα 50 MW, για παράδειγμα, μπορεί να καταλαμβάνει έκταση 6000 στρεμμάτων, αλλά η ποσότητα γης που πραγματικά καταλαμβάνεται από τις εγκαταστάσεις μπορεί να είναι μόνο το 3 με 5% της συνολικής επιφάνειας, αφήνοντας το υπόλοιπο διαθέσιμο για άλλες συμβατές χρήσεις.

Λόγω του ότι η αιολική ενέργεια περιορίζεται σε περιοχές όπου οι καιρικές συνθήκες παρέχουν μια σχετικά μακρά περίοδο δυνατών και σταθερών ανέμων, η ανάπτυξη των αιολικών έργων παγκοσμίως έχει συντελεστεί κυρίως σε αγροτικές και σχετικά ανοικτές περιοχές. Αυτές οι εκτάσεις συχνά χρησιμοποιούνται για τη γεωργία, βοσκή, αναψυχή, ως αναπεπταμένοι χώροι, περιοχές φυσικού κάλλους, διαβίωσης άγριων ζώων, διαχείρισης δασών, και εποχιακής αποθήκευσης νερού. Μια αιολική μονάδα είναι συνήθως συμβατή με τις γεωργικές και κτηνοτροφικές χρήσεις των γαιών.

Αν και οι χρήσεις αυτές μπορεί να διακοπούν κατά την κατασκευή, μόνον οι εντατικές γεωργικές χρήσεις μπορεί να μειωθούν ή να τροποποιηθούν κατά τη λειτουργία του έργου. Η ανάπτυξη των αιολικών έργων μπορεί να επηρεάσει άλλες χρήσεις στην περιοχή ή πλησίον αυτής. Μερικά πάρκα ή/και χώροι αναψυχής που δίνουν έμφαση στις αξίες της άγριας ζωής και αποτελούν καταφύγια για την προστασία των άγριων ζώων – ιδίως των πουλιών – μπορεί να μην είναι συμβατά με την ανάπτυξη αιολικών έργων στην περιοχή τους.

Άλλες χρήσεις, όπως η διατήρηση των αναπεπταμένων χώρων, η αναδάσωση ή οι εγκαταστάσεις αναψυχής που δεν περιλαμβάνουν άγρια φύση, μπορεί και να είναι συμβατές ανάλογα με τα εμπόδια, τη φύση του κάθε έργου, και την επίδραση σε πόρους που έχουν περιφερειακή σημασία. Οι παράγοντες που μπορεί να καθορίζουν την επίδραση στη χρήση των γαιών περιλαμβάνουν: την τοπογραφία της θέσης, το μέγεθος, τον αριθμό, την παραγωγή και την απόσταση των Α/Γ, την θέση και τη σχεδίαση των οδών, κατά πόσο είναι συνενωμένες ή διασκορπισμένες οι βοηθητικές εγκαταστάσεις, και κατά πόσο είναι εναέριες ή υπόγειες οι ηλεκτρικές γραμμές.

Οπτικές επιδράσεις

Οι ανεμογεννήτριες είναι κατασκευές που γίνονται πολύ ορατές. Οι σύγχρονοι πύργοι των Α/Γ έχουν ύψος 30 έως 50 μέτρα επάνω από το έδαφος, χωρίς να υπολογιστούν τα πτερύγια του δρομέα, ο οποίος μπορεί να έχει διάμετρο μέχρι 40 μέτρα. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες συχνά παρατάσσονται σε σειρές των δώδεκα ή περισσότερων μηχανών σε ευδιάκριτες κορυφές βουνών ή λόφων. Το κατά πόσο η οπτική επίδραση των Α/Γ εγείρει δυσαρέσκεια εξαρτάται κατά ένα μέρος από την διάταξη με την οποία τοποθετούνται.

Σε πολλές αγροτικές περιοχές στις ΗΠΑ, οι υπεύθυνοι ανάπτυξης αντιμετώπισαν λίγα σχετικά προβλήματα στο να κερδίσουν την κοινωνική αποδοχή των αιολικών έργων. Αυτό έχει μία λογική, εάν ληφθεί υπόψη ότι οι ανεμόμυλοι αποτελούσαν κοινό θέαμα στα αμερικανικά αγροκτήματα μέχρι τα μέσα του 20ου αιώνα. Βοηθάει, επίσης, το γεγονός ότι οι αγροκτήμονες συχνά ωφελούνται άμεσα από τα αιολικά έργα μέσω των ενοικίων για τη γη και τις αντιμισθίες που πληρώνουν οι ιδιοκτήτες των μονάδων. Σε άλλες περιπτώσεις, η κοινωνική αποδοχή μπορεί να είναι πιο σοβαρό πρόβλημα.

Κάποιες φορές, αιολικές μονάδες που προτάθηκαν κοντά σε κατοικημένες περιοχές προκάλεσαν την έντονη αντίδραση των ιδιοκτητών των κατοικιών και των κτηματομεσιτών. Σε μία περίπτωση, οι κάτοικοι που ήταν αντίθετοι με το αιολικό έργο στο Cordelia Hills, βορειοανατολικά του Σαν Φραντζίσκο, σύμφωνα με τις αναφορές δεν ήθελαν να βλέπουν Α/Γ τοποθετημένες στην περιοχή, παρότι οι λόφοι που επιλέχθηκαν για το έργο είχαν ήδη πολλούς ηλεκτρονικούς αναμεταδότες και γραμμές μεταφοράς. Δεν χρειάζεται να λεχθεί ότι, η τοποθέτηση ενός αιολικού έργου κοντά σε ένα εθνικό πάρκο ή καταφύγιο αγρίων ζώων μπορεί να επιφέρει παράπονα από τοπικούς περιβαλλοντικούς οργανισμούς και ακτιβιστές.

Όποια κι αν είναι η διάταξη, μπορούν να ληφθούν μέτρα για τη μείωση του αριθμού των παραπόνων καθιστώντας τις Α/Γ λιγότερο ενοχλητικές και πιο ευχάριστες στην όραση. Για παράδειγμα, οι σωληνωτοί πύργοι είναι λιγότερο αποκρουστικοί από τους δικτυωτούς, και εν μέρει γι' αυτόν το λόγο προτιμώνται από τους περισσότερους κατασκευαστές αιολικών

τελευταία. Σε συνδυασμό με την κομψή και μινιμαλιστική εμφάνιση μερικών σύγχρονων ανεμογεννητριών, το συνολικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι αρκετά ελκυστικό.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο πώς τοποθετείται χωροταξικά μία σειρά Α/Γ. Μια καλή διάταξη παρέχει την ένδειξη του αποτελέσματος και της απόδοσης, ενώ μία άλλη με τυχαία διασπορά αφήνει την εντύπωση της έλλειψης σκοπιμότητας και της σύγχυσης. Παρακολουθώντας το περίγραμμα μιας κορυφογραμμής, μία σειρά Α/Γ θα προσαρμοσθεί ευκολότερα στον γύρω χώρο. Είναι σημαντικό να λαμβάνονται μέτρα για την αποφυγή σημαδέματος της γης με δύσμορφες οδούς και αποψιλώσεις, όπως είναι η εξάλειψη της μη αναγκαίας ακαταστασίας θάβοντας τις γραμμές μεταφοράς και κρύβοντας τα κτίρια και τις άλλες κατασκευές πίσω από προεξοχές ή δέντρα.

Ένα πολύτιμο εργαλείο για την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων του έργου σε ευαίσθητους οπτικούς πόρους είναι η εκπόνηση και χρήση οπτικών προσομοιώσεων. Η αξιολόγηση αυτών των προσομοιώσεων επιτρέπει στον υπεύθυνο ανάπτυξης του έργου, τις υπηρεσίες αδειοδότησης και το κοινό να δουν την τοποθεσία όπως είναι και κατόπιν τις μεταβολές που θα επιφέρει το έργο στην υφιστάμενη διάταξη και σε οποιουδήποτε ευαίσθητους πόρους. Μετά την εξέταση των προσομοιώσεων των σημαντικών προοπτικών σημείων, όλοι οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αναμιχθούν στη ρύθμιση της διάταξης και τον σχεδιασμό του έργου για την ελαχιστοποίηση των πιθανών επιπτώσεών του.

Την αντίθεση στο αισθητικό επίπεδο μπορούν επίσης να μειώσουν προσπάθειες για την εκπαίδευση και πληροφόρηση των γειτονικών κοινοτήτων σχετικά με την αιολική ενέργεια και τα οφέλη της. Για παράδειγμα, υπάρχει μια τάση σε όσους περνούν από μια αιολική εγκατάσταση να παρατηρούν τις λίγες μηχανές που δεν λειτουργούν από την πλειοψηφία αυτών που λειτουργούν. Αυτό μπορεί να οδηγήσει τους ανθρώπους να σκεφτούν ότι η αιολική τεχνολογία δεν δουλεύει. Η γνώση ότι είναι φυσιολογικό μερικές Α/Γ να είναι σταματημένες οποιοδήποτε στιγμή (λόγω των μεταβολών του ανέμου και των αναγκών συντήρησης), μπορεί να βοηθήσει στην εξομάλυνση αυτού του προβλήματος δημοσίων σχέσεων.

Θόρυβος

Στην πλειοψηφία τους αυτοί που επηρεάζονται από τον θόρυβο που παράγεται από τις Α/Γ κατοικούν λίγα χιλιόμετρα μακρύτερα από μια μεγάλη αιολική εγκατάσταση ή σε απόσταση μερικών εκατοντάδων μέτρων από ένα μικρό πάρκο ή μια μεμονωμένη ανεμογεννήτρια. Αν και ο θόρυβος σε αυτές τις αποστάσεις δεν είναι μεγάλος – μια Α/Γ 300 kW συνήθως παράγει λιγότερο θόρυβο στα 120 μέτρα απ' ό,τι η ελαφριά οδική κυκλοφορία στα 30 μέτρα – είναι παρ' όλα αυτά αρκετός ώστε να ακούγεται μέσα στις οικίες και μπορεί να είναι ιδιαίτερα ενοχλητικός την νύχτα, όταν οι ήχοι της κυκλοφορίας και του νοικοκυριού είναι ελαττωμένοι (βλ. Πίνακα 3).

Πίνακας 3. Συνήθη επίπεδα πίεσης θορύβου

<i>Πηγή</i>	<i>Απόσταση (m)</i>	<i>Επίπεδο πίεσης θορύβου - dB(A)</i>
Όριο πόνου		140
Σειρήνα πλοίου	30	130
Αεροπορικός κινητήρας	60	120
Εμπορική αμαξοστοιχία	30	70

Ηλεκτρική σκούπα	3	70
Αυτοκινητόδρομος	30	70
Μικρή ανεμογεννήτρια (10 kW)	35	57
Μεγάλος μετασχηματιστής	60	55
Άνεμος στα δένδρα	12	55
Ελαφριά οδική κυκλοφορία	30	50
Μέση κατοικία		50
Ανεμογεννήτρια 300 kW	120	45
Στρόβιλος USW 56-100	240	45
Ψίθυρος	1,5	30
Στούντιο ηχογράφησης / υπνοδωμάτιο		20
Όριο ακοής		0

Πηγή: Gipe, *Wind Energy Comes of Age*, σελ. 375.

Όταν προγραμματίζεται ένα αιολικό έργο, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε κάθε θόρυβο που μπορεί να ακουστεί εξωτερικά των παρακείμενων οικιών. Μέσα, το επίπεδο είναι πιθανόν να είναι πολύ χαμηλότερο, ακόμα και με τα παράθυρα ανοικτά. Η πρόβλεψη του θορύβου που θα παραχθεί όταν ο άνεμος φυσάει από τις Α/Γ προς τις οικίες δίνει συνήθως μια εκτίμηση της πιθανής επίπτωσης του θορύβου. Κατόπιν αυτή συγκρίνεται με τους ήδη υφιστάμενους θορύβους του περιβάλλοντος στη θέση, χωρίς να λειτουργεί η αιολική εγκατάσταση.

Του προβλήματος αυτού επιλαμβάνονται χωροταξικά διατάγματα που εκδίδονται από μερικές κοινότητες για τις αιολικές εγκαταστάσεις, ορίζοντας τα ανώτερα και τα επιτρεπτά επίπεδα θορύβου για την ελαχιστοποίηση της όχλησης των γειτόνων. Για παράδειγμα, στο Palm Springs (ΗΠΑ) απαγορεύεται η εγκατάσταση Α/Γ σε απόσταση μικρότερη των 370 μέτρων από οποιαδήποτε οικία, ξενοδοχείο, σχολείο, βιβλιοθήκη, νοσοκομείο ή αναρρωτήριο, εκτός από όπου η τοπογραφία επιτρέπει εξαιρέσεις. Σε καθορισμένες αποστάσεις, ο θόρυβος απαιτείται να είναι κάτω από 55 dB, δηλ. κατά προσέγγιση η ένταση του ήχου που παράγεται από τον άνεμο που φυσάει μέσα από δένδρα σε απόσταση 15 μέτρων.

Από τότε που εγκαταστάθηκαν οι πρώτες Α/Γ, στις αρχές της δεκαετίας του '80, έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος στη μείωση του θορύβου από αυτές. Οι μεγαλύτερες μηχανές της αγοράς σήμερα παράγουν λιγότερο θόρυβο (ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας) από τις μικρότερες μηχανές που αντικατέστησαν, εν μέρει λόγω των μικρότερων ταχυτήτων ακροπτερυγίων του δρομέα και του προσεκτικού σχεδιασμού και κατασκευής των αεροτομών των πτερυγίων και των ακμών εκφυγής. Συνολικά, με τη δέουσα προσοχή στις αποστάσεις και τις τεχνικές μείωσης του θορύβου, ελάχιστοι από τους κατοίκους θα επηρεάζονται από το θόρυβο των ανεμογεννητριών.

Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (ΗΜΠ)

Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή είναι η διακοπή των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες, συμπεριλαμβανομένων του ραδιοφώνου, της τηλεόρασης και των μικροκυμάτων. Αυτό έχει τεθεί ως πιθανό πρόβλημα σχετιζόμενο με ορισμένα ζητήματα της αιολικής ενέργειας, κυρίως τα περιστρεφόμενα πτερύγια των Α/Γ και τις πολύ υψηλές τάσεις των γραμμών μεταφοράς. Τα πτερύγια ανακλούν πολύ εύκολα τα τηλεοπτικά σήματα UHF, ενώ μπορεί να επηρεάζεται η τηλεοπτική λήψη στα πέντε χιλιόμετρα

(UHF) ή στα 6/5 του χιλιομέτρου (VHF) από μια μεγάλη μεγέθους Α/Γ. Ο βαθμός παρεμβολής εξαρτάται από το υλικό του πτερυγίου, τη θέση της Α/Γ σε σχέση με την πορεία του σήματος, και το μέγεθος της ανεμογεννήτριας.

Δεν έχει αναφερθεί παρεμβολή σε ραδιοφωνικές λήψεις FM. Συχνά οι αναμεταδότες μικροκυμάτων τοποθετούνται σε απομακρυσμένες κορυφές λόφων στην ύπαιθρο. Οι σταθμοί αυτοί βασίζονται σε ανεμπόδιστες στο οπτικό πεδίο τροχιές για τα σήματά τους, οπότε μπορεί να επηρεάζονται από τα αιολικά έργα που παρεμβάλλονται στο διάδρομο της δέσμης των ακτίνων. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά κυκλώματα σε μια Α/Γ μπορεί να εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικό σήμα (θόρυβο) εάν δεν έχει εγκατασταθεί και δεν συντηρείται σωστά. Έτσι, είναι απαραίτητες οι επαφές με τους χειριστές των τηλεπικοινωνιακών σταθμών μικροκυμάτων προκειμένου να αποφευχθεί η πρόκληση παρεμβολών από τα αιολικά έργα.

5.3.2 Αποφυγή της άγριας φύσης και άλλων ευαίσθητων περιοχών

Πτηνά

Οι πιθανές επιπτώσεις της ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στις περιοχές άγριας φύσης και τους αγριότοπους έχουν γίνει αντικείμενο προσοχής τελευταία. Κατ' αρχήν το θέμα ενέκυψε στα τέλη της δεκαετίας του 1980, όταν βρέθηκε ότι πτηνά, ειδικά τα ομοσπονδιακά προστατευόμενα στις ΗΠΑ είδη των χρυσαετών και των γερακιών με κόκκινες ουρές, σκοτώνονταν από τις Α/Γ και από τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης στο Altamont Pass της Καλιφόρνια. Η ανακάλυψη πυροδότησε αντιδράσεις στο έργο του Altamont Pass από ορισμένους ακτιβιστές οικολόγους και προκάλεσε το ενδιαφέρον της Υπηρεσίας Ιχθύων και Αγρίων Ζώων των ΗΠΑ, η οποία είναι και υπεύθυνη για την εφαρμογή των ομοσπονδιακών νόμων προστασίας των ειδών.

Από τότε, προβλήματα έχουν εντοπισθεί και σε άλλες περιοχές. Έχει αναφερθεί ότι πτηνά σκοτώθηκαν σε αιολικές μονάδες στην Tarifa της Ισπανίας (ένα από τα κύρια σημεία μετανάστευσης πτηνών στη Μεσόγειο Θάλασσα), και σε διάφορες αιολικές εγκαταστάσεις στην Βόρεια Ευρώπη. Αυτά τα περιστατικά είχαν ως αποτέλεσμα ένα αυξημένο ενδιαφέρον για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αιολικής ενέργειας στις οικολογικές ομάδες τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη. Πάντως, οι μακροχρόνιες επιπτώσεις του θέματος των πτηνών στην αιολική βιομηχανία είναι ακόμα ασαφείς.

Φαίνεται πιθανόν ότι μπορεί να ανακύψουν σοβαρές αντιθέσεις κυρίως σε περιοχές όπου συγκεντρώνεται ή μεταναστεύει μεγάλος αριθμός πτηνών (όπως στην Tarifa), ή όπου επηρεάζονται προστατευόμενα είδη (όπως στο Altamont Pass). Πάντως, αυτό μπορεί να περιλάβει αρκετές περιοχές, επειδή κάποια από τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν μια καλή αιολική θέση συμβαίνει να είναι ελκυστικά και για τα πτηνά. Για παράδειγμα, τα ορεινά περάσματα είναι συχνά ανεμώδη καθώς δημιουργούν κανάλια για τους ανέμους ώστε να περάσουν επάνω από τα βουνά. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο αυτά συχνά αποτελούν τις προτιμώμενες διαδρομές για τα μεταναστευτικά πτηνά.

Μόνο επειδή συχνάζουν κάποια πτηνά σε μία συγκεκριμένη περιοχή δεν σημαίνει απαραίτητα ότι δεν πρέπει να κατασκευασθεί εκεί μια αιολική εγκατάσταση. Για τη λήψη αυτής της απόφασης πρέπει να συνυπολογίζονται αρκετοί παράγοντες. Ένας από αυτούς είναι εάν τα πτηνά είναι πιθανό να συγκρουστούν με τις Α/Γ. Μία έρευνα γύρω από τον αριθμό και τη

συμπεριφορά των πτηνών μπορεί να δώσει μια ένδειξη για την πιθανότητα να συγκρουσθούν με τα πτερόγια των ανεμογεννητριών τα πτηνά.

Ένα άλλο θέμα είναι η πιθανή σημασία των θανάτων και τραυματισμών των πτηνών για τους τοπικούς πληθυσμούς τους. Το ιδανικό είναι να μην συμβαίνει κανένα τέτοιο περιστατικό, αλλά αυτό δεν μπορεί να συμβεί στην πράξη σε πολλές περιπτώσεις. Ένα περισσότερο ουσιώδες επιστημονικά πρότυπο μέτρησης της σοβαρότητας των επιπτώσεων μπορεί να είναι το κατά πόσο οι θάνατοι θα έχουν ως αποτέλεσμα μία σημαντική μείωση στο συνολικό πληθυσμό, ή μία ανησυχητική αύξηση της ολικής θνησιμότητας των επηρεαζόμενων ειδών.

Εάν η αρχική έρευνα δείχνει ότι το αιολικό έργο είναι απίθανο να επηρεάσει σοβαρά τους πληθυσμούς των πτηνών, μπορεί να απαιτηθούν περαιτέρω μελέτες για την επιβεβαίωση αυτού του πορίσματος. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν την καταγραφή των βασικών πληθυσμών και συμπεριφορών των πτηνών πριν αρχίσει το αιολικό έργο, και κατόπιν την ταυτόχρονη παρατήρηση τόσο μιας περιοχής ελέγχου όσο και της αιολικής τοποθεσίας κατά την κατασκευή και την αρχική λειτουργία. Σε κάποιες περιπτώσεις, η παρατήρηση κατά τη λειτουργία μπορεί να πρέπει να συνεχιστεί για χρόνια.

Σε αναγνώριση της ενδεχόμενης σοβαρότητας του ζητήματος των πτηνών, η αιολική βιομηχανία συνεργάζεται με διάφορες εθνικές ή/και περιφερειακές υπηρεσίες και περιβαλλοντικούς οργανισμούς για την ανάπτυξη ενός κατάλληλου προγράμματος έρευνας των πτηνών και οδηγιών για την επιλογή τοποθεσίας. Παρότι οι διαφωνίες είναι αναπόφευκτες, όλα τα μέρη αναγνωρίζουν το κοινό συμφέρον να επιτύχει η αιολική ενέργεια τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες, χωρίς να δημιουργούνται σοβαρές βλάβες στα πτηνά και τα υπόλοιπα άγρια ζώα.

Τόποι διαβίωσης των άγριων ζώων

Μερικές μελέτες έχουν δείξει ότι τα πτηνά και άλλα ζώα τείνουν να αποφύγουν το φώλιασμα ή το κυνήγι για τροφή πολύ κοντά στις Α/Γ. Επιπλέον, δραστηριότητες όπως η κατασκευή οδών και η αφαίρεση δένδρων μπορούν να καταστρέψουν ή να διαταράξουν τους τόπους διαβίωσης και να επιτρέψουν την εισαγωγή ανεπιθύμητων ειδών. Το πρόβλημα επιδεινώνεται από το γεγονός ότι κάποιες από τις καλύτερες πιθανές θέσεις για αιολικά βρίσκονται σε απομακρυσμένες, ορεινές περιοχές που αποτελούν τόπο διαβίωσης πολλών διαφορετικών ειδών φυτών και ζώων.

Λόγω των θεμάτων αυτών, κάποιες οικολογικά ευαίσθητες θέσεις (ακόμα και εάν δεν προστατεύονται ρητά από εθνικούς ή περιφερειακούς νόμους) πρέπει να αποτελούν απαγορευμένες περιοχές για αιολικά έργα. Πάντως, σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις για το μετριασμό ή την αντιστάθμιση των επιπτώσεων στους τόπους διαβίωσης. Έτσι, για παράδειγμα, οι υπεύθυνοι ανάπτυξης μπορούν να επενδύσουν για την αποκατάσταση τοποθεσιών εκτός της θέσης του έργου, π.χ. για δενδροφύτευση ή τη δημιουργία βιοτόπων για είδη που εκτοπίζονται από τα αιολικά έργα. Τα ακριβή μέτρα που απαιτούνται, εάν υπάρχουν, εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη θέση και τα υπ' όψιν είδη και πρέπει να καθορίζονται σε συνεργασία με τις αρμόδιες εθνικές και περιφερειακές υπηρεσίες και περιβαλλοντικούς οργανισμούς.

Πολιτιστικά και παλαιοντολογικά ζητήματα

Για συγκεκριμένους τύπους πολιτιστικών πόρων, η φυσική τοποθεσία και η γύρω περιοχή του πόρου συνεισφέρουν ουσιαστικά στην αξία του. Σ' αυτήν την περίπτωση, η έκταση της πιθανής επίδρασης μπορεί να περιλάβει περιοχές μέσα στην ακουστική ή οπτική ακτίνα του ευαίσθητου πόρου. Πράγματι, οι θέσεις αιολικής παραγωγής συχνά βρίσκονται σε πλαγιές και κορυφές λόφων και μπορεί να είναι κοντά στην ακτή ή ακτογραμμή μεγάλων όγκων νερού. Οι αυτόχθονες χρησιμοποιούσαν επίσης αυτές τις περιοχές ως παραδοσιακούς τόπους καλλιέργειας καθώς και για εποχιακές και θρησκευτικές τελετές. Έτσι, κατά το σχεδιασμό του έργου και της θέσης, θα πρέπει να αποφεύγονται και να προστατεύονται οι τοποθεσίες των πολιτιστικών και ορυκτών πόρων.

Η ανάπτυξη αιολικών μονάδων σε τέτοιες τοποθεσίες είναι πολύ πιθανό να έχει επιπτώσεις σε εκτενείς υπέργειους πολιτιστικούς πόρους ή στον περιβάλλοντα χώρο τους. Η περιοχή των πιθανών επιπτώσεων μπορεί να εκτείνεται από μερικά δέκατα του μέτρου έως ένα τέταρτο του χιλιομέτρου ή παραπάνω. Αυτός ο τύπος επίπτωσης είναι πιθανότερο να συνδέεται με αρχαιολογικές περιοχές, τοπογραφικά μνημεία ή θρησκευτικές περιοχές και τοπογραφίες. Οι επιπτώσεις στους πολιτιστικούς πόρους σ' αυτές τις περιοχές μπορεί επίσης να αφορούν θέματα σχετικά με την παρενόχληση των παραδοσιακών πρακτικών λόγω του θορύβου και των οπτικών επιπτώσεων.

Η έκταση των πιθανών επιπτώσεων ποικίλει με την τοπογραφία, τη βλάστηση και την έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος, καθώς και με την παρουσία ή απουσία άλλων κατασκευών. Τεχνικές συλλογής δεδομένων και χαρτογράφησης των απολιθωμάτων μπορεί να καταστήσουν μη αναγκαία την τροποποίηση ή τον επανασχεδιασμό της διάταξης των Α/Γ. Από την άλλη, η θέση των περισσότερων πύργων των Α/Γ και των αναγκαίων οδών πρόσβασης, γραμμών μεταφοράς και κατασκευών για τη λειτουργία και συντήρηση μπορούν συνήθως να ρυθμιστούν κατά τη φάση της σχεδίασης ώστε να αποφεύγονται οι επιπτώσεις στις γνωστές επιφανειακές ή υπόγειες πολιτιστικές ή αρχαιολογικές περιοχές.

5.4 Προγραμματισμός μιας αιολικής εγκατάστασης

Είναι εν γένει θετικό για την επιλογή τοποθεσίας εάν οι κοινότητες, π.χ. οι πόλεις και οι επαρχίες, έχουν θεσμοθετήσει ζώνες για τις αιολικές μονάδες, και για κάθε τύπο ζώνης (εμπορική, βιομηχανική ή αγροτική) να υπάρχουν πρότυπα για τα εξής:

- Το μέγεθος της ανεμογεννήτριας, περιλαμβανομένων του μέγιστου μεγέθους του δρομέα, του ελάχιστου και μέγιστου ύψους, του ύψους του πύργου, κλπ.
- Την εγκατάσταση και το σχεδιασμό, στα οποία περιλαμβάνονται ο πύργος και ο δρομέας, καθώς επίσης και η ηλεκτρική ασφάλεια, η ειδοποίηση της εταιρείας ηλεκτρισμού, η σηματοδότηση και η πρόσβαση στον πύργο.
- Την εγκατάσταση, που περιλαμβάνει τη στοίχιση από τα όρια της μονάδας και τις γύρω εγκαταστάσεις, τον αισθητικό σχεδιασμό (όπως κυλινδρικός ή δικτυωτός πύργος), και την απόσταση από τις ηλεκτρικές γραμμές.
- Θέματα όχλησης, όπως κανονισμοί θορύβου και παρεμβολών στην τηλεόραση ή το ραδιόφωνο.

- Άλλους κανονισμούς, π.χ. σχετικά με την ασφάλεια, τη δημόσια πρόσβαση στις αιολικές εγκαταστάσεις, καθώς και τις απαιτήσεις για επισκευή, συντήρηση και έλεγχο.

Μερικές τοπικές υπηρεσίες, αναγνωρίζοντας το δυναμικό της παραγωγής ενέργειας από αιολικά, έχουν προσδιορίσει επισήμως περιοχές αιολικού πόρου στο σχεδιασμό τους ώστε να διευκολυνθεί η αδειοδότηση και η ανάπτυξη της αιολικής παραγωγής σε προτιμώμενες θέσεις, και έχουν σχεδιάσει χάρτες των περιοχών αυτών που περιέχουν πληροφορίες όπως την ταχύτητα και διάρκεια του ανέμου, τα τοπογραφικά στοιχεία, τα χαρακτηριστικά των θέσεων, τις υφιστάμενες οδούς και εγκαταστάσεις, πιθανές ευαίσθητες χρήσεις γης, κλπ. Έτσι, μπορούν να παρέχουν εκ των προτέρων καθοδήγηση στους κατασκευαστές σχετικά με το πού και πώς να τοποθετήσουν τα αιολικά έργα τους, με στόχο να συμμορφώνονται με τις υφιστάμενες χρήσεις γης και το περιβάλλον.

6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

6.1 Εισαγωγή

Όταν είναι διαθέσιμος ένας αριθμός μετρήσεων που καλύπτουν μια περιοχή τότε μπορεί να έχει ενδιαφέρον να χρησιμοποιηθούν αυτά τα διακριτά στοιχεία για μια εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, θεωρώντας την περιοχή ως ενιαίο σύστημα αντί για δίκτυο σημείων. Η μεθοδολογία που περιγράφεται στη συνέχεια οδηγεί στην εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας μεγάλης περιοχής, χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με το μέγεθός της. Χρησιμοποιήθηκε με μεγάλη επιτυχία για να υπολογιστεί το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ένα αρκετά πυκνό πλέγμα επιφανειακής ανάλυσης 150 m για όλη τη χώρα.

Η υπολογιστική μέθοδος που έχει αναπτυχθεί από το ΚΑΠΕ επιτυγχάνει να εδραιώσει μια διαδικασία παρεμβολής που δέχεται ως δεδομένα εισόδου ένα σημαντικό αριθμό μετρήσεων και παράγει μία εκτίμηση για οποιοδήποτε σημείο μέσα στην περιοχή μελέτης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την λήψη των μετρήσεων είναι πέραν του σκοπού της μεθοδολογίας παρεμβολής, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν αρκετά σημεία με διαθέσιμα ανεμολογικά δεδομένα προκειμένου να περιγραφεί η επίδραση της μεσαίας κλίμακας.

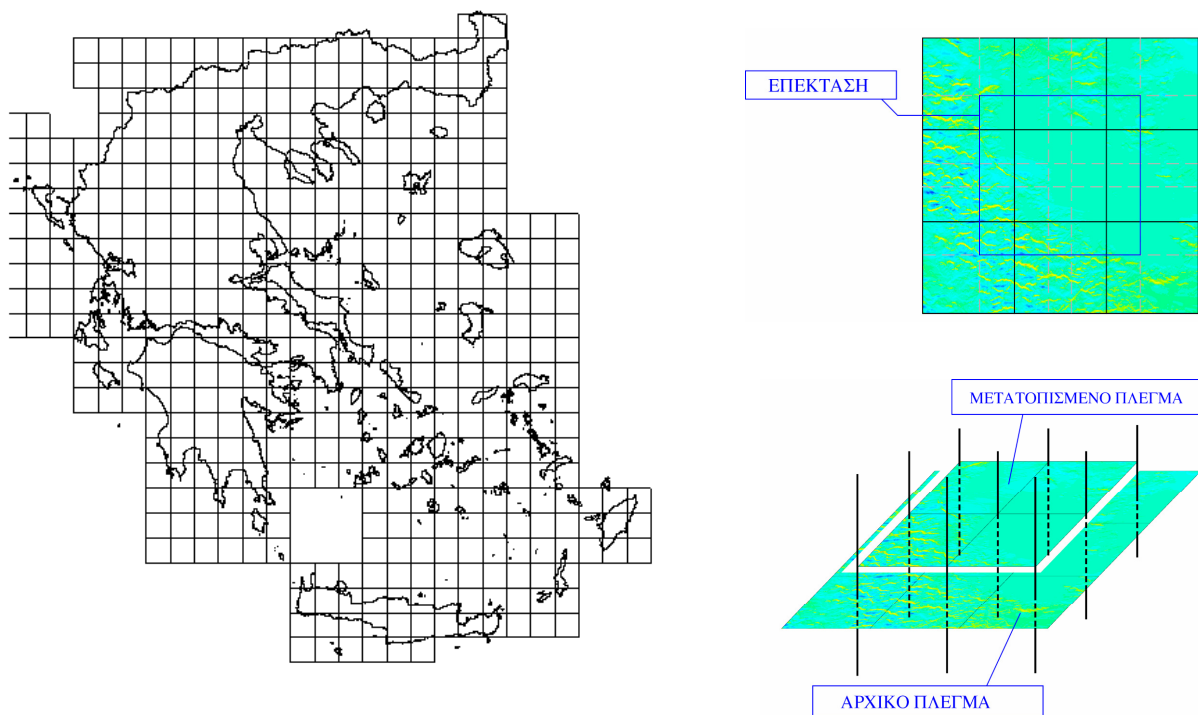
6.2 Περιγραφή της μεθοδολογίας

Στη μεθοδολογία που επιλέχθηκε εμπεριέχεται η παραδοχή ότι σε μεγάλο υψόμετρο από το έδαφος η ανεμολογική κατάσταση επηρεάζεται μόνο από τα μετεωρολογικά φαινόμενα και όχι από τη διαμόρφωση του επιφανειακού ανάγλυφου. Από την άλλη, κοντά στην επιφάνεια επικρατούν τα φαινόμενα οριακού στρώματος. Εκεί, ο συνδυασμός της τοπογραφίας και του οριακού στρώματος είναι αρκετός για να καθορίσει την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου σε κάθε δεδομένο σημείο. Στην ουσία εισάγεται ένα τρισδιάστατο μοντέλο διόρθωσης του οριακού στρώματος.

Η όλη υπολογιστική διαδικασία έχει δύο στάδια. Αρχικά, ο τρισδιάστατος χώρος, που ορίζεται από την επιφάνεια και φτάνει μέχρι λίγα χιλιόμετρα σε ύψος, αναλύεται με την χρήση ενός κώδικα επίλυσης της δυναμικής ροής (διατήρηση της μάζας). Ο κώδικας λειτουργεί με τη χρήση αδιάστατων μεταβλητών, επιβάλλοντας μια μοναδιαία οριακή συνθήκη για την ταχύτητα στο

άνω όριο του υπολογιστικού χωρίου. Δεδομένου ότι υπάρχει η ανάγκη κάλυψης πολύ μεγάλων γεωγραφικών περιοχών, ακολουθείται μια προσέγγιση υποχώρων. Το αριθμητικό πλέγμα διαιρείται σε μεγάλο πλήθος υποχώρων, οι οποίοι επιλύονται ανεξάρτητα (σχήμα 16 αριστερά). Από το αρχικό σύνολο των πλεγμάτων των υποχώρων (τα οποία είναι τετραγωνικής διατομής, με πλευρά 30 km και απόσταση 150 m μεταξύ των υπολογιστικών κόμβων και στις δύο επιφανειακές κατευθύνσεις), δημιουργείται μία νέα σειρά τετραγωνικών πλεγμάτων, των οποίων τα τέσσερα γωνιακά σημεία τοποθετούνται στα κέντρα τεσσάρων γειτονικών πλεγμάτων (staggered grid - σχήμα 16 δεξιά).

Τα δύο αυτά σετ πλεγμάτων συνδυάζονται με τρόπο τέτοιο που να εξασφαλίζεται η συνέχεια της λύσης στις διεπιφάνειες των υποχώρων και χρησιμοποιούνται συνδυαστικά για να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα, μέσω μιας διαδικασίας προέκτασης των πλεγμάτων, εξαγωγής μέσων όρων και ενός αριθμού παρεμβολών. Εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι τα αποτελέσματα της δυναμικής ροής μακριά από τα όρια δεν είναι ευαίσθητα σε διαταραχές των οριακών συνθηκών, η παραπάνω διαδικασία παρέχει ένα ομαλό και συνεχές αποτέλεσμα στις διεπιφάνειες των υποχώρων. Για κάθε μία από τις επιλεγμένες κατευθύνσεις του αέρα γίνονται ξεχωριστοί υπολογισμοί.



Σχήμα 16: Το προσεγγιστικό μοντέλο πολλαπλών υποχώρων όπως εφαρμόστηκε στην περίπτωση της Ελλάδας (αριστερά) και η υπέρθεση των υπολογιστικών πλεγμάτων (δεξιά)

Σε επόμενο βήμα, εφαρμόζεται η διόρθωση του οριακού στρώματος προκειμένου να εισαχθούν τα φαινόμενα συνεκτικότητας στον υπολογισμό. Ακολουθείται μια απλοποιημένη προσέγγιση για τη διόρθωση του οριακού στρώματος, που προκύπτει από τη θεωρία ανάπτυξης οριακού στρώματος σε επίπεδη πλάκα λαμβάνοντας υπόψη και την τραχύτητα του εδάφους (εφόσον υπάρχουν διαθέσιμοι χάρτες τραχύτητας ή χρήσης γης). Η διόρθωση του οριακού στρώματος γίνεται σε όλο το χώρο, καλύπτοντας όλες τις θέσεις, τόσο επιφανειακά όσο και καθ' ύψος. Η

απλή μέθοδος παρουσιάζει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι διατηρείται η παροχή μάζας, αν και μπορεί να αντικατασταθεί από οιαδήποτε άλλη διαδικασία διόρθωσης του οριακού στρώματος.

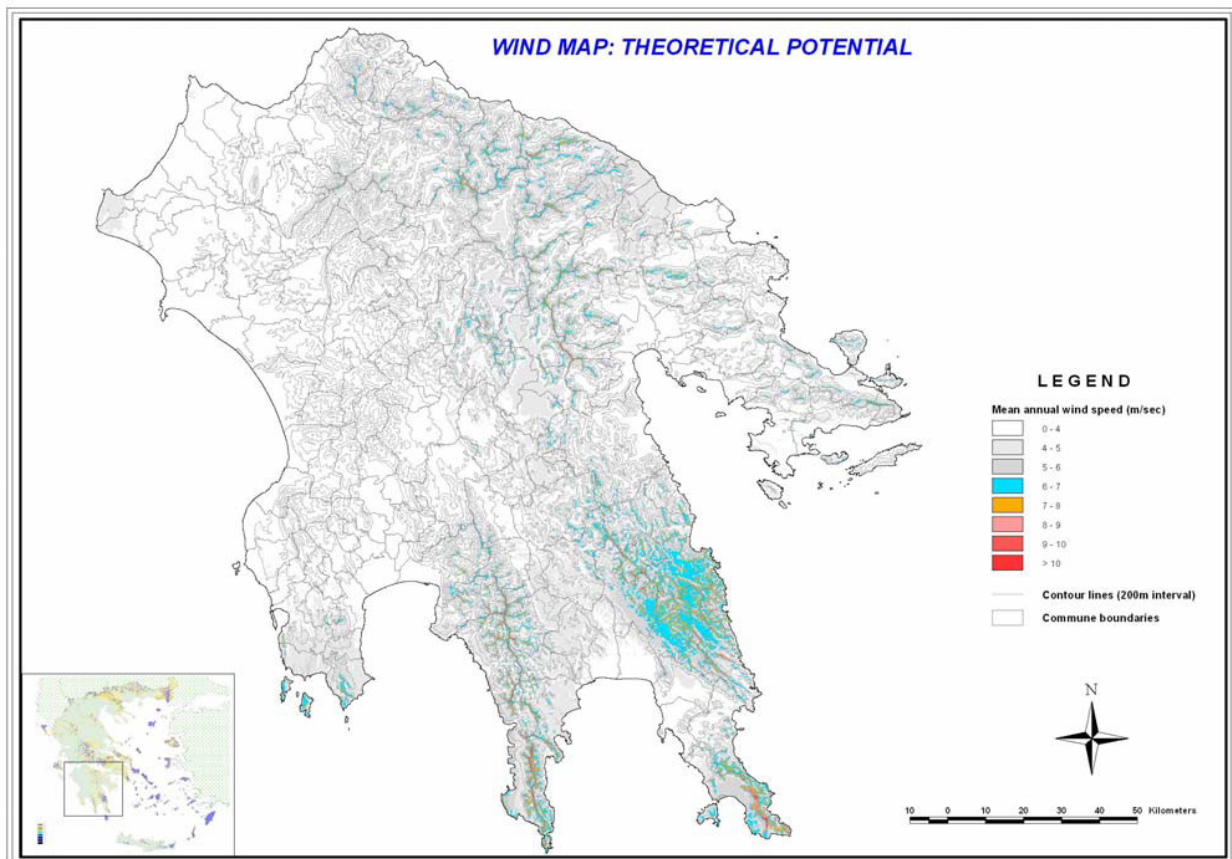
Στο τέλος αυτής της διαδικασίας δύο βημάτων το πεδίο ροής έχει καθοριστεί πλήρως, αλλά ακόμα είναι αδιαστατοποιημένο με την ταχύτητα του ανέμου στο άνω όριο. Η κύρια παραδοχή της αδιαστατοποίησης, ότι η ταχύτητα του ανέμου σε μεγάλα υψόμετρα ισούται με την μονάδα, δεν συνεπάγεται ότι αυτή παραμένει σταθερή στα διάφορα τμήματα της κατάτμησης. Αντιθέτως, είναι γνωστό ότι παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις. Σ' αυτό το στάδιο της μεθοδολογίας, ο σκοπός είναι να υπολογιστεί η ταχύτητα του ανέμου στο άνω όριο και για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι διαθέσιμες μετρήσεις.

Η διαστατοποίηση της πληροφορίας γίνεται αρχικά στις θέσεις του υπολογιστικού πλέγματος στις οποίες αντιστοιχούν οι μετρήσεις. Στη συνέχεια, με βάση την τρισδιάστατη πρόλεξη του πεδίου, υπολογίζεται το μέτρο της ταχύτητας στο άνω όριο του υπολογιστικού πεδίου για κάθε διεύθυνση στην αντίστοιχη θέση. Σε μεγάλα ύψη θεωρείται ότι η ταχύτητα εξαρτάται μόνο από μετεωρολογικά φαινόμενα και όχι από την επίδραση του ανάγλυφου. Με βάση τη θεώρηση αυτή, η ταχύτητα σε τυχαίο σημείο του άνω ορίου υπολογίζεται με τη χρήση συναρτήσεων παρεμβολής, από τα σημεία των μετρήσεων όπου ήδη είναι γνωστό το μέτρο της ταχύτητας. Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα σε όλα τα σημεία του άνω ορίου, και με την εκ νέου χρήση του τρισδιάστατου πεδίου ροής, καθορίζεται το μέτρο της ταχύτητας στο σύνολο των σημείων του χώρου.

Παράλληλα καθορίζεται η πιθανότητα της διεύθυνσης του ανέμου. Το υπολογιστικό μοντέλο δεν παρέχει κατ' αρχήν κάποια πληροφορία για τη συχνότητα εμφάνισης της ταχύτητας σε μία διεύθυνση. Με βάση τις μετρήσεις, υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισης του διανύσματος της ταχύτητας στους τομείς των διευθύνσεων που έχει διαιρεθεί ο ορίζοντας. Γίνεται επίσης η υπόθεση ότι η συχνότητα εμφάνισης μεταφέρεται ως έχει από το ύψος των 10 m από το έδαφος στο αντίστοιχο σημείο στο άνω όριο του πεδίου υπολογισμού. Η υπόθεση αυτή είναι λογική όταν ο αριθμός των τομέων των διευθύνσεων είναι σχετικά μικρός (π.χ. οκτώ). Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η ίδια συνάρτηση παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε και για το μέτρο της ταχύτητας, ώστε να καθοριστεί η ανά διεύθυνση πιθανότητα εμφάνισης, αρχικά στο άνω όριο του πεδίου και, τελικά, σε όλα τα σημεία του τρισδιάστατου χώρου.

Μετά το τέλος της διαδικασίας, σε κάθε σημείο του πεδίου είναι γνωστό το μέτρο της ταχύτητας ανά διεύθυνση, καθώς και η πιθανότητα της διεύθυνσης του ανέμου. Τα στοιχεία αυτά είναι αρκετά για την εκτίμηση της μέσης ταχύτητας του ανέμου σε κάθε σημείο του υπολογιστικού πλέγματος. Το τελικό αποτέλεσμα περιλαμβάνει τις αναμενόμενες μέσες τιμές ταχύτητας του ανέμου σε τέσσερις ή οκτώ διευθύνσεις και σε επτά διαφορετικά υψόμετρα από την επιφάνεια του εδάφους (10, 30, 40, 60, 80, 100, 120 και 140 m), τη συνάρτηση πιθανότητας εμφάνισης ανά διεύθυνση και, συνθέτοντας τα προηγούμενα, την μέση ταχύτητα του ανέμου στα επτά προαναφερθέντα υψόμετρα και τους συντελεστές της αντίστοιχης κατανομής πυκνότητας πιθανότητας Weibull.

Στο σχήμα 17 παρουσιάζεται ο αιολικός χάρτης της Πελοποννήσου, δηλ. το θεωρητικό αιολικό δυναμικό της Πελοποννήσου, όπως υπολογίστηκε βάσει μετρήσεων και προσομοιώσεων, οι ισουΨείς καμπύλες και τα όρια των δήμων. Παρατηρείται ότι το αιολικό δυναμικό είναι ιδιαίτερα υψηλό στο νοτιοανατολικό μέρος της (νομός Λακωνίας), αλλά σημεία με υψηλό δυναμικό μπορούν να εντοπιστούν και στο βόρειο τμήμα της χερσονήσου.



Σχήμα 17: Χάρτης θεωρητικού αιολικού δυναμικού της Πελοποννήσου

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

Αεροτομή	Σχήμα μιας διατομής ενός πτερυγίου Α/Γ.
Άκαμπτο σώμα	Ένα σώμα σε ένα σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ως άκαμπτο όταν η παραμόρφωσή του είναι τόσο μικρή που να μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Για ένα άκαμπτο σώμα, η απόσταση μεταξύ οποιονδήποτε δύο σημείων του σώματος παραμένει σταθερή και, κατά συνέπεια, η κινηματική του άκαμπτου σώματος είναι η ίδια με την κινηματική της αναφοράς του. Η δυναμική κίνηση ενός άκαμπτου σώματος περιγράφεται από μία σειρά συνήθων διαφορικών εξισώσεων (βλ. εύκαμπτο σώμα).
Ακαμψία	Ακαμψία είναι ο λόγος της μεταβολής της δύναμης (ή της ροπής) προς την αντίστοιχη μεταβολή της μεταφορικής (ή περιστροφικής) παραμόρφωσης ενός ελαστικού στοιχείου.
Ακραία φορτία	Τα υψηλότερα δυνατά φορτία που αναμένεται να αντιμετωπίσει μία ανεμογεννήτρια στη διάρκεια του χρόνου ζωής της (δηλ. ακραίες συνθήκες λειτουργίας).
Ανάντη (του ανέμου)	Χρησιμοποιείται για να υποδείξει ότι ο δρομέας είναι τοποθετημένος εμπροσθεν του πύργου στήριξης, όπως φαίνεται από την κύρια διεύθυνση του ανέμου.
Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα	Ανεμογεννήτρια της οποίας ο άξονας του δρομέα είναι κατακόρυφος.
Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα	Ανεμογεννήτρια της οποίας ο άξονας του δρομέα είναι ουσιαστικά παράλληλος προς την ροή του ανέμου.
Ανεμόμυλος	Σύστημα που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια. Η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται τυπικά για το άλεσμα των δημητριακών, την άντληση νερού και τη κοπή ξύλων. Ο όρος “ανεμόμυλος” προέρχεται από το γεγονός ότι ο “μύλος” είναι αυτός που αλέθει..
Άπειρος ζυγός	Πηγή τάσης με σταθερή τάση και συχνότητα.
Απόσβεση	Απόσβεση είναι η διάχυση της ενέργειας με το χρόνο ή την απόσταση
Απώλεια ακροπτερυγίου	Απώλεια της άνωσης σε σχέση με τα στοιχεία του δισδιάστατου αεροδυναμικού προφίλ στο άκρο του πτερυγίου λόγω των επιδράσεων του τρισδιάστατου της ροής.
Απώλεια στήριξης	Μείωση της άνωσης (ή αλλαγή στην ροπή πρόνευσης ή μείωση της οπισθέλκουσας) που σχετίζεται με την αποκόλληση της ροής του αέρα από την επιφάνεια του πτερυγίου του δρομέα.
Αριθμός Reynolds (Re)	Ο αριθμός του Reynolds είναι ένας αδιάστατος αριθμός που καθορίζει κατά πόσον η ροή γύρω από ένα πτερύγιο του δρομέα (ή ένα στοιχείο του πτερυγίου) μίας ανεμογεννήτριας είναι στρωτή ή τυρβώδης, και ορίζεται ως: $Re = (W \cdot c) / \nu$, όπου W είναι η σχετική ταχύτητα του ανέμου, c είναι η τοπική χορδή, και ν το κινηματικό

Ιξώδες (το κινηματικό ιξώδες πάλι δίνεται από τη σχέση $\nu = \rho/\mu$, όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα, και μ το δυναμικό ιξώδες). Ο αριθμός Reynolds μπορεί να ερμηνευθεί ως ο λόγος των δυνάμεων αδρανείας προς τις συνεκτικές δυνάμεις που δρουν στη ροή του αέρα. Για τον αέρα, σε κανονικές συνθήκες στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας, $Re = 69000 W.c$. Πρέπει να τονιστεί ότι τα στοιχεία της αεροτομής που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του δρομέα πρέπει να προσεγγίζουν την σωστή τιμή του αριθμού Reynolds, διότι σε διαφορετική περίπτωση δεν μπορούν να αναμένονται ακριβή αποτελέσματα.

Αστάθεια απώλειας στήριξης

Βλ. δυναμική απώλεια στήριξης.

Ασταθής αεροδυναμική

Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν συνέχεια σε ένα ασταθές περιβάλλον. Μπορούν να διακριθούν δύο βασικές περιοχές: η δυναμική εισροή αέρα και η δυναμική απώλεια στήριξης.

Ατρακτος

Κλωβός που στεγάζει το στατικό τμήμα της (ηλεκτρο)γεννήτριας (στάτορα) και την βάση έδρασης του μηχανισμού εκτροπής. Η μάζα της ατρακτού είναι ίση με την συνολική μάζα του πλαισίου (συμπεριλαμβανομένων του κινητήρα και του εδράνου αλλαγής κατεύθυνσης, των φλαντζών, κλπ.), συν την μάζα του στάτορα της γεννήτριας.

Βαθμοί ελευθερίας

Το πλήθος των βαθμών ελευθερίας ενός μηχανικού συστήματος ισούται με τον ελάχιστο αριθμό των ανεξάρτητων συντεταγμένων που απαιτούνται ώστε να καθοριστούν πλήρως οι θέσεις όλων των τμημάτων του συστήματος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Γενικά, ισούται με τον αριθμό των ανεξάρτητων μετατοπίσεων που είναι δυνατές.

Γεννήτρια

Διάταξη η οποία μετατρέπει την μηχανική σε ηλεκτρική ισχύ.

Γεννήτρια ανεμογεννήτριας (ΓΑ/Γ)

Σύστημα που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Σημειώνεται ότι ο όρος “γεννήτρια” στον ορισμό της ανεμογεννήτριας χρησιμοποιείται ως μέρος αντί για το όλο για ολόκληρη την δομή (δηλ. από τα πτερύγια του δρομέα έως την θεμελίωση).

Γωνία πρόσπτωσης (α)

Η γωνία μεταξύ της συνισταμένης (ή σχετικής) ταχύτητας του ανέμου και της γραμμής της χορδής μίας διατομής πτερυγίου.

Δέσμη Euler-Bernoulli

Μία πρισματική δέσμη μήκους L , επιφάνειας διατομής $A = \pi \cdot R^2$, σταθερής ελαστικής ακαμψίας EI , και ομοιογενώς διανεμημένης μάζας ανά μονάδα μήκους $\rho = m/L$, όπου m είναι η συνολική μάζα της δέσμης. Γίνεται η υπόθεση ότι τόσο η διατμητική παραμόρφωση όσο και η ροπή αδράνειας των διατομών είναι αμελητέες σε σύγκριση με την καμπτική παραμόρφωση και την αδράνεια μεταφοράς, αντίστοιχα. Η υπόθεση αυτή οδηγεί σε μία καλή προσέγγιση εάν η δέσμη είναι πολύ λεπτή (δηλ. $R \ll L$).

Διαρροή

Η διαρροή είναι ένα πρόβλημα το οποίο προκύπτει ως άμεση

συνέπεια του γεγονότος ότι ο Γρήγορος Μετασχηματισμός Φουριέ (FFT) προϋποθέτει ότι το διακριτό σύνολο N σημείων προέρχεται από ένα τριγωνομετρικό πολυώνυμο συχνοτήτων που είναι πολλαπλάσια της συχνότητας δείγματος, δηλ. $f_s = 1/T$. Έτσι, ο FFT υποθέτει ότι η πεπερασμένη καταχώρηση μήκους T είναι περιοδική για το επιλεγμένο διάστημα δειγματοληψίας με περίοδο T . Γενικά αυτό δεν ισχύει και προκύπτει ένα πρόβλημα που είναι γνωστό ως διαρροή, η οποία οδηγεί σε μία υπερεκτίμηση της απόσβεσης. Η διαρροή μπορεί να διορθωθεί σε ορισμένο βαθμό με την χρήση μίας λειτουργίας παραθύρων (π.χ. παράθυρο Hanning ή Εκθετικό παράθυρο) η οποία εξαναγκάζει το σήμα να αποσβεστεί στο τέλος του χρόνου καταγραφής. Η παραθυροποίηση όμως προσθέτει την δική της απόσβεση, προκαλώντας επιπρόσθετη διαρροή. Παρόλα αυτά, συνιστάται να χρησιμοποιείται πάντα ένα παράθυρο εκτός εάν το σήμα είναι πραγματικά περιοδικό στο χρόνο, ή το σήμα είναι παροδικό και έχει εξασθενήσει εντός του μήκους της καταγραφής.

Η δυναμική απώλεια στήριξης ή υστέρηση στήριξης είναι ένα δυναμικό φαινόμενο το οποίο εμφανίζεται στις αεροτομές εάν η γωνία πρόσπτωσης μεταβάλλεται γρηγορότερα από τον ρυθμό στον οποίο μπορεί να προσαρμοστεί η ροή του αέρα γύρω από το πτερύγιο (ή στοιχείο του πτερυγίου). Το αποτέλεσμα είναι οι συντελεστές άνωσης και οπισθέλκουσας της αεροτομής να μην εξαρτώνται μόνο από την στιγμιαία γωνία πρόσπτωσης (υπόθεση ημιστατικής αεροδυναμικής), αλλά και από το πρόσφατο ιστορικό της γωνίας πρόσπτωσης.

Δυναμική απώλεια στήριξης

Εγκάρσια (flap) κίνηση

Κάμψη (ελαστική) του πτερυγίου εκτός επιπέδου, δηλ. κάθετα στο επίπεδο περιστροφής (σε *αντιδιαστολή*, κίνηση “lead-lag”).

Εναλλασσόμενη δειγματοληψία

Το φαινόμενο κατά το οποίο οι δίνες του αέρα, με διαστάσεις μικρότερες από τη επιφάνεια σάρωσης του δρομέα, πλήττονται τοπικά κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου από την περιστροφή των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας.

Εξωτερικό κόστος

Κόστος που σχετίζεται με τις καταστροφές στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία και το οποίο δεν συμπεριλαμβάνεται στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας (για παράδειγμα, το κόστος λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που συμβάλλουν στο φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης).

Επαλήθευση

Η διαδικασία καθορισμού του κατά πόσο ή όχι ένα υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης είναι συνεπές με το μαθηματικό μοντέλο που το διέπει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ακριβείας.

Επικύρωση

Η διαδικασία καθορισμού του κατά πόσο ή όχι το επαληθευμένο μαθηματικό μοντέλο ενός συστήματος συμπεριφέρεται κατά παρόμοιο τρόπο με την πραγματική συμπεριφορά που σχετίζεται με την προβλεπόμενη χρήση του μοντέλου.

Επιφάνεια σάρωσης (A)

Η επιφάνεια της προβολής σε ένα επίπεδο κάθετο στο άνυσμα της ταχύτητας του ανέμου του δίσκου κατά μήκος του οποίου κινούνται

	<p>τα άκρα των πτερυγίων του δρομέα κατά τη διάρκεια της περιστροφής.</p> <p>Ένα σώμα μέσα σε ένα σύστημα θεωρείται ως εύκαμπτο όταν δεν ισχύει η υπόθεση του άκαμπτου σώματος. Με άλλα λόγια: η παραμόρφωση του σώματος έχει σημαντική επίπτωση στην δυναμική συμπεριφορά του συστήματος.</p>
Εύκαμπτο σώμα	
Ηλεκτρονικά ισχύος	<p>Ο ρόλος των ηλεκτρονικών ισχύος είναι η επεξεργασία και ο έλεγχος της ροής της ηλεκτρικής ενέργειας με την παροχή τάσεων και ρευμάτων σε μορφή κατάλληλη (και βελτιστοποιημένη) για τα φορτία των χρηστών.</p>
Θεωρητική προσομοίωση	<p>Στην θεωρητική ή θεμελιώδη προσομοίωση οι σχετικές φυσικές ιδιότητες του συστήματος προέρχονται από βασικές αρχές (π.χ. νόμοι διατήρησης).</p>
Κατάντη του ανέμου	<p>Χρησιμοποιείται ως ένδειξη ότι ο δρομέας βρίσκεται πίσω από τον πύργο στήριξης, όπως φαίνεται από την κύρια διεύθυνση του ανέμου (σε αντιδιαστολή με το ανάντη του ανέμου).</p>
Κινηματική	<p>Η μελέτη της γεωμετρίας της κίνησης. Η κινηματική χρησιμοποιείται για την συσχέτιση της μετατόπισης, της ταχύτητας, της επιτάχυνσης και του χρόνου χωρίς αναφορά στο αίτιο της κίνησης.</p>
Κίνηση lead-lag	<p>Κάμψη (ελαστική) του πτερυγίου εντός του επιπέδου (σε αντιδιαστολή, κίνηση flap).</p>
Κόστη λειτουργίας και συντήρησης (Λ&Σ)	<p>Περιλαμβάνουν όλα τα κόστη για την επιδιόρθωση βλαβών, την διεξαγωγή επιθεωρήσεων, προσαρμογών, μετασκευών, του προληπτικού ελέγχου καθώς και της μη προγραμματισμένης συντήρησης που γίνεται σε ανεμογεννήτριες, καθώς και τον χρόνο μη διαθεσιμότητας τη μηχανής λόγω της αναμονής για τα διάφορα ανταλλακτικά, για οδηγίες ή εξωτερικές υπηρεσίες που δεν είναι διαθέσιμες επιτόπου αλλά απαιτούνται για να τεθεί ξανά σε λειτουργία η ανεμογεννήτρια.</p>
Κόστος κεφαλαίου	<p>Το κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει την τιμή αγοράς, τα κόστη μεταφοράς, συναρμολόγησης και ανέγερσης της Α/Γ στην περιοχή τοποθέτησης, καθώς και το κόστος εγκατάστασης των γραμμών δικτύου και σύνδεσης της Α/Γ με το δίκτυο μεταφοράς.</p>
Λόγος διαστάσεων (AR)	<p>Ο λόγος της ακτίνας R του πτερυγίου του δρομέα προς το μέσο μήκος χορδής του πτερυγίου \bar{c} (μεγάλο AR: $\bar{c}/R \ll 1$).</p>
Μη-συνεκτικές ανεμορριπές	<p>Ριπές του ανέμου με διαστάσεις μικρότερες από την επιφάνεια σάρωσης του δρομέα (βλ. συνεκτικές ριπές).</p>
Πλήμνη	<p>Το τμήμα του δρομέα επάνω στο οποίο προσαρμόζονται τα πτερύγια στον άξονα του δρομέα.</p>
Πτερυγισμός λόγω αξονικής κάμψης – στρέψης	<p>Ο πτερυγισμός λόγω αξονικής κάμψης – στρέψης ορίζεται ως η συνδυασμένη καμπτική και στρεπτική δόνηση ενός πτερυγίου του δρομέα σε συνθήκες σταθερής ροής του αέρα. Προκύπτει όταν ο αδρανειακός άξονας (ο τόπος των κέντρων μάζας των διατομών</p>

	<p>κατά μήκος του πτερυγίου) δεν συμπίπτει με τον ελαστικό άξονα (ο τύπος των κέντρων διάτμησης, όπου το κέντρο διάτμησης είναι ένα σημείο τέτοιο ώστε μία διατμητική δύναμη που το διαπερνάει παράγει καθαρή κάμψη και μία ροπή γύρω της προκαλεί καθαρή στρέψη). Πρέπει να σημειωθεί ότι εάν η διατομή είναι συμμετρική, το κέντρο διάτμησης συμπίπτει με το κέντρο μάζας της διατομής (υποθέτοντας ότι το κέντρο μάζας είναι ίδιο με το κέντρο της επιφάνειας της διατομής).</p>
Σημειακή μάζα	<p>βλ. σωματίδιο</p>
Στερεότητα	<p>Ο λόγος της συνολικής επιφάνειας των πτερυγίων προς την επιφάνεια σάρωσης (βλ. επιφάνεια σάρωσης).</p>
Συνεκτικές ανεμορριπές	<p>Ριπές ανέμου με διαστάσεις μεγαλύτερες από την επιφάνεια σάρωσης του δρομέα (βλ. <i>μη-συνεκτικές ανεμορριπές</i>).</p>
Συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD)	<p>Η συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD) του ρεύματος ή της τάσης είναι η τετραγωνική ρίζα του ολοκληρώματος των τετραγώνων των αρμονικών συνιστωσών προς την βασική συνιστώσα.</p> <p>Είναι ο λόγος της πραγματικής (ή εκτιμούμενης) παραγωγής ενέργειας από την Α/Γ σε ετήσια βάση (σε kWh) προς την ενέργεια που θα παραγόταν εάν η Α/Γ λειτουργούσε καθ' όλο το έτος στην ονομαστική της ισχύ (δηλ. η ονομαστική ισχύς επί 365 μέρες επί 24 ώρες). Οι φυσιολογικές τιμές του συντελεστή δυναμικού κυμαίνονται από 0,25 έως 0,30, ενώ μία πολύ καλή τιμή συντελεστή δυναμικού θα ήταν το 0,40.</p>
Συντελεστής δυναμικού	<p>Μία διάταξη η δυναμική της οποίας αλληλεπιδρά με την δυναμική ενός φυσικού συστήματος (π.χ. μία ανεμογεννήτρια), και έτσι έχει επιπτώσεις στην απόδοσή του.</p>
Σύστημα ελέγχου	<p>Τμήμα της ανεμογεννήτριας που αποτελείται από τον άξονα του δρομέα, τις αδρανειακές μάζες του δρομέα, το σύστημα μετάδοσης και την γεννήτρια.</p>
Σύστημα μετάδοσης της κίνησης (Drivetrain)	
Σύστημα Μετατροπής της Αιολικής Ενέργειας (WECS)	<p>βλ. <i>ανεμογεννήτρια</i></p>
Σύστημα πολλαπλών σωμάτων	<p>Μία προσέγγιση του πραγματικού μηχανικού συστήματος μέσω μίας σειράς διασυνδεδεμένων άκαμπτων και εύκαμπτων σωμάτων.</p>
Συστροφή	<p>Η συστροφή εφαρμόζεται για την διατήρηση της βέλτιστης γωνίας πρόσπτωσης α, και έτσι του μέγιστου συντελεστή άνωσης C_l^{\max}, σταθερής κατά μήκος του πτερυγίου του δρομέα.</p>
Σωματίδιο	<p>Η πιο απλή προσέγγιση ενός (στοιχείου ενός) συστήματος είναι ένα ελεύθερο σωματίδιο (ή σημειακή μάζα). Ένα σωματίδιο υποτίθεται ότι δεν έχει διαστάσεις και συνεπώς μπορεί να το διαχειριστεί κανείς ως σημείο στον τρισδιάστατο χώρο. Με άλλα λόγια, γίνεται η</p>

	<p>υπόθεση ότι η μάζα μπορεί να συγκεντρωθεί σε ένα σημείο και ότι όλες οι δυνάμεις δρουν στο σημείο αυτό (δηλ. η περιστροφή γύρω από το κέντρο μάζας θεωρείται αμελητέα).</p>
Υπερ-στοιχείο	<p>Ένα υπερ-στοιχείο είναι μία πολυσωματική προσέγγιση ενός (μέρους ενός) εύκαμπτου σώματος που αποτελείται από τρία (για την περιγραφή μόνο της κάμψης) ή τέσσερα (για την περιγραφή της κάμψης, της αξονικής παραμόρφωσης και της στρέψης) άκαμπτα σώματα που συνδέονται με ιδεατά ελατήρια και αποσβεστήρες.</p>
Υποστηρικτική δομή	<p>Το τμήμα μιας ανεμογεννήτριας που αποτελείται από τον πύργο στήριξης (μέχρι το έδρανο του μηχανισμού εκτροπής) και την θεμελίωση.</p>
Ύψος πλήμνης (H)	<p>Το ύψος του κέντρου του δρομέα μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα επάνω από την επιφάνεια του εδάφους.</p>
Φορτία κόπωσης	<p>Δυναμικά φορτία που αντιμετωπίζει κατ' επανάληψη μία ανεμογεννήτρια καθόλη τη διάρκεια του χρόνου ζωής της (δηλ. κανονικές συνθήκες λειτουργίας).</p>
Φορτίο	<p>Δύναμη ή ροπή επί μίας συνιστώσας (ή τμήματος συνιστώσας) μίας ανεμογεννήτριας.</p>
Χορδή (c)	<p>Το πλάτος μιας διατομής ενός πτερυγίου Α/Γ, δηλ. η τοπική του διάσταση που είναι κάθετη στην ακτίνα R του πτερυγίου.</p>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1. Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.1 Περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια ορίζεται ως η φυσική θερμότητα από το εσωτερικό της Γης που δεσμεύεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης χώρων ή βιομηχανικού ατμού. Βρίσκεται παντού κάτω από την επιφάνεια της Γης, αν και οι υψηλότερες θερμοκρασίες, και συνεπώς οι καταλληλότερες πηγές για αξιοποίηση, συγκεντρώνονται σε περιοχές ενεργών ή γεωλογικά νεαρών ηφαιστείων.

Είναι μία *καθαρή, ανανεώσιμη* πηγή ενέργειας επειδή η θερμότητα που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης είναι ουσιαστικά απεριόριστη. Η πηγή της γεωθερμικής ενέργειας, η θερμότητα της Γης, είναι *διαθέσιμη* 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο. Αντιθέτως, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των ημερησίων και εποχιακών διακυμάνσεων και των εναλλαγών του καιρού. Γι' αυτούς τους λόγους, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με την χρήση γεωθερμικής ενέργειας είναι σταθερά πιο αξιόπιστη, από τη στιγμή που αξιοποιείται ο πόρος, από πολλές άλλες μορφές ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμότητα που ρέει συνεχώς από το εσωτερικό της Γης υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί σε 42 εκατομμύρια μεγαβάτ ηλεκτρικής ενέργειας (*Heat balance* των Stacey & Loper, 1988). Σημειώνεται ότι ένα μεγαβάτ μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες περίπου 1.000 σπιτιών.

Η θερμική ενέργεια της γης βρίσκεται σε αφθονία και είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αλλά είναι πολύ δισεσπαρμένη, σπανίως συγκεντρώνεται και συχνά βρίσκεται σε βάθη πολύ μεγάλα για να μπορεί να είναι αξιοποιήσιμη. Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε κάποιο φορέα (νερό σε υγρή φάση ή ατμό) να «μεταφέρει» τη θερμότητα από θερμές ζώνες που βρίσκονται βαθιά στο υπέδαφος στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτή, δίνοντας έτσι την αφορμή για την ανάπτυξη γεωθερμικών πόρων.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση της γεωθερμίας είναι αρκετά μικρές και εύκολα ελεγχόμενες. Στην πραγματικότητα, η γεωθερμική ενέργεια παράγει ελάχιστες εκπομπές στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου, υδρόθειου, διοξειδίου του θείου, αμμωνίας, μεθανίου, αιωρούμενων σωματιδίων και διοξειδίου του άνθρακα είναι εξαιρετικά χαμηλές, ειδικά όταν συγκρίνονται με τις εκπομπές από τα συμβατικά καύσιμα.

Ωστόσο, τόσο στο νερό όσο και στον συμπυκνωμένο ατμό των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής περιέχονται διάφορα χημικά στοιχεία, μεταξύ των οποίων είναι το αρσενικό, ο υδράργυρος, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, το βόριο και το θείο, των οποίων η τοξικότητα προφανώς εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος των στοιχείων αυτών παραμένει διαλυμένο στο νερό που επανεγχύεται στον ταμιευτήρα από τον οποίο είχε εξαχθεί ως ζεστό νερό ή ατμός.

Μια μονάδα δυαδικού κύκλου, καθώς και οι μονάδες ακαριαίας ατμοποίησης / δυαδικού κύκλου, εκπέμπουν σχεδόν μηδενικές εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα. Στην άμεση χρήση της θερμότητας από γεωθερμικό ζεστό νερό, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι αμελητέες και

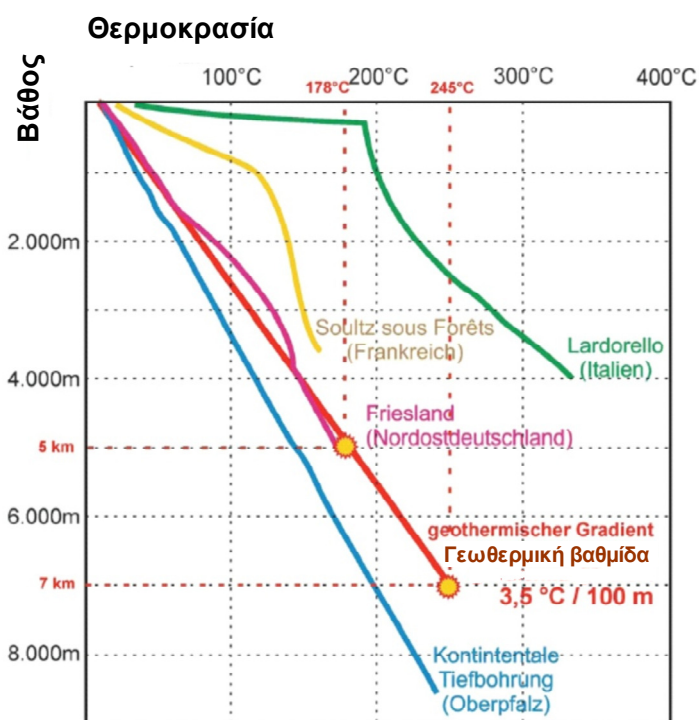
μπορούν εύκολα να μετριάσουν με την υιοθέτηση συστημάτων κλειστού κύκλου, στα οποία ενσωματώνεται η εξόρυξη και η τελική επανέγχυση του ρευστού στον ίδιο ταμειυτήρα.

Η οικονομική πτυχή της χρήσης των θερμών υδάτων εξακολουθεί να αποτελεί περιορισμό όσον αφορά την ευρύτερη διάδοσή τους στον τομέα της παραγωγής ενέργειας. Στην πραγματικότητα, το οικονομικό όφελος προέρχεται από την χρήση τους για μεγάλη χρονική περίοδο κατά τη διάρκεια των ετών με χαμηλό λειτουργικό κόστος σε σχέση με την αρχική επένδυση που μπορεί να είναι σημαντική.

1.2 Γεωθερμική βαθμίδα θερμοκρασίας

Η πιο σημαντική παράμετρος στην αξιοποίηση αυτής της ενέργειας είναι η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών, η οποία καθορίζει το είδος της εφαρμογής της γεωθερμικής ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμικές χρήσεις ή για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Πηγαίνοντας από την επιφάνεια της γης προς τον πυρήνα, παρατηρείται ότι η θερμοκρασία αυξάνει προοδευτικά με το βάθος από 3°C, κατά μέσο όρο, κάθε 100 μέτρα (30°C/km). Αυτό ονομάζεται *γεωθερμική βαθμίδα*. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία στα πρώτα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, η οποία κατά μέσο όρο αντιστοιχεί στη μέση ετήσια θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, είναι 15°C, τότε μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι η θερμοκρασία θα είναι περίπου 65° - 75°C στα 2.000 μέτρα βάθος, 90° - 105°C, στα 3.000 μέτρα και ούτω καθεξής για μερικά ακόμα χιλιάδες μέτρα (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Θερμοκρασία σε σχέση με το βάθος για τις διάφορες γεωθερμικές βαθμίδες (η θερμοκρασία του εδάφους θεωρείται ότι είναι 17°C)

Οι περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τις εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας είναι αυτές στις οποίες η γεωθερμική βαθμίδα είναι πέραν του κανονικού. Σε ορισμένες περιοχές, είτε

λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια πρόσφατης γεωλογικής ηλικίας, είτε λόγω της ανόδου ζεστού νερού από μεγάλα βάθη μέσω ρηγμάτων, η γεωθερμική βαθμίδα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τον μέσο όρο, έτσι ώστε να προκύπτουν θερμοκρασίες 250-350 °C σε βάθος περίπου 2.000-4.000 μέτρων.

Τέτοιες “θερμές” ζώνες γενικά εντοπίζονται κοντά στα όρια της δωδεκάδας ή και παραπάνω πλακών από άκαμπτα πετρώματα (που κοινώς ονομάζονται «τεκτονικές πλάκες») οι οποίες διαμορφώνουν την λιθόσφαιρα της Γης. Αυτή αποτελείται από τον φλοιό της Γης και το ανώτατο, στερεό τμήμα του υποκείμενου πυκνότερου και θερμότερου στρώματος (ο “μανδύας”). Η μέση ροή θερμότητας της γης στις ηπείρους και τους ωκεανούς είναι 65 και 101 mWm⁻², αντίστοιχα, η οποία, όταν σταθμιστεί, δίνει έναν συνολικό μέσο όρο 87 mWm⁻² (Pollack *et al.*, 1993).

2. ΤΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Γεωθερμικά συστήματα

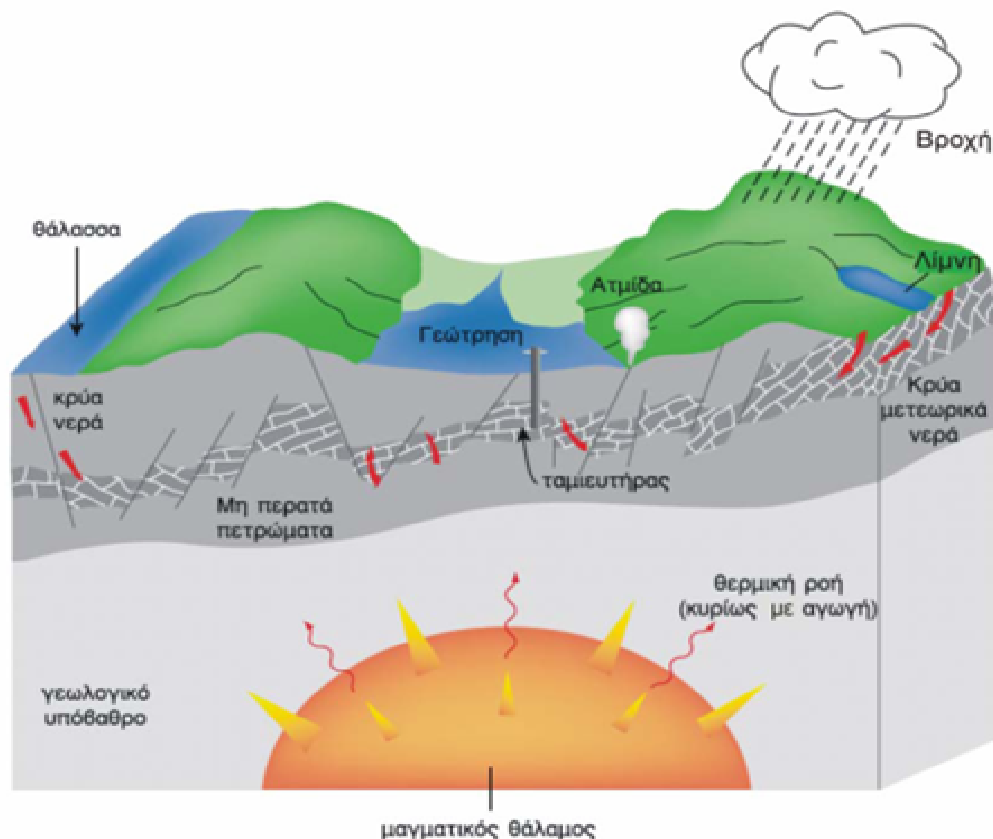
Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από ορισμένα βασικά στοιχεία, και συγκεκριμένα:

- μια πηγή θερμότητας,
- έναν ταμιευτήρα,
- ένα ρευστό, το οποίο είναι ο φορέας μεταφοράς της θερμότητας,
- μία περιοχή τροφοδοσίας, και
- ένα στεγανό κάλυμμα για να σφραγίσει τον υδροφόρο ορίζοντα.

Η πηγή θερμότητας μπορεί να είναι είτε μία μαγματική διείσδυση πολύ υψηλής θερμοκρασίας (>600 °C) που να έχει φτάσει σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km) είτε, όπως συμβαίνει σε ορισμένα συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας, η φυσιολογική θερμοκρασία της Γης, η οποία, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αυξάνεται με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ένας χώρος από θερμά διαπερατά πετρώματα από τον οποίο τα κυκλοφορούντα ρευστά (νερό ή ατμός) αποσπών θερμότητα.

Ο ταμιευτήρας γενικά υπερκαλύπτεται είτε από στεγανά (αδιαπέραστα) κατά κύριο λόγο στρώματα είτε από πετρώματα των οποίων η φτωχή διαπερατότητα οφείλεται σε φαινόμενα αυτο-σφράγισης, όπως είναι η εναπόθεση ανόργανων συστατικών στις ασυνέχειες ή τους πόρους του πετρώματος. Ο ταμιευτήρας συνδέεται με μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, μέσω της οποίας τα μετεωρικά ύδατα μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως ή εν μέρει τα ρευστά που διαφεύγουν από αυτόν, μέσω πηγών ή που αντλούνται από γεωτρήσεις.

Το γεωθερμικό ρευστό είναι νερό, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων μετεωρικό ύδωρ, σε υγρή ή αέρια φάση, ανάλογα με την θερμοκρασία και την πίεσή του. Το εν λόγω ρευστό συχνά μεταφέρει μαζί του χημικά στοιχεία και αέρια, όπως CO₂, H₂S, κλπ. Το Σχήμα 2 αποτελεί μια πολύ απλουστευμένη αναπαράσταση ενός πρότυπου γεωθερμικού συστήματος.



Σχήμα 2: Σχηματική απεικόνιση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος

Ο μηχανισμός που διέπει τα γεωθερμικά συστήματα κατά κύριο λόγο οφείλεται στη *μετάδοση της θερμότητας* στο ρευστό με *συναγωγή*. Η συναγωγή λαμβάνει χώρα λόγω της θέρμανσης και της επακόλουθης θερμικής διαστολής των ρευστών εντός ενός βαρυτικού πεδίου. Η θερμότητα, η οποία παρέχεται στη βάση του συστήματος κυκλοφορίας, είναι η ενέργεια που κινεί το σύστημα. Το ρευστό που έχει θερμανθεί και έχει χαμηλότερη πυκνότητα τείνει να κινηθεί προς τα επάνω και να αντικατασταθεί από ψυχρότερο υγρό μεγαλύτερης πυκνότητας, το οποίο προέρχεται από τις παρυφές του συστήματος.

Η συναγωγή, από τη φύση της, τείνει να αυξήσει τις θερμοκρασίες στο επάνω μέρος ενός συστήματος, καθώς μειώνονται οι θερμοκρασίες στο κάτω μέρος του (White, 1973). Το φαινόμενο που μόλις περιγράφηκε μπορεί να φαίνεται αρκετά απλό αλλά τα γεωθερμικά συστήματα εμφανίζονται στη φύση σε μια ποικιλία συνδυασμών από γεωλογικά, φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά, οδηγώντας έτσι σε πολλούς διαφορετικούς τύπους του συστήματος.

2.2 Η έννοια της ενθαλπίας

Το πλέον συνηθισμένο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών πηγών βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών που δρουν ως «μεταφορείς», μεταφέροντας θερμότητα από τα θερμά πετρώματα που βρίσκονται βαθιά στο υπέδαφος προς την επιφάνεια. Η *ενθαλπία*, η οποία μπορεί να θεωρηθεί λίγο πολύ ανάλογη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει το θερμικό περιεχόμενο (θερμική ενέργεια) των ρευστών, και παρέχει μια γενική εικόνα της «αξίας» τους. Οι πηγές διακρίνονται σε πηγές χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας (ή θερμοκρασίας), σύμφωνα με κριτήρια που γενικά βασίζονται στο ενεργειακό περιεχόμενο των

ρευστών και τις πιθανές μορφές αξιοποίησής τους. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται κάποιες από τις ταξινομήσεις που έχουν προταθεί από διάφορους συγγραφείς.

Πίνακας 1: Ταξινόμηση των γεωθερμικών πηγών (°C)

	(α)	(β)	(γ)	(δ)	(ε)
Πηγές χαμηλής ενθαλπίας	< 90	<125	<100	≤150	≤190
Πηγές μέσης ενθαλπίας	90-150	125-225	100-200	-	-
Πηγές υψηλής ενθαλπίας	>150	>225	>200	>150	>190

Πηγές:

(α) Muffler and Cataldi (1978).

(β) Hochstein (1990).

(γ) Benderitter and Cormy (1990).

(δ) Nicholson (1993).

(ε) Axelsson and Gunnlaugsson (2000).

Τα πεδία υψηλής θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται στη συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό σε περιοχές με πρόσφατες ηφαιστειακές, σεισμικές και μαγματικές δραστηριότητες. Χαμηλής θερμοκρασίας πηγές, από την άλλη, μπορούν να βρεθούν στις περισσότερες χώρες. Δημιουργούνται από την κυκλοφορία μετεωρικού ύδατος σε μεγάλα βάθη κατά μήκος των ρηγμάτων και καταγμάτων, και από νερό που παραμένει σε υψηλού πορώδους πετρώματα, όπως είναι ο ψαμμίτης και ο ασβεστόλιθος, και σε επαρκή βάθη ώστε το νερό να μπορεί να θερμανθεί από την γεωθερμική βαθμίδα της γης.

Συχνά γίνεται διάκριση ανάμεσα στα γεωθερμικά συστήματα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι το νερό στην υγρή φάση (water- ή liquid-dominated systems) και σε εκείνα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός (vapour-dominated ή dry steam systems) (White, 1973). Στα συστήματα όπου επικρατεί το νερό, η υγρή φάση είναι αυτή που υπερτερεί και ελέγχει συνεχώς την πίεση. Μέσα στο σύστημα μπορεί να περιέχεται και λίγος ατμός, υπό τη μορφή διακριτών φυσαλίδων. Αυτά τα γεωθερμικά συστήματα, των οποίων οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από κάτω των 125°C μέχρι και άνω των 225°C, είναι τα πλέον διαδεδομένα παγκοσμίως. Ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, μπορούν να παράγουν θερμό νερό, μίγματα νερού και ατμού, υγρό ατμό, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις, ξηρό ατμό.

Στα συστήματα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός, το υγρό νερό και ο ατμός συνήθως συνυπάρχουν στον ταμιευτήρα, με τον ατμό να λειτουργεί ως η φάση που ελέγχει συνεχώς την πίεση. Τέτοιου τύπου γεωθερμικά συστήματα, τα πιο γνωστά εκ των οποίων είναι το Larderello στην Ιταλία και το The Geysers στην Καλιφόρνια (ΗΠΑ), είναι εν γένει σπάνια και συνιστούν συστήματα υψηλής θερμοκρασίας. Κατά κύριο λόγο παράγουν ξηρό έως υπέρθερμο ατμό.

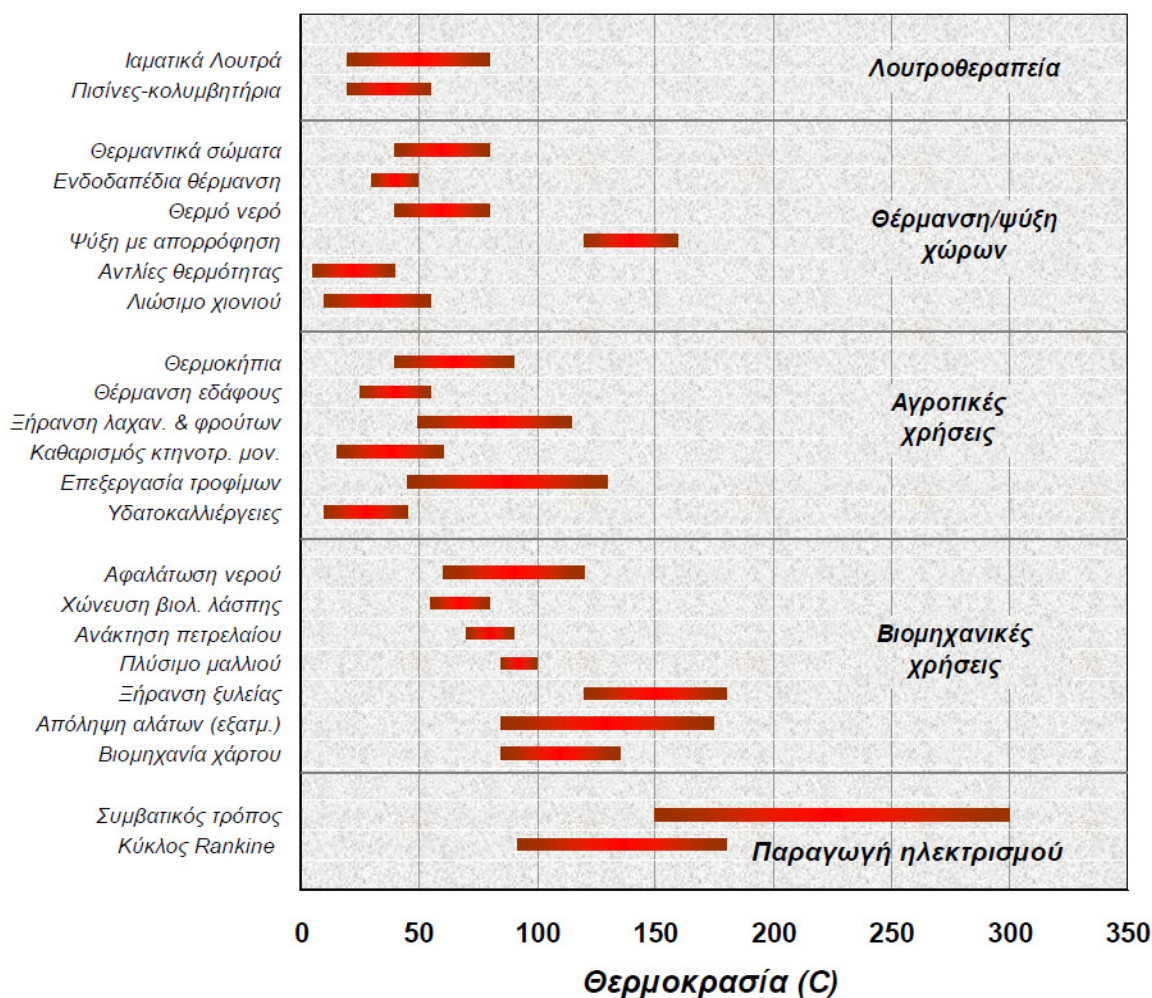
Ένας άλλος διαχωρισμός των γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτός που βασίζεται στην κατάσταση ισορροπίας στον ταμιευτήρα (Nicholson, 1993), λαμβάνοντας υπόψη την κυκλοφορία του ρευστού του ταμιευτήρα και τον μηχανισμό μεταφοράς της θερμότητας. Στα δυναμικά συστήματα ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με νερό που θερμαίνεται και στη συνέχεια εκχύεται από τον ταμιευτήρα, είτε στην επιφάνεια είτε σε υπόγειους διαπερατούς σχηματισμούς. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω του συστήματος με μεταφορά και με την κυκλοφορία του

ρευστού. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει συστήματα τόσο υψηλής θερμοκρασίας (>150°C) όσο και χαμηλής θερμοκρασίας (<150°C).

Στα *στατικά* συστήματα (γνωστά και ως λιμνάζοντα συστήματα ή συστήματα αποθήκευσης), λαμβάνει χώρα ελάχιστη ή καθόλου τροφοδοσία του ταμειυτήρα και η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με αγωγή. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας και γεωπεπιεσμένα συστήματα.

3. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η πιο σημαντική μορφή αξιοποίησης των γεωθερμικών πόρων υψηλής θερμοκρασίας (>150°C). Οι μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας πόροι (<150°C) είναι κατάλληλοι για πολλούς διαφορετικούς τύπους εφαρμογών. Το “κλασικό” διάγραμμα του Lindal (Lindal, 1973), δείχνει τις πιθανές χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους (Σχήμα 3). Πρέπει να σημειωθεί, ότι το κατώτατο όριο των (περίπου) 20°C μπορεί να ξεπεραστεί, αλλά μόνο υπό ορισμένες συνθήκες και κυρίως με τη χρήση των αντλιών θερμότητας.



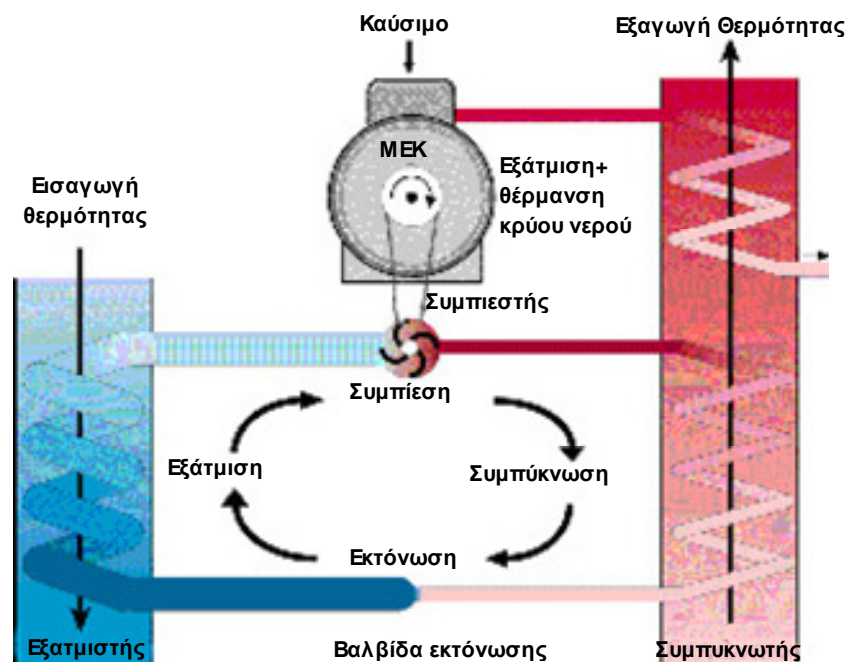
Σχήμα 3: Διάγραμμα που δείχνει την αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών (Lindal, 1973)

3.1 Άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας

Στην περίπτωση που η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από τους 90°C, το γεωθερμικό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα αντί να μετατρέψουμε η θερμότητά του σε ηλεκτρική ενέργεια. Στις πιο γνωστές μορφές χρήσεων αυτού του είδους περιλαμβάνονται η θέρμανση χώρων με fan coils ή με ενδοδαπέδια θέρμανση, οι γεωργικές εφαρμογές, οι υδατοκαλλιέργειες και κάποιες βιομηχανικές χρήσεις. Όταν η θερμοκρασία του νερού είναι μικρότερη των 40°C, εφαρμόζονται οι αντλίες θερμότητας για θέρμανση και ψύξη χώρων. Εάν δεν είναι διαθέσιμα υπόγεια ύδατα, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να συνδυαστούν με γεωθερμικούς εναλλάκτες θερμότητας.

3.1.1 Η αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας

Μια αντλία θερμότητας (Σχήμα 4) είναι μια θερμική μηχανή που επιτρέπει την απόσπαση θερμότητας από το έδαφος ή από υδροφόρους ορίζοντες σε μικρά βάθη (μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα) και χαμηλή θερμοκρασία, την οποία μεταφέρει σε υψηλότερη θερμοκρασία στον χώρο που πρέπει να θερμανθεί. Το πλεονέκτημα των αντλιών θερμότητας έγκειται στο γεγονός ότι, για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, λαμβάνονται περίπου τρεις μονάδες ενέργειας υπό μορφή θερμότητας με τη συμβολή του γεωθερμικού νερού.



Σχήμα 4: Γεωθερμική αντλία θερμότητας

Κατά την ψύξη απάγεται θερμότητα από τον χώρο και διαχέεται στο έδαφος, ενώ κατά την θέρμανση εξάγεται θερμότητα από το έδαφος η οποία διοχετεύεται στον χώρο που πρόκειται να θερμανθεί. Μια αντλία θερμότητας υπόκειται στους ίδιους περιορισμούς του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής (κάθε μετατροπή ενέργειας από μία μορφή σε μια άλλη έχει ως συνέπεια την διάχυση ενός μέρους αυτής με τη μορφή θερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω για την παραγωγή έργου) όπως και κάθε άλλη θερμική

μηχανή και, συνεπώς, η μέγιστη αποδοτικότητά της μπορεί να υπολογιστεί από τον κύκλο του Carnot. Οι αντλίες θερμότητας συνήθως χαρακτηρίζονται από τον Συντελεστή Ενεργειακής Απόδοσης (COP), ο οποίος είναι ο λόγος της ενέργειας που αποδίδει η αντλία με τη μορφή θερμότητας προς την ενέργεια (ηλεκτρική) που καταναλώνει.

3.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

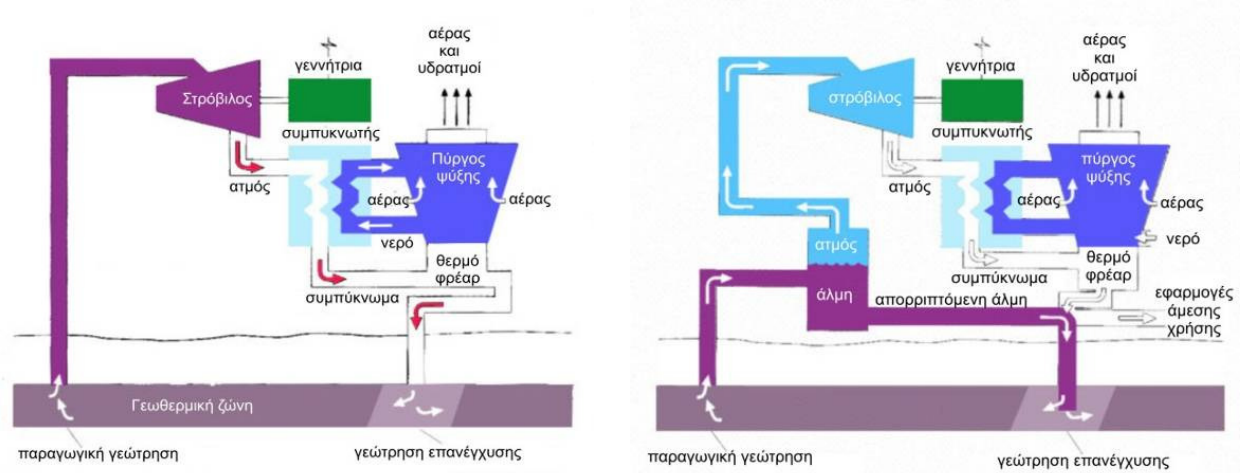
Η υψηλής ενθαλπίας γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα αυτού του είδους χρειάζεται περίπου 10 kg ατμού για την παραγωγή μίας μονάδας (kWh) ηλεκτρικής ενέργειας. Για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, της τάξης των μερικών εκατοντάδων μεγαβάτ, απαιτείται η ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων γεωθερμικών ρευστών. Έτσι, ένα από τα σοβαρότερα ζητήματα ενός γεωθερμικού συστήματος είναι ότι πρέπει να περιέχει πολύ μεγάλες ποσότητες ρευστού σε υψηλές θερμοκρασίες ή να υπάρχει ένας ταμιευτήρας που να μπορεί να επανατροφοδοτηθεί με τα ρευστά που θερμαίνονται κατά την επαφή τους με τα πετρώματα.

Οι τρεις βασικοί τύποι ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμική ενέργεια είναι του δυαδικού κύκλου, του ξηρού ατμού (αναφέρεται επίσης ως "ατμός"), και της εκτόνωσης του ατμού (ή διφασικού ρευστού - αναφέρεται και ως "εκτόνωση"), όταν η πίεση στο ζεστό νερό (που συνήθως είναι πάνω από 100 °C) μειώνεται. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κάθε τύπο εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση του ταμιευτήρα, και κάθε τύπος προκαλεί ελαφρώς διαφορετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ο πιο κοινός τύπος σταθμού ηλεκτροπαραγωγής μέχρι σήμερα είναι αυτός της εκτόνωσης του ατμού με ένα σύστημα ψύξης νερού, όπου από τις γεωτρήσεις παράγεται ένα μείγμα νερού και ατμού (διφασικό ρευστό). Το μείγμα εισάγεται σε μία δεξαμενή εκτόνωσης [flash], όπου η μειωμένη πίεση της οδηγεί στην επιπλέον ατμοποίηση του διαλύματος. Ο παραγόμενος ατμός διοχετεύεται σε έναν ατμοστρόβιλο με σκοπό την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην γεννήτρια του ατμοστροβίλου. Το υδάτινο διάλυμα το οποίο δεν κατάφερε να εκτονωθεί και παρέμεινε στην υγρή κατάσταση του, συμπεριλαμβανομένου των συμπυκνωμάτων του ατμού από την έξοδο της ατμογεννήτριας, επιστρέφουν στην υπόγεια υδροφορία από όπου αντλήθηκαν μέσω μιας γεώτρησης εμπλουτισμού.

Σε μια μονάδα παραγωγής ξηρού ατμού ο ατμός, εξερχόμενος απευθείας από τον ταμιευτήρα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, κινεί τους στροβίλους οι οποίοι με τη σειρά τους περιστρέφουν τις γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σ' αυτήν την περίπτωση δεν είναι αναγκαίος ο διαχωρισμός, καθώς τα φρεάτια παράγουν μόνον ατμό. Σε απλές εγκαταστάσεις αυτού του τύπου ο ατμός χαμηλής πίεσης που εξάγεται από τον στρόβιλο οδηγείται στην ατμόσφαιρα, αλλά συνήθως ο ατμός περνάει από ένα συμπυκνωτή ώστε να μετατραπεί σε νερό. Αυτό βελτιώνει την απόδοση του στροβίλου και προλαμβάνει τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από την άμεση εκτόνωση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Το νερό αυτό οδηγείται μέσω γεωτρήσεων εμπλουτισμού πίσω στο έδαφος.

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας ενός σταθμού εκτόνωσης ατμού και μιας μονάδας παραγωγής ξηρού ατμού.



Σχήμα 5: Σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας σε μία μονάδα ξηρού ατμού (αριστερά) και εκτόνωσης ατμού (δεξιά)

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έχουν καταστήσει δυνατή την παραγωγή κατά οικονομικά βιώσιμο τρόπο ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικές πηγές χαμηλής θερμοκρασίας, στους 100 έως 150°C. Οι εγκαταστάσεις αυτές, γνωστές ως μονάδες “δυναμικού κύκλου”, μειώνουν το ήδη χαμηλό ποσοστό εκπομπών σχεδόν στο μηδέν. Στη δυναμική διαδικασία, το γεωθερμικό ρευστό θερμαίνει ένα άλλο υγρό, π.χ. ισοβουτάνιο (συνήθως n-πεντάνιο), που έχει χαμηλότερο σημείο βρασμού από το νερό και έχει υψηλή πίεση ατμών σε χαμηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τον υδρατμό.

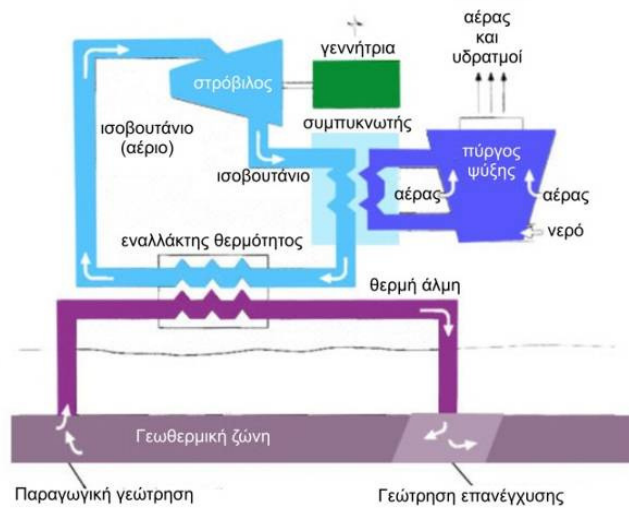
Τα δύο υγρά παραμένουν εντελώς διαχωρισμένα με τη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από το γεωθερμικό νερό στο “εργαζόμενο μέσο”. Το δευτερεύον ρευστό μετατρέπεται σε αέριο ατμών και (όπως στον υδρατμό) η δύναμη του ατμού κατά την εκτόνωσή του περιστρέφει τους στρόβιλους οι οποίοι, με τη σειρά τους, κινούν τις γεννήτριες. Έτσι, σε ένα γεωθερμικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιεί ένα σύστημα ανταλλαγής θερμότητας κλειστού βρόχου, η θερμότητα του γεωθερμικού ρευστού (“πρωτεύον ρευστό”) μεταφέρεται σε ένα υγρό με χαμηλότερο σημείο ζέσεως (“δευτερεύον ρευστό” ή “ρευστό λειτουργίας”), το οποίο εξατμίζεται και έτσι χρησιμοποιείται για να κινηθεί το σύστημα στρόβιλου / γεννήτριας.

Επιλέγοντας τα κατάλληλα δευτερεύοντα ρευστά, τα δυναμικά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να αξιοποιούν γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία 85-170°C. Το ανώτερο όριο εξαρτάται από τη θερμική σταθερότητα του οργανικού ρευστού, και το κατώτερο όριο από οικονομολογικούς παράγοντες, καθώς κάτω από την θερμοκρασία αυτή το μέγεθος των απαιτούμενων εναλλακτών θερμότητας θα καταστήσει το έργο μη οικονομικά βιώσιμο.

Εκτός από τις περιπτώσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας και των υγρών αποβλήτων, τα δυναμικά συστήματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν εκεί όπου θα πρέπει να αποφεύγεται η εκτόνωση των γεωθερμικών ρευστών (π.χ. για την αποφυγή της απόφραξης των γεωτρήσεων). Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδο-γεωτρητικές αντλίες για να διατηρήσουν τα ρευστά υπό πίεση σε υγρή φάση, και η ενέργεια μπορεί να εξαχθεί από το ρευστό κυκλοφορίας με τη βοήθεια μονάδων δυναμικού κύκλου.

Ένας νέος τύπος δυαδικού συστήματος αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1990. Αυτός ονομάζεται κύκλος Kalina και χρησιμοποιεί ένα μίγμα νερού-αμμωνίας ως δευτερεύον ρευστό. Το ρευστό αυτό εκτονώνεται, σε υπέρθερμες συνθήκες, μέσα από ένα στρόβιλο υψηλής πίεσης και στη συνέχεια επαναθερμαίνεται πριν εισέλθει σε ένα στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Μετά τη δεύτερη εκτόνωση, οι κορεσμένοι ατμοί μεταφέρονται σε ένα λέβητα ανάκτησης πριν συμπυκνωθούν τελικά σε έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή.

Εάν ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής είναι αερόψυκτος, τα γεωθερμικά ρευστά δεν έρχονται ποτέ σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα πριν την επανέγχυσή τους στον υπόγειο γεωθερμικό ταμιευτήρα, και έτσι ο σταθμός έχει πρακτικά μηδενικές εκπομπές. Αυτή η τεχνολογία ήδη χρησιμοποιείται σε γεωθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής σε όλο τον κόσμο σε περιοχές όπου οι πηγές έχουν χαμηλές θερμοκρασίες. Η ικανότητα να αξιοποιηθούν πόροι με χαμηλή θερμοκρασία αυξάνει σημαντικά τον αριθμό των γεωθερμικών ταμιευτήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτροπαραγωγή. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται μια μονάδα δυαδικού κύκλου.



Σχήμα 6: Μονάδα δυαδικού κύκλου

Με τη διαθέσιμη σήμερα τεχνολογία, θεωρείται ότι οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και να είναι οικονομικά βιώσιμοι όταν οι γεωθερμικές πηγές είναι χονδρικά πάνω από τους 100 °C ή όταν βρίσκονται σε βάθος περίπου 4 χιλιομέτρων ή μικρότερο. Προκειμένου να είναι οικονομικά αξιοποιήσιμη μια πηγή χαμηλής θερμοκρασίας, η πηγή θα πρέπει να έχει σχετικά μικρό βάθος. Αντίστοιχα, προκειμένου να αξιοποιηθεί μία πηγή με βάθος που πλησιάζει τα 4 χιλιόμετρα, η θερμοκρασία της πρέπει να είναι αρκετά υψηλή. Έτσι, αυτές οι δύο παράμετροι κατά κάποιον τρόπο αντισταθμίζονται. Επιπλέον, την οικονομική βιωσιμότητα μπορούν να επηρεάσουν το μέγεθος της γεωθερμικής πηγής, η παραγωγικότητα των φρεατίων, καθώς και άλλοι παράγοντες.

4. ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Ο εντοπισμός ενός γεωθερμικού ταμιευτήρα είναι μία σύνθετη δραστηριότητα που αποτελείται από διάφορες φάσεις, αρχίζοντας από την διερεύνηση της επιφάνειας μιας συγκεκριμένης περιοχής. Αυτή συνίσταται στην προκαταρκτική αξιολόγηση των υφιστάμενων γεωθερμικών

εκδηλώσεων (πηγές ζεστού νερού, ατμίδες-φουμαρόλες, πίδακες ατμού, θερμοπίδακες, κλπ.), ακολουθούμενη από γεωλογικές, γεωχημικές, γεωφυσικές έρευνες και την διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων (σε βάθος μερικών εκατοντάδων μέτρων) για την μέτρηση της θερμοκρασίας (γεωθερμική βαθμίδα) και για την αξιολόγηση της γήινης θερμικής ροής.

Με την αξιολόγηση των συλλεχθέντων δεδομένων θα προταθούν τα σημεία που θα πρέπει να προχωρήσει σε βάθος η διερεύνηση μέσω της διάνοιξης φρεατίων (ακόμη και σε βάθη μεγαλύτερα των 4.000 m), η οποία θα επιβεβαιώσει την ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα είναι θετικά, το γεωθερμικό πεδίο που έχει εντοπιστεί θα αξιοποιηθεί μέσω της διάνοιξης ενός επαρκούς αριθμού γεωτρήσεων για την παραγωγή του γεωθερμικού ρευστού (ζεστού νερού ή ατμού).

4.1 Μέθοδοι διερεύνησης

Οι στόχοι της *γεωθερμικής διερεύνησης* είναι (Lumb, 1981):

1. Ο εντοπισμός γεωθερμικών φαινομένων.
2. Η διαπίστωση της ύπαρξης ενός αξιοποιήσιμου γεωθερμικού πεδίου.
3. Η εκτίμηση του μεγέθους του πόρου (της πηγής).
4. Ο καθορισμός του τύπου του γεωθερμικού πεδίου.
5. Ο εντοπισμός των παραγωγικών ζωνών.
6. Ο καθορισμός του θερμικού περιεχομένου των γεωθερμικών ρευστών που θα εκχέονται από τα φρεάτια του γεωθερμικού πεδίου.
7. Η συλλογή ενός συνόλου βασικών δεδομένων με τα οποία θα μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα της μελλοντικής παρακολούθησης.

4.1.1 Απαιτούμενα δεδομένα

Πρέπει να συλλεχθούν όλα τα υπάρχοντα γεωλογικά, γεωφυσικά και γεωχημικά δεδομένα. Οι *γεωλογικές* και *υδρογεωλογικές μελέτες* αποτελούν το σημείο εκκίνησης κάθε διερευνητικού προγράμματος, και η βασική λειτουργία τους είναι αυτή του προσδιορισμού της θέσης και της έκτασης των περιοχών που πρέπει να διερευνηθούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και της υπόδειξης των καταλληλότερων μεθόδων έρευνας για τις περιοχές αυτές. Οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες παίζουν σημαντικό ρόλο σε όλες τις επόμενες φάσεις της γεωθερμικής έρευνας, μέχρι του σημείου της εγκατάστασης των ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων. Επίσης, παρέχουν τις βασικές πληροφορίες για την ερμηνεία των δεδομένων που συλλέγονται με άλλες μεθόδους και, τέλος, για την κατασκευή ενός ρεαλιστικού μοντέλου του γεωθερμικού συστήματος και την αξιολόγηση του δυναμικού του πόρου.

Οι *γεωχημικές έρευνες* (περιλαμβανομένης της γεωχημείας ισοτόπων) αποτελούν ένα χρήσιμο μέσο για τον προσδιορισμό του εάν το γεωθερμικό σύστημα αποτελείται κυρίως από νερό ή ατμό, την εκτίμηση της ελάχιστης αναμενόμενης θερμοκρασίας με το βάθος, την εκτίμηση της ομοιογένειας της παροχής του ρευστού, την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα χημικά χαρακτηριστικά του ρευστού σε μεγάλα βάθη, και για τον προσδιορισμό της πηγής τροφοδοσίας του ταμειυτήρα. Πολύτιμες πληροφορίες μπορούν επίσης να ληφθούν σχετικά με το είδος των προβλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν κατά τη διάρκεια της φάσης επανέγχυσης και της

αξιοποίησης της μονάδας (π.χ. αλλαγές στη σύσταση των ρευστών, διάβρωση ή επικαθήσεις στις σωληνώσεις και τις εγκαταστάσεις της μονάδας, περιβαλλοντικές επιπτώσεις) και το πώς μπορούν να αποφευχθούν ή να αντιμετωπιστούν αυτά.

Η γεωχημική έρευνα συνίσταται σε δειγματοληψίες, χημικές αναλύσεις και/ή αναλύσεις ισοτόπων του νερού και των αερίων που προέρχονται από τις γεωθερμικές επιφανειακές εκδηλώσεις (θερμές πηγές, ατμίδες, κλπ.) ή τις γεωτρήσεις στην υπό μελέτη περιοχή. Επειδή η γεωχημική έρευνα αφενός παρέχει πολύ χρήσιμα στοιχεία για το σχεδιασμό της διερεύνησης και το κόστος της είναι σχετικά χαμηλό σε σύγκριση με άλλες πιο εξελιγμένες μεθόδους, όπως είναι π.χ. οι γεωφυσικές έρευνες, οι γεωχημικές τεχνικές πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν περισσότερο πριν προχωρήσει κανείς σε άλλες δαπανηρότερες μεθοδολογίες.

Οι γεωθερμικές περιοχές θα πρέπει να ελεγχθούν περαιτέρω με την εφαρμογή μερικών ή όλων από τις πολλές γεωφυσικές τεχνικές (βαρομετρικές, μαγνητικές και ηλεκτρικές έρευνες, χημική ανάλυση των θερμών νερών, κλπ.), που έχουν σχεδιαστεί για τον εντοπισμό συγκεκριμένων ταμιευτήρων των οποίων τα ρευστά μπορούν να εξαχθούν. Οι *γεωφυσικές έρευνες* στοχεύουν στην έμμεση απόκτηση, από την επιφάνεια ή από μικρού βάθους περιοχές, των φυσικών παραμέτρων των βαθέων γεωλογικών σχηματισμών. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν:

- την θερμοκρασία (θερμική έρευνα),
- την ηλεκτρική αγωγιμότητα (ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι),
- την ταχύτητα διάδοσης των ελαστικών κυμάτων (σεισμική έρευνα),
- την πυκνότητα (βαρομετρική έρευνα),
- την μαγνητική ευαισθησία (μαγνητική έρευνα).

Μερικές από αυτές τις τεχνικές, όπως η σεισμική, η βαρυτική και η μαγνητική, οι οποίες κατά παράδοση εφαρμόζονται στην διερεύνηση των κοιτασμάτων πετρελαίου, μπορούν να δώσουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με το σχήμα, το μέγεθος, το βάθος και άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών δομών σε μεγάλο βάθος που θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα γεωθερμικό ταμιευτήρα, όμως παρέχουν ελάχιστες ή καθόλου ενδείξεις ως προς το εάν αυτές οι δομές περιέχουν στην πραγματικότητα ρευστά, που είναι ο πρωταρχικός στόχος της έρευνας. Αυτές οι μέθοδοι είναι, ως εκ τούτου, πιο κατάλληλες για τον καθορισμό λεπτομερειών κατά τα τελικά στάδια της έρευνας, πριν την χωροθέτηση των ερευνητικών γεωτρήσεων.

Πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών στις γεωλογικές δομές μεγάλου βάθους μπορούν να ληφθούν με τις ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές διασκοπήσεις, οι οποίες είναι πιο ευαίσθητες από τις άλλες μεθόδους στην ύπαρξη τέτοιων ρευστών, καθώς και στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Οι δύο αυτές τεχνικές έχουν εφαρμοστεί ευρέως με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι θερμικές τεχνικές (μετρήσεις θερμοκρασίας, προσδιορισμός της γεωθερμικής βαθμίδας και της γήινης θερμικής ροής) παρέχουν αρκετά συχνά μια καλή προσέγγιση της θερμοκρασίας στο επάνω μέρος του ταμιευτήρα.

Η διάνοιξη των *δοκιμαστικών γεωτρήσεων* σηματοδοτεί το τελικό στάδιο ενός γεωθερμικού διερευνητικού προγράμματος και αποτελεί το μόνο μέσο για τον καθορισμό των πραγματικών χαρακτηριστικών του γεωθερμικού ταμιευτήρα και την εκτίμηση του δυναμικού του (Combs & Muffler, 1973). Τα δεδομένα που παρέχονται από τις δοκιμαστικές γεωτρήσεις θα πρέπει να είναι σε θέση να επαληθεύουν όλες τις υποθέσεις και τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν από τα

αποτελέσματα της επιφανειακής έρευνας, αλλά και να επιβεβαιώνουν ότι ο ταμιευτήρας είναι παραγωγικός και ότι περιέχει αρκετή ποσότητα ρευστών με κατάλληλα χαρακτηριστικά για τη χρήση για την οποία προορίζεται. Η χωροθέτηση των ερευνητικών γεωτρήσεων είναι μια πολύ λεπτή λειτουργία.

Η γεωθερμική διερεύνηση προχωρά μέσω μιας ακολουθίας διάφορων βημάτων:

- μελέτη των θερμικών συνθηκών συλλέγοντας πληροφορίες και χάρτες σχετικά με τη ροή θερμότητας,
- μελέτη των υδρο-γεωλογικών χαρτών για την αξιολόγηση της κατανομής των πόρων των υπόγειων υδάτων,
- διάνοιξη γεωτρήσεων για την άντληση των υγρών.

Μόνο αφού οι έρευνες στην επιφάνεια έχουν δείξει ότι υπάρχει εκμεταλλεύσιμη πηγή γίνεται η διάνοιξη της γεώτρησης.

4.1.2 Διαθεσιμότητα δεδομένων σε διάφορες χώρες

ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ:

- Κατάλογος γεωτρήσεων με γεωγραφικές συντεταγμένες, βάθος των φρεατίων, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία (σε °C), μετρημένες σε βάθη από 500 m έως 2.500 m.
- Περιφερειακός γεωλογικός χάρτης με το υπόμνημα του, και στρωματογραφικές τομές.

ΟΥΓΓΑΡΙΑ:

- Χάρτης 'Θερμικές λεκάνες της Ουγγαρίας',
- Χάρτης 'Θερμικοί ταμιευτήρες ανθρακικών αλάτων μεγάλης ενθαλπίας (150 °C)',
- Αρχείο Excel με δεδομένα των γεωθερμικών φρεατίων.

Δημοσιεύσεις:

- *Geothermal heat potential of Hungary with special regards to high enthalpy basement* (Balazs Kovacs, Janos Szanyi, Tivadar M. Toth, Istvan Vass)
- *Geothermal power plant concepts in the Pannonian basin in Hungary* (Attila Kujbus)
- *Geothermal Resources in Hungary* (Liz Battocletti)
- *Pilot plant geothermal project for multiple integrated use in Hungary* (Franciska. H. Karman, MihalyKurunczi, Bela Adam and Roland Varga)
- Integrated feasibility study on geothermal utilisation in Hungary
- Χάρτης φρεατίων με γεωγραφική αναφορά (QGIS).

ΚΡΟΑΤΙΑ:

- Γεωλογικός χάρτης της Δημοκρατίας της Κροατίας (σε μεγάλη κλίμακα),
- Γεωθερμικές περιοχές και τοποθεσίες όπου υπάρχει αξιοποίηση των γεωθερμικών υδάτων στην Δημοκρατία της Κροατίας,

- Κατάλογος πέντε φρεατίων στην επαρχία Medjmurje με το βάθος και την θερμοκρασία στον πυθμένα των φρεατίων.

ΠΓΔΜ:

- Χάρτης 'Geothermal sites in the Republic of Macedonia' (μεγάλης κλίμακας),
- Κατάλογος των γεωθερμικών περιοχών με παροχές και θερμοκρασίες σε °C,
- Κύρια γεωθερμικά πεδία στη ΠΓΔΜ και τεκτονικοί σχηματισμοί σε περιφερειακό επίπεδο,
- Γεωλογικός χάρτης της ΠΓΔΜ (χωρίς κλίμακα),
- Υδρογεωλογικός χάρτης της ΠΓΔΜ (με τη θέση των θερμών-ιαματικών πηγών και των γεωτρήσεων),
- Ιαματικά νερά στη ΠΓΔΜ και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους,
- Συστημική σύσταση των ιαματικών νερών στη ΠΓΔΜ,
- Χάρτης του γεωθερμικού πεδίου των Σκοπίων,
- Χάρτης του γεωθερμικού πεδίου στο Podlog – Istibanja, Kochani,
- Χάρτης του γεωθερμικού πεδίου στο Strmonac – Kumanovo,
- Χάρτης του γεωθερμικού πεδίου στο Kratovo,
- Χάρτης του γεωθερμικού πεδίου της Στρώμνιτσας
- Χάρτης του γεωθερμικού πεδίου στη Kezovica,
- Χάρτης του γεωθερμικού πεδίου της Γευγελής,
- Χάρτης του γεωθερμικού πεδίου στο Debar,
- Παρούσα κατάσταση και εκτίμηση της δυνατότητας ανάπτυξης των γεωθερμικών πόρων της ΠΓΔΜ.

ΣΛΟΒΑΚΙΑ:

- Παροχή και θερμοκρασία του γεωθερμικού νερού σε τρία φρεάτια δοκιμών στην περιοχή του Kosice,
- Χάρτες δυναμικού της γεωθερμικής ενέργειας στην περιφέρεια του Kosice (φυσικός χάρτης, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, χάρτης κλίσεων εδάφους, γεωθερμικές περιοχές με τη θέση των φρεατίων, θερμοκρασία σε °C μετρημένη σε διαφορετικά βάθη, πυκνότητα της ροής θερμότητας, χημικά δεδομένα, χάρτης των ισόθερμων σε βάθος 500 m και χάρτης της πυκνότητας ροής θερμότητας),
- Αρχείο (shapefile) των βασικών τύπων γεωχημικών πετρωμάτων,
- Αρχείο (shapefile) των γεωμορφολογικών μονάδων,
- Αρχείο (shapefile) των φρεατίων και θερμοκρασιών σε °C, μετρημένες σε βάθη από 500 έως 6000 m,
- Αρχείο (shapefile) των ρηξιγενών περιοχών και της ροής θερμότητας.

4.1.3 Μεθοδολογία ανάπτυξης ενός χάρτη γεωθερμικού δυναμικού

Οι χάρτες αναπτύσσονται με τη χρήση ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) (π.χ. των ArcGis 9, Arcmap 9.2). Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ - GIS) είναι η πιο αποτελεσματική τεχνολογία για την επεξεργασία χωρικών δεδομένων και πληροφοριών, και πιο συγκεκριμένα είναι ένα σύστημα για την διαχείριση, ανάλυση και απεικόνιση της γεωγραφικής πληροφορίας. Ως γεωγραφική πληροφορία θεωρείται οποιαδήποτε πληροφορία ή και το σύνολο δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μοντελοποίηση της γεωγραφίας (δηλαδή τα χαρακτηριστικά και οι δραστηριότητες στην επιφάνεια της γης).

Κατά βάση, τα συστήματα ΓΣΠ είναι μέθοδοι που βασίζονται σε υπολογιστή για την επίλυση πραγματικών προβλημάτων. Τα δεδομένα σχετικά με τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου είναι αποθηκευμένα σε μια βάση δεδομένων και συνδέονται δυναμικά με έναν χάρτη σε οθόνη υπολογιστή, ο οποίος εμφανίζει γραφικά που αντιπροσωπεύουν αντικείμενα που υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο.

Ένα ΓΣΠ αποτελείται από πέντε βασικές συνιστώσες:

- Τους ανθρώπους, δηλ. τους ειδικούς που έχουν εκπαιδευτεί στα ΓΣΠ.
- Τα δεδομένα, από τα οποία προκύπτουν οι πληροφορίες. Αυτά μπορούν να οργανώνονται σε βάσεις δεδομένων με τη χρήση γενικών δομών ΓΣΠ, που συνήθως αναφέρονται ως βάσεις Γεω-δεδομένων.
- Τον φυσικό εξοπλισμό του συστήματος επεξεργασίας δεδομένων (hardware) για την απόκτηση δεδομένων, την επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων, την οπτική απεικόνιση των πληροφοριών και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Σ' αυτόν περιλαμβάνονται συσκευές όπως GPS, συστήματα υπολογιστών, ψηφιοποιητές, σχεδιογράφοι, κλπ.
- Το λογισμικό, δηλ. ειδικά προγράμματα υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων και την εκτέλεση χωρικών αναλύσεων που είναι σημαντικές στην επίλυση των προβλημάτων.
- Τις διαδικασίες, δηλ. την συστηματική οργάνωση των βημάτων της διαδικασίας και της ροής εργασίας που πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, ταξινόμηση, ανάλυση των δεδομένων, την άντληση πληροφοριών και την διάδοση της γνώσης για την επίλυση χρήσιμων προβλημάτων.

4.1.4 Εφαρμογή των ΓΣΠ στις γεω-επιστήμες

Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) αντιπροσωπεύει την πιο σύγχρονη μέθοδο από αυτές που βασίζονται στα δεδομένα/τις πληροφορίες μιας θέσης. Έτσι, έχει ευρύτατη εφαρμογή στις γεωεπιστήμες, από τις βασικές δραστηριότητες έως τις πιο πολύπλοκες, όπως είναι η μοντελοποίηση των γεωλογικών και γεωγραφικών διεργασιών.

Τα ΓΣΠ είναι ιδανικά για γεωλογική χαρτογράφηση, ιδίως όσον αφορά στην ενσωμάτωση των εξ αποστάσεως δεδομένων με τα δεδομένα που συλλέγονται επιτόπου, για τη γεωργία, τον πολεοδομικό σχεδιασμό, τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό και έλεγχο, κλπ. Η ικανότητα δημιουργίας από πλευράς των μοντέλων χωρικών βάσεων δεδομένων (βάσεις γεω-δεδομένων) που αντιπροσωπεύουν τις πληροφορίες αποτελεί μια πολύ σημαντική πτυχή στη διαχείριση των

δεδομένων στη γεωλογία, καθώς τα περισσότερα από τα δεδομένα / τις πληροφορίες απαρτίζονται από τα χαρακτηριστικά και τις διεργασίες της Γης, που έχουν συγκεκριμένες συσχετίσεις.

Μια άλλη σημαντική πτυχή της τεχνολογίας των ΓΣΠ είναι η ικανότητά της να εκτελεί γεω-επεξεργασία, δηλαδή η ύπαρξη εργαλείων που μεταβιβάζουν πληροφορίες (ειδικές λειτουργίες στα προγράμματα λογισμικού) για την άντληση νέων συνόλων δεδομένων από υπάρχουσες σειρές δεδομένων. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση αναλυτικών συναρτήσεων, όπως οι στατιστικές αναλύσεις κλπ. Η Γεω-οπτικοποίηση είναι μία άλλη πολύ σημαντική λειτουργία των ΓΣΠ, η οποία αναφέρεται στο σύνολο των εργαλείων και τεχνικών απεικόνισης των γεωγραφικών πληροφοριών και των πληροφοριών με γεωγραφική αναφορά, καθώς και υποστήριξης των διαδικασιών χωρικής ανάλυσης.

Κάθε γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών πρέπει να είναι σε θέση να εκτελεί έξι θεμελιώδεις λειτουργίες χρήσιμες για την εξεύρεση λύσεων σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου. Έτσι, ένα ΓΣΠ θα πρέπει να είναι ικανό να:

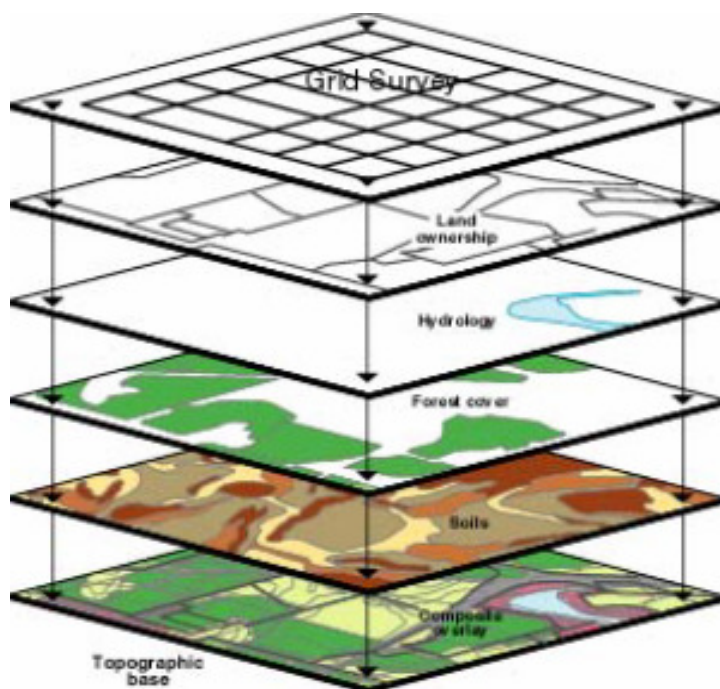
- Λαμβάνει δεδομένα,
- Αποθηκεύει δεδομένα,
- Αναζητά δεδομένα,
- Αναλύει τα δεδομένα,
- Εμφανίζει τα δεδομένα,
- Εξάγει τα δεδομένα.

Στην έρευνα και την ανάπτυξη των γεωθερμικών πόρων, συνήθως διατίθεται ένας τεράστιος όγκος δεδομένων / πληροφοριών από πολλές πηγές. Σε όλες τις φάσεις ανάπτυξης των γεωθερμικών πόρων, στη διερεύνηση, την αξιολόγηση του πόρου, στις γεωτρήσεις, την αξιοποίηση και διαχείριση των πεδίων όπου υπάρχει ατμός/ζεστό νερό, τα περισσότερα από τα στοιχεία/ πληροφορίες του πόρου έχουν σχέση με την τοποθεσία (είναι γεωγραφικά δεδομένα), οπότε τα ΓΣΠ είναι η καλύτερη επιλογή για τον χειρισμό της πληροφορίας αυτής. Η δημιουργία μιας γεωθερμικής βάσης δεδομένων μπορεί να διευκολύνει την σύνταξη των θεματικών χαρτών και των μελετών σκοπιμότητας, κλπ.

Συγκεντρώνοντας διάφορα επίπεδα πληροφοριών που σχετίζονται με την περιοχή, τα ΓΣΠ επιτρέπουν την καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών που κάθε φορά ενδιαφέρουν ή των βασικών παραγόντων που τις χαρακτηρίζουν. Ο αριθμός των επιπέδων και της ποιότητας των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται είναι ουσιαστικά ατελείωτος και κατά βάση εξαρτάται από τον επιδιωκόμενο στόχο. Κύριο χαρακτηριστικό ενός ΓΣΠ είναι η ικανότητά του για γεωαναφορά των δεδομένων και, στη συνέχεια, η αντιστοίχιση σε κάθε στοιχείο των πραγματικών του συντεταγμένων στον χώρο.

Οι συντεταγμένες ενός αντικείμενου δεν αποθηκεύονται σε σχέση με ένα αυθαίρετο σύστημα ή με ένα σύστημα αναφοράς, αλλά αποθηκεύονται στο σύστημα συντεταγμένων στο οποίο πραγματικά εντοπίζεται, σε πραγματικό μέγεθος και όχι υπό κλίμακα. Η χρήση κλίμακας εισάγεται μόνο ως μία παράμετρος για τον καθορισμό του βαθμού της ακρίβειας και την επίλυση των γραφικών πληροφοριών. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες παραμένουν πάντα το πιο σημαντικό

στοιχείο ενός μοντέλου δεδομένων ενός ΓΣΠ. Στην πραγματικότητα, ο κύριος στόχος ενός ΓΣΠ είναι η ανάλυση των δεδομένων ώστε να καταστεί ένα εργαλείο για την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων.



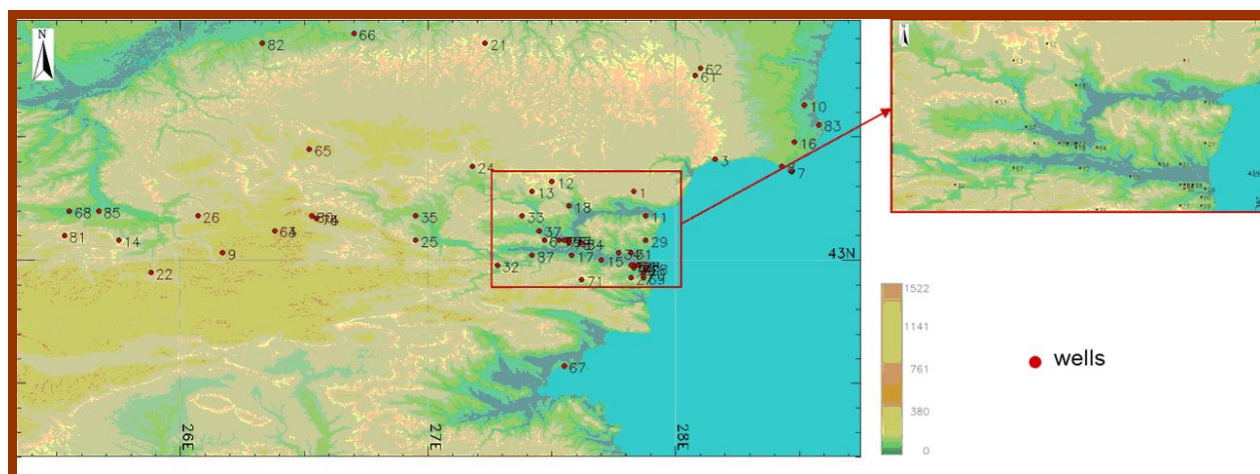
Σχήμα 7: Το μοντέλο ενός ΓΣΠ

4.1.5 Παράδειγμα ενός χάρτη γεωθερμικού δυναμικού

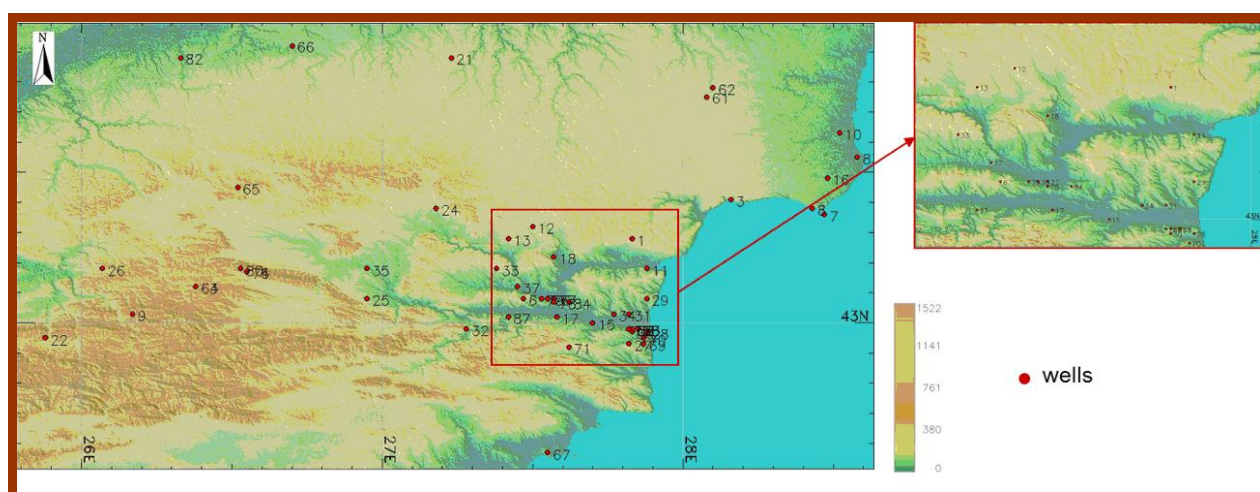
Στο παράδειγμα που ακολουθεί περιγράφονται οι γεωθερμικοί χάρτες που αναπτύχθηκαν για την Βουλγαρία (περιοχή του Dolni Chiflik). Δημιουργήθηκαν πολλοί χάρτες και στη συνέχεια έγινε η υπέρθεσή τους:

- Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) – η πρόσκτηση του DEM για την περιοχή του Dolni Chiflik έγινε από την ιστοσελίδα <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>.
- Φωτοαπεικόνιση του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (DEM SHADE).
- Θέση και γεωγραφική αναφορά των γεωτρήσεων στην περιοχή του Dolni Chiflik.
- Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 500 m με γεωγραφικά προσδιορισμένες τις γεωτρήσεις.
- Χάρτης (που δημιουργήθηκε με το φίλτρο πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 500 m.
- Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 1000 m με γεωγραφικά προσδιορισμένες τις γεωτρήσεις.
- Χάρτης (που δημιουργήθηκε με το φίλτρο πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 1000 m
- Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 1500 m με γεωγραφικά προσδιορισμένες τις γεωτρήσεις.

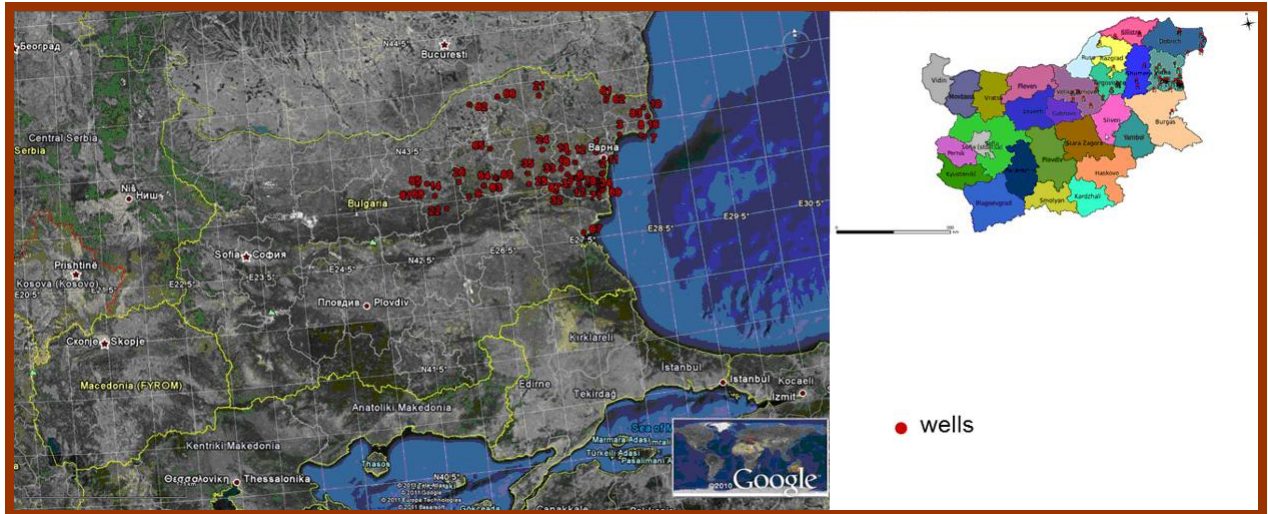
- Χάρτης (που δημιουργήθηκε με το φίλτρο πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών ισοθερμικών σε βάθος 1500 m
- Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 2000 m με γεωγραφικά προσδιορισμένες τις γεωτρήσεις.
- Χάρτης (που δημιουργήθηκε με το φίλτρο πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 2000 m
- Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 2500 m με γεωγραφικά προσδιορισμένες τις γεωτρήσεις.
- Χάρτης (που δημιουργήθηκε με το φίλτρο πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 2500 m
- Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 3000 m με γεωγραφικά προσδιορισμένες τις γεωτρήσεις.
- Χάρτης (που δημιουργήθηκε με το φίλτρο πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 3000 m.



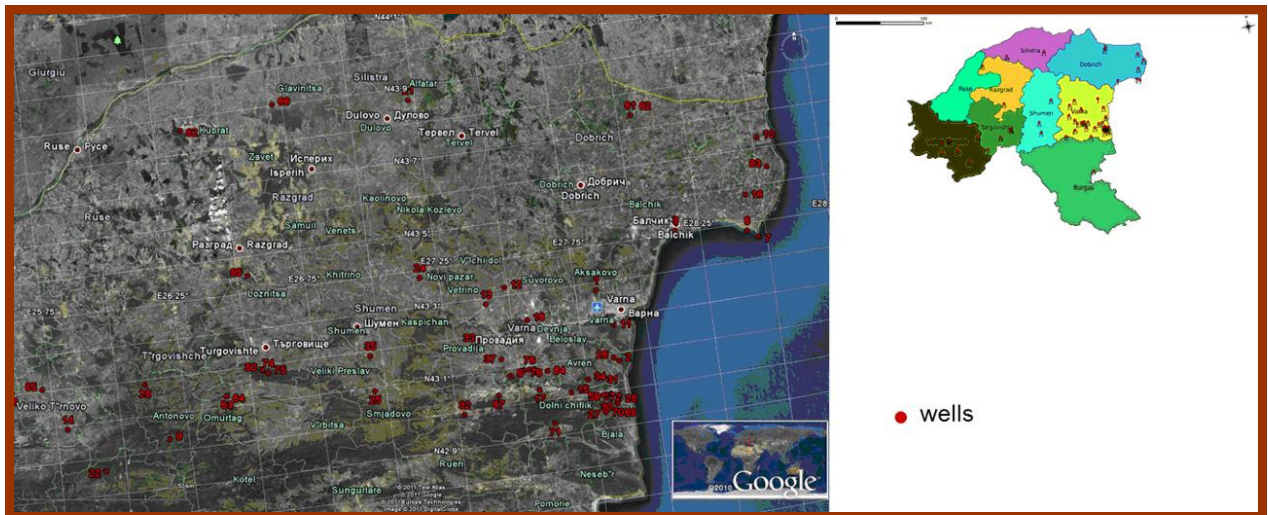
Σχήμα 8: Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM) – Περιοχή Dolni Chiflik



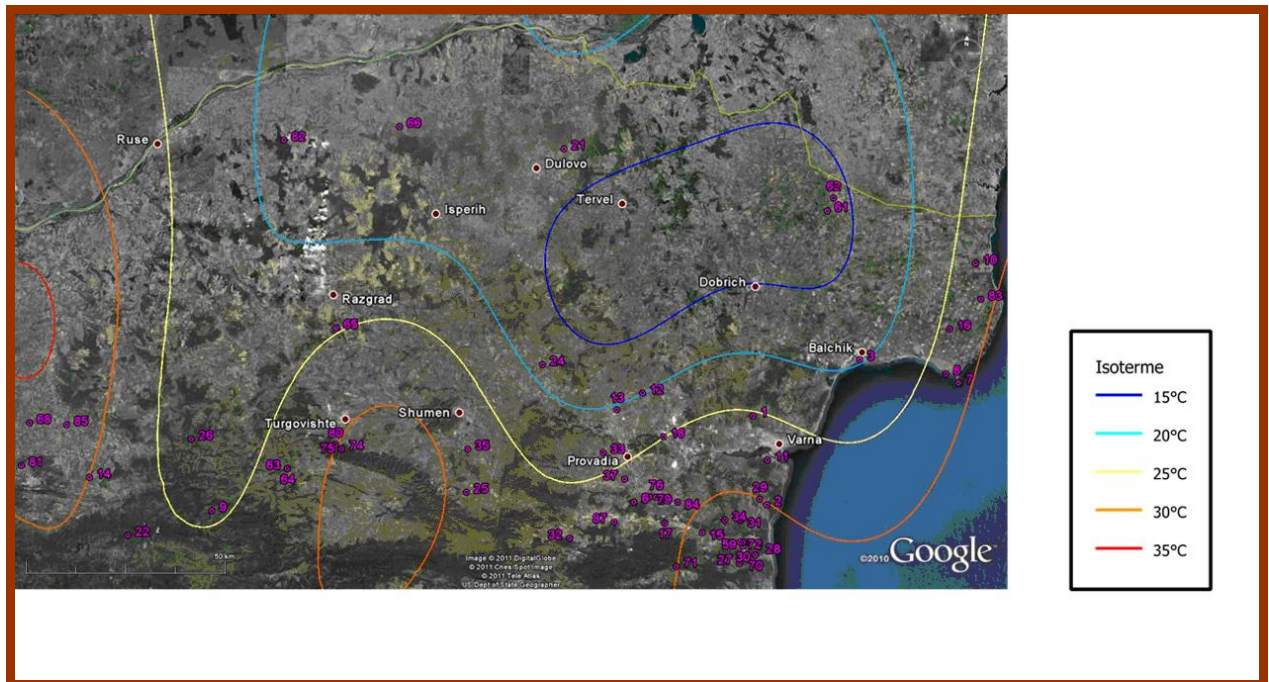
Σχήμα 9: Φωτοαπεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους (DEM SHADE) – Περιοχή Dolni Chiflik



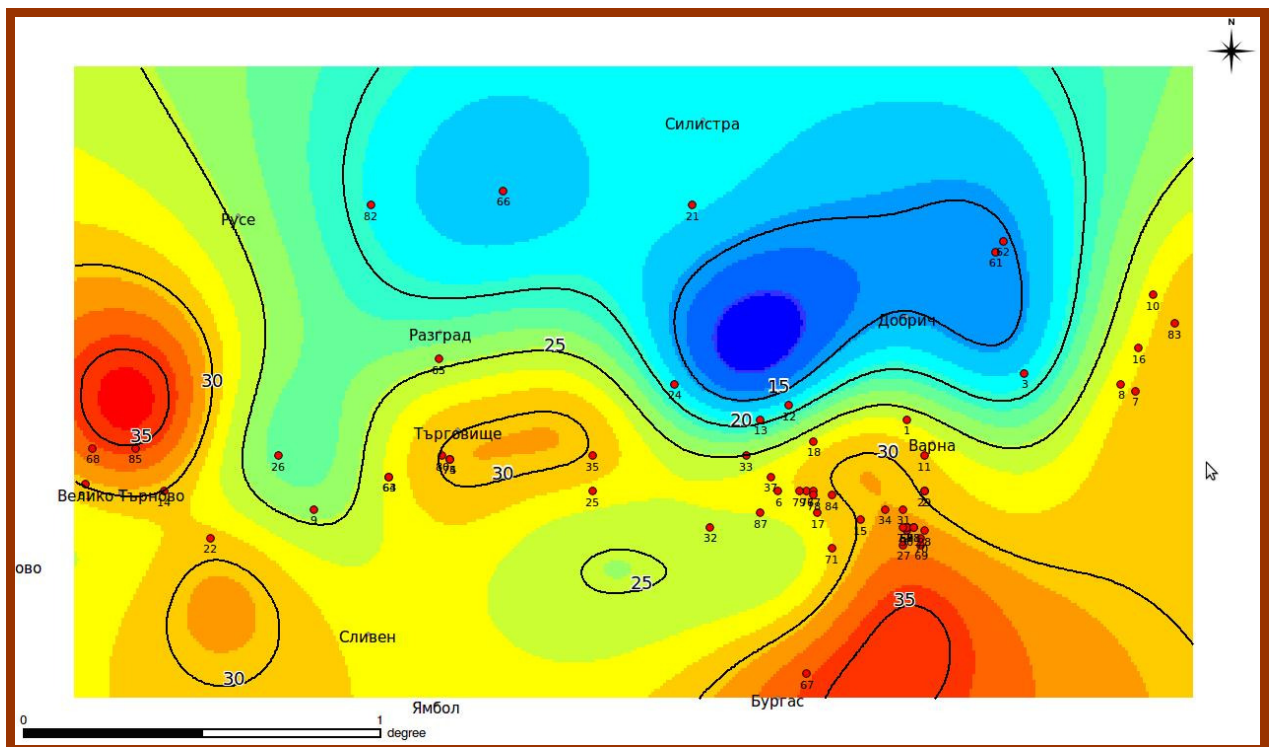
Σχήμα 10: Θέσεις των γεωτρήσεων στη Βορειοανατολική Βουλγαρία



Σχήμα 11: Θέσεις των γεωτρήσεων στην περιοχή Dolni Chiflik



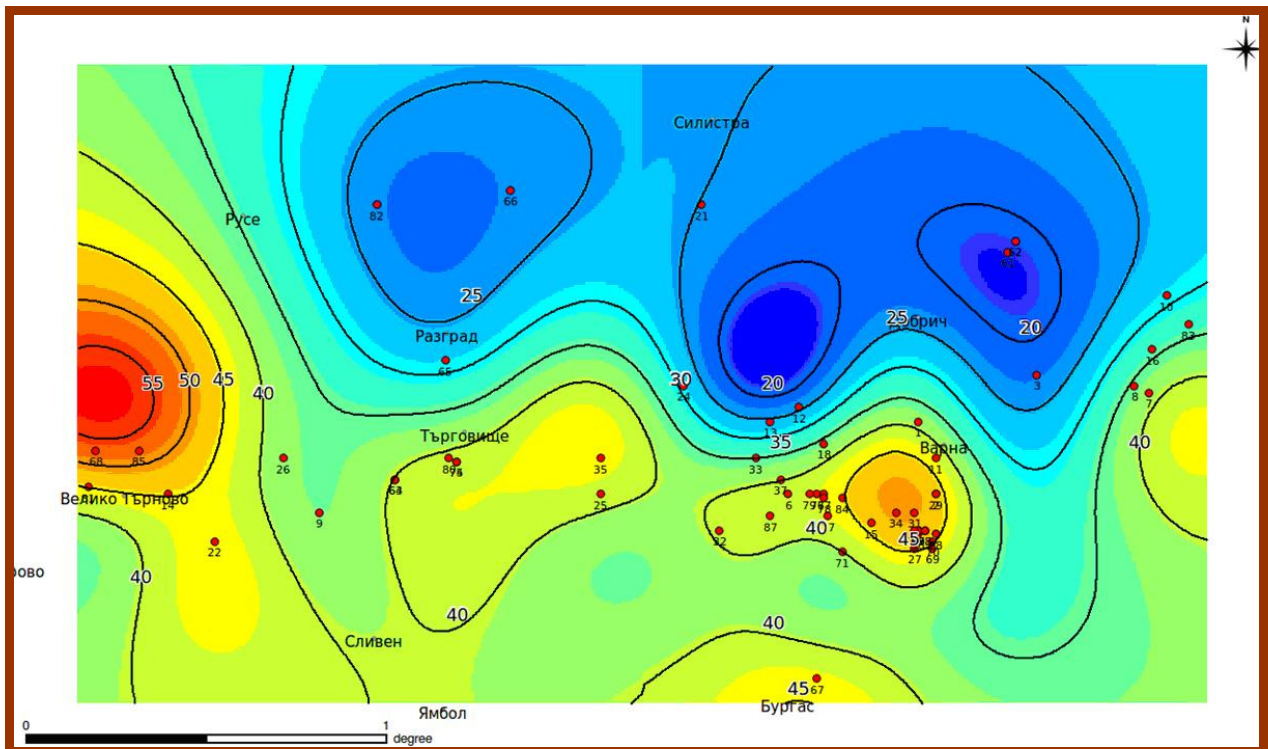
Σχήμα 12: Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 500 m



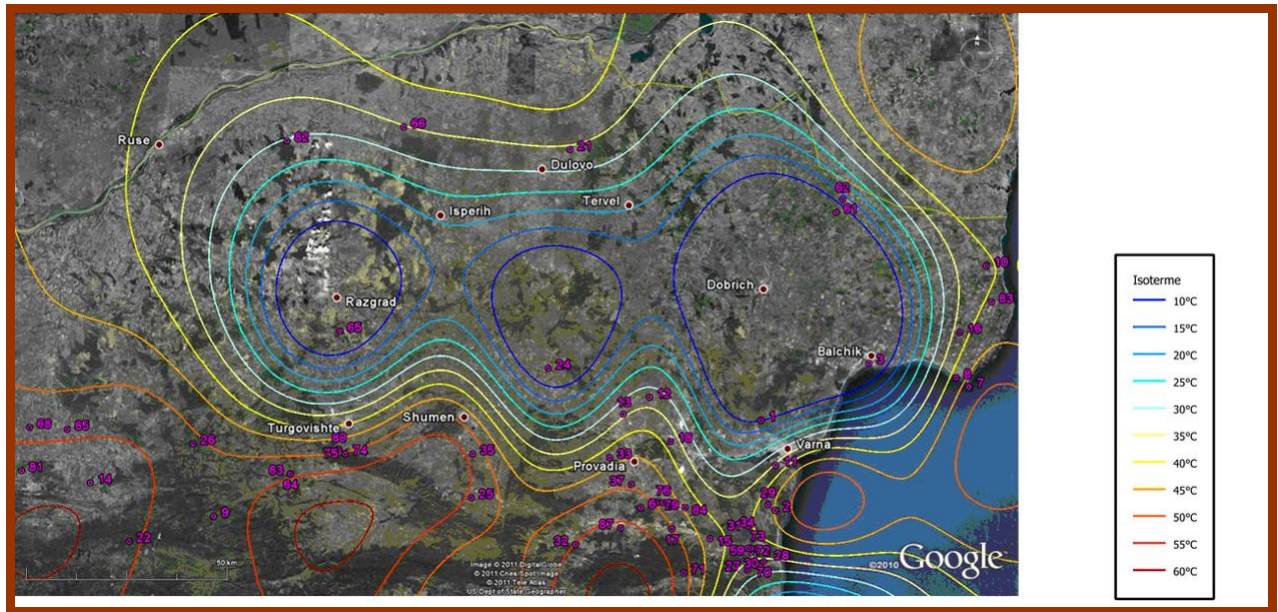
Σχήμα 13: Χάρτης (μετά την διαδικασία πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 500 m



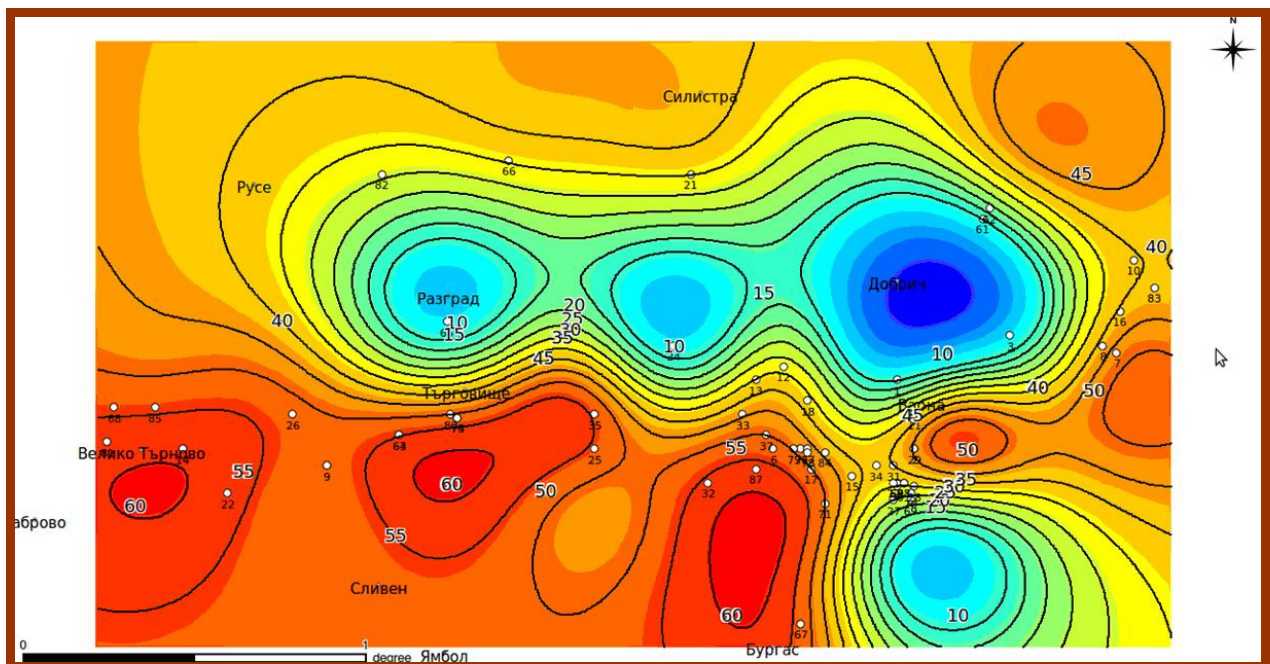
Σχήμα 14: Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 1000 m



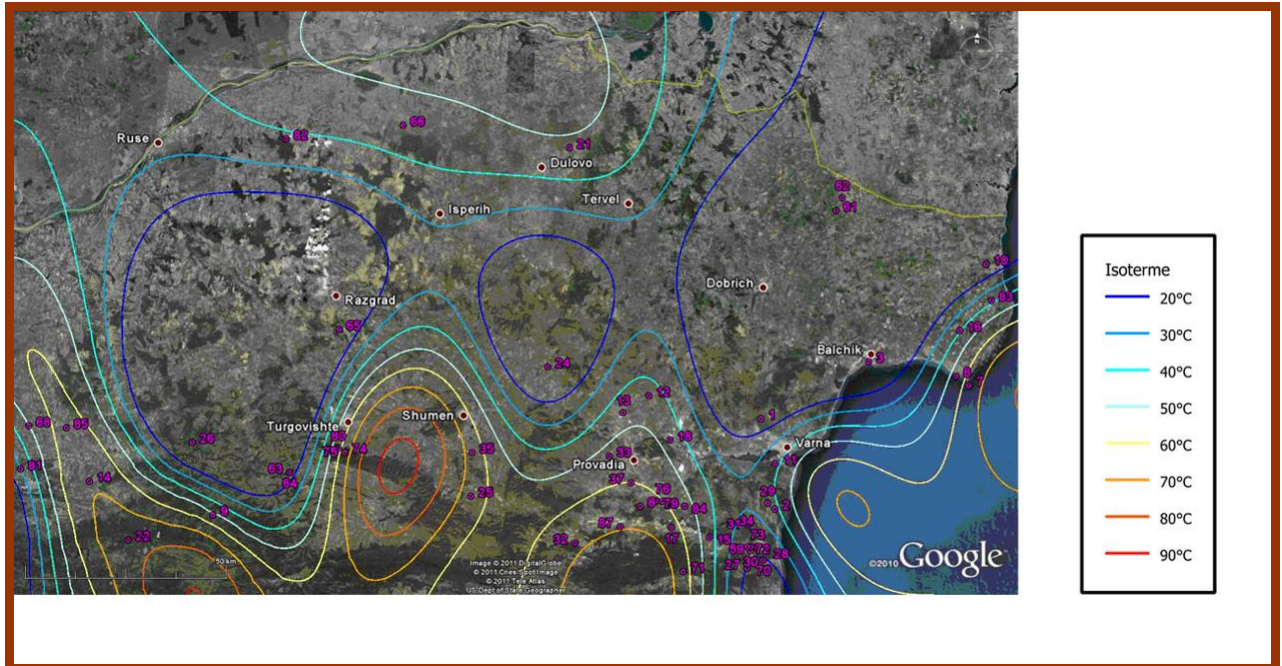
Σχήμα 15: Χάρτης (μετά την διαδικασία πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 1000 m



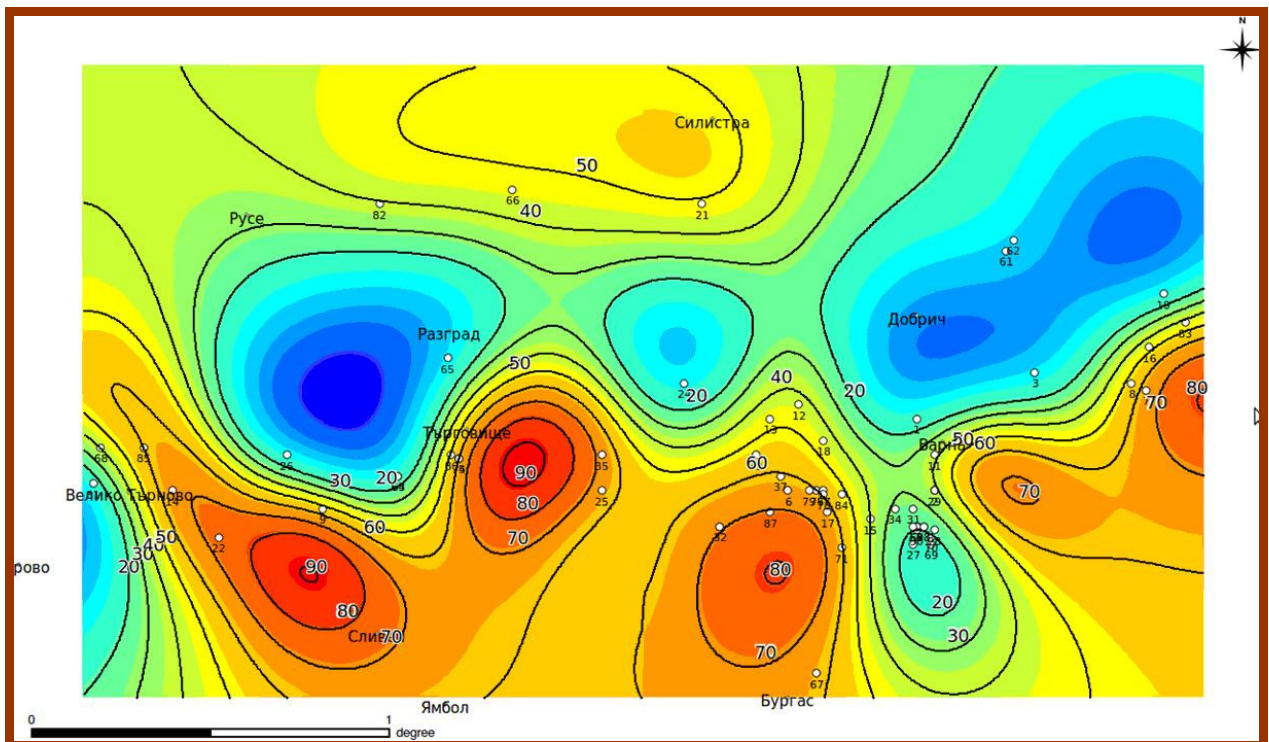
Σχήμα 16: Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 1500 m



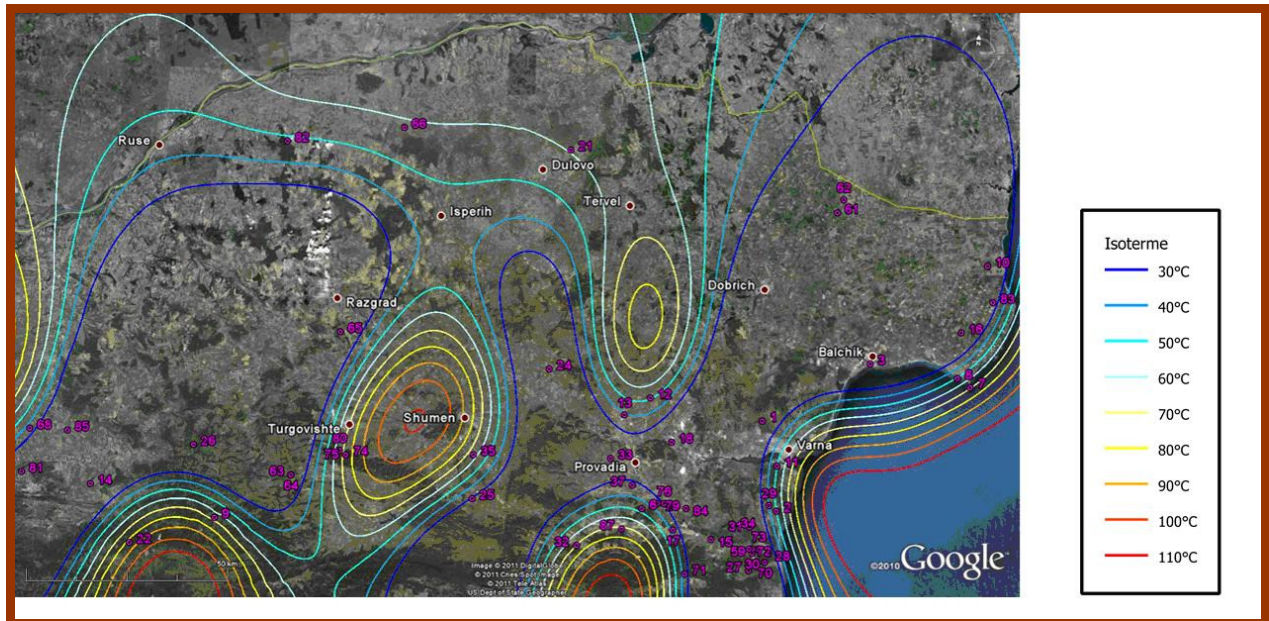
Σχήμα 17: Χάρτης (μετά την διαδικασία πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 1500 m



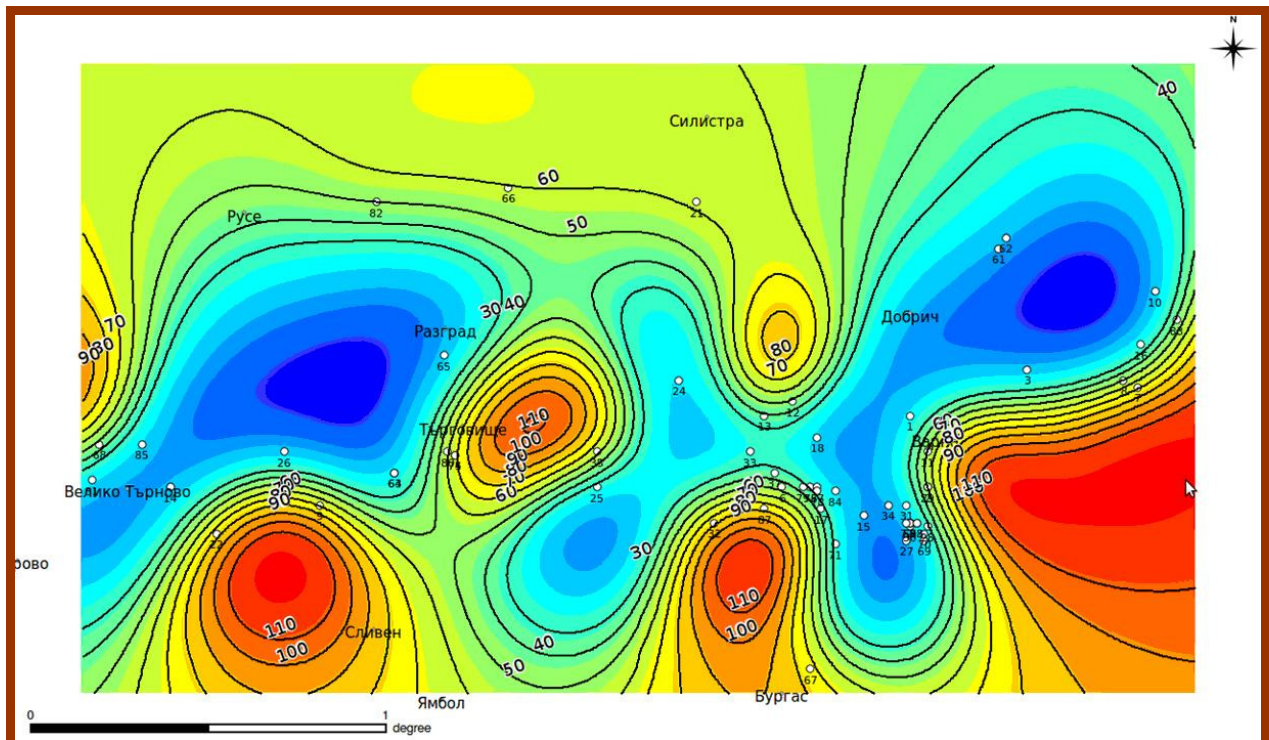
Σχήμα 18: Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 2000m



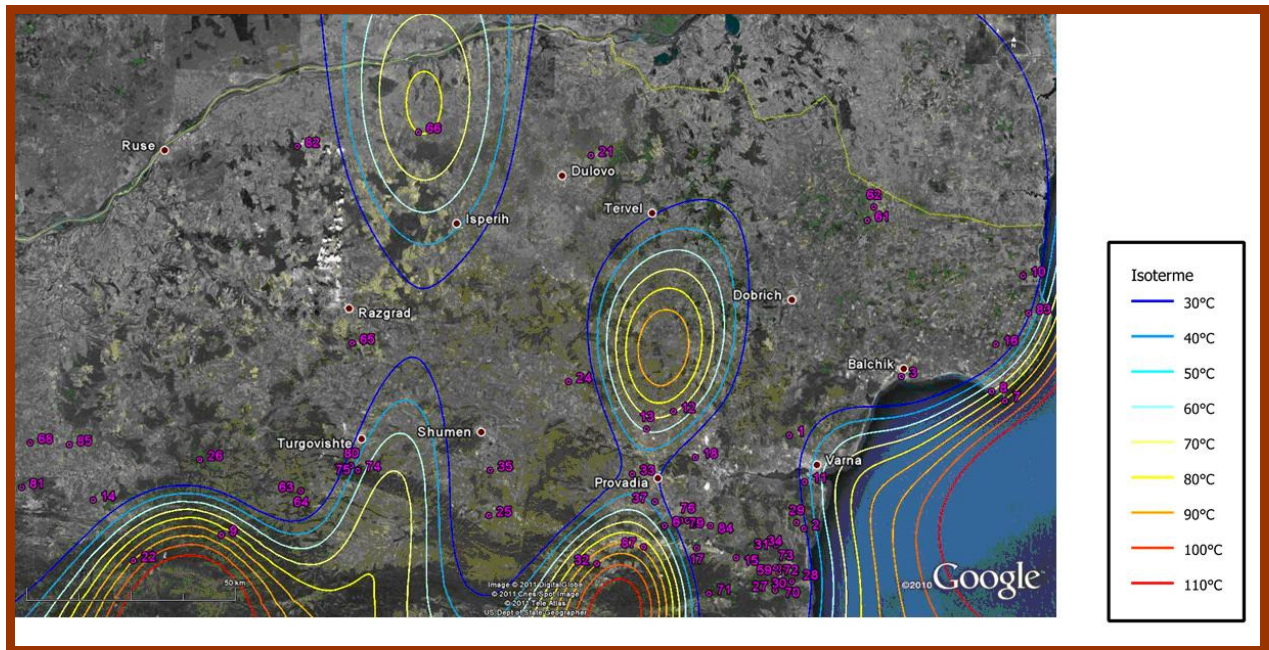
Σχήμα 19: Χάρτης (μετά την διαδικασία πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 2000 m



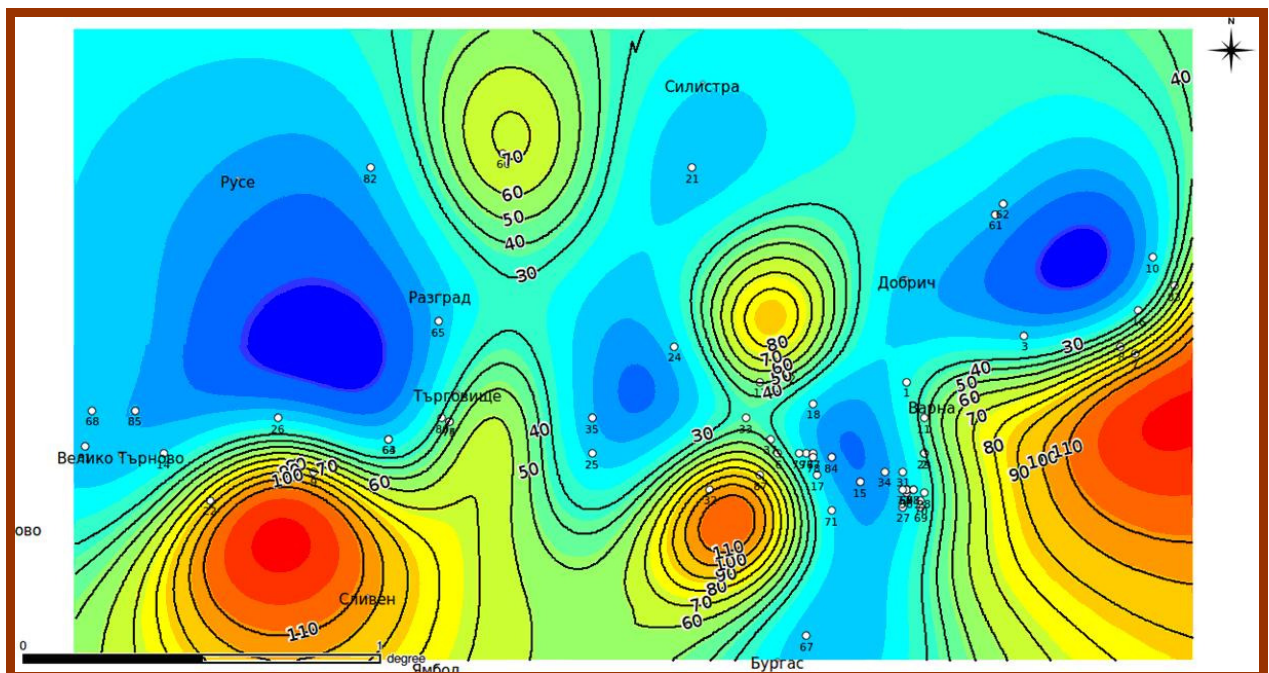
Σχήμα 20: Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 2500 m



Σχήμα 21- Χάρτης (μετά την διαδικασία πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 2500 m



Σχήμα 22: Χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 3000 m



Σχήμα 23: Χάρτης (μετά την διαδικασία πλεγματικής παρεμβολής) των ισοθερμικών καμπυλών σε βάθος 3000 m

Η αναπαράσταση αυτών των χαρτών διευκολύνει τον εντοπισμό των περιοχών δυνητικού ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας και παρέχει την δυνατότητα άμεσης επιλογής μεταξύ των υφιστάμενων γεωτρήσεων (φρεατίων) σε περιοχές όπου οι ισοθερμικές καμπύλες εμφανίζουν υψηλότερες θερμοκρασίες.

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

Αγωγιμότητα	<p>Η μεταφορά της θερμότητας ως αποτέλεσμα της άμεσης επαφής των γρήγορα κινούμενων μορίων μέσω ενός μέσου ή από ένα μέσο σε ένα άλλο, χωρίς την μετακίνηση των μέσων. Η θερμότητα του γεωθερμικού νερού, για παράδειγμα, μπορεί να κατευθυνθεί μέσω μεταλλικών πλακών ή αγωγών για να θερμάνει άλλες ποσότητες νερού για συστήματα τηλεθέρμανσης ή ένα δεύτερο οργανικό υγρό το οποίο χρησιμοποιείται σε δυαδικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.</p>
Αδιαπέραστο	<p>Δεν επιτρέπει την εύκολη διέλευση των υγρών – ορισμένοι τύποι πετρώματος και αργιλοχώματος είναι αδιαπέραστοι.</p>
Αειφόρο	<p>Υλικά ή πηγές ενέργειας τα οποία, εάν τα διαχειριστεί κανείς με προσοχή, θα καλύπτουν τις ανάγκες μίας κοινότητας ή μίας κοινωνίας επ' αόριστον, χωρίς να στερεί από τις μελλοντικές γενιές τις όποιες ανάγκες τους.</p>
Άμεση χρήση	<p>Χρήση του γεωθερμικού νερού και της θερμότητάς του για την ανάπτυξη ψαριών, την αποξήρανση λαχανικών, φρούτων και προϊόντων ξυλείας, την θέρμανση θερμοκηπίων και αστικών κτηρίων, ή την παροχή ζεστού νερού για spa.</p>
Ανανεώσιμος πόρος	<p>Ένας πόρος που μπορεί να χρησιμοποιείται συνεχώς χωρίς να εξαντλείται (καθώς αναπαράγεται από μόνος του μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα). Στα παραδείγματα περιλαμβάνονται το νερό (Μ/Υ) και η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια.</p>
Ατμίδα (Φουμαρόλη)	<p>Μία μικρή οπή ή δίοδος επί της επιφάνειας της Γης, η οποία εντοπίζεται κοντά σε ηφαιστιογενείς περιοχές, και από την οποία εξέρχεται ατμός ή αέρια.</p>
Ατμός	<p>Οι υδρατμοί δημιουργούνται όταν βράζει το νερό. Ο ατμός αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια νερού (μόρια) που έχουν θερμανθεί τα οποία αναπηδούν και συγκρούονται μεταξύ τους με πολύ υψηλές ταχύτητες. Αυτά τα θερμασμένα μόρια νερού επίσης εξαπλώνονται και κινούνται προς κάθε δυνατή κατεύθυνση. Εάν περιοριστεί ή παγιδευτεί το νερό σε ένα κλωβό, με ένα σωλήνα για άνοιγμα, και ζεσταθεί το νερό μέχρι να γίνει ατμός, θα δημιουργηθεί μεγάλη πίεση εντός του κλωβού και ο ατμός θα εξωθηθεί από τον σωλήνα με πολύ μεγάλη δύναμη. Η δύναμη αυτή (η «ισχύς» του ατμού) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γυρίσει ένα στρόβιλο που είναι συνδεδεμένος με μία ηλεκτρογεννήτρια.</p>
Αφυδάτωση	<p>Απελευθέρωση από την υγρασία για λόγους συντήρησης, π.χ. για την αποξήρανση φρούτων, λαχανικών ή ξυλείας. Για παράδειγμα, ένα εργοστάσιο στη Νεβάδα χρησιμοποιεί τη γεωθερμική θερμότητα για την αφυδάτωση κρεμμυδιών και σκόρδων που πωλούνται σε εστιατόρια.</p>
Βατ (W)	<p>Το μέτρο της ποσότητας του ρεύματος που ρέει μέσω ενός καλωδίου σε μία δεδομένη χρονική στιγμή.</p>

Γεννήτρια	<p>Μία μηχανή που μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια με την βοήθεια περιελιγμένων καλωδίων από χαλκό (αγωγοί) – τα πηνία - εντός ενός μαγνητικού πεδίου.</p> <p>Ένα σύστημα θέρμανσης/ψύξης χώρου το οποίο μεταφέρει θερμότητα από και προς τη γη, σε αντίθεση με την διαδικασία παραγωγής θερμότητας με τη χρήση ενός καυσίμου ως πηγής. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας εκμεταλλεύονται την σχεδόν σταθερή θερμοκρασία που συναντάται μόλις μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους – συνήθως μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του αέρα κατά την χειμερινή περίοδο και μικρότερη από την θερμοκρασία του αέρα το καλοκαίρι.</p>
Γεωθερμική αντλία θερμότητας	<p>Μία εγκατάσταση που χρησιμοποιεί τον γεωθερμικό ατμό ή την γεωθερμική θερμότητα για την κίνηση στροβίλων-γεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι μονάδων που χρησιμοποιούν τα διάφορα θερμοκρασιακά εύρη των γεωθερμικών πόρων: ξηρού ατμού, εκτόνωσης ατμού και δυαδικού κύκλου.</p>
Γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής	<p>Νερό που θερμαίνεται από την φυσική θερμότητα στο εσωτερικό της Γης.</p>
Γεωθερμικό νερό	<p>Ένα παρατηρήσιμο γεγονός στην επιφάνεια, η εμφάνιση του οποίου είναι το αποτέλεσμα της εσωτερικής θερμότητας της Γης. Αυτό περιλαμβάνει τα ηφαίστεια, τους θερμοπίδακες, τις θερμές πηγές, τις λεκάνες με γλυκό νερό και πηλό, και τις ατμίδες (φουμαρόλες).</p>
Γεωθερμικό φαινόμενο	<p>Η φυσική θερμότητα, το ζεστό νερό και ο ατμός στο εσωτερικό της Γης.</p>
Γεωθερμικός πόρος	<p>Ένας μεγάλος όγκος υπόγειου ζεστού νερού και ατμού σε πορώδες και κατακερματισμένο ζεστό πέτρωμα. Το ζεστό νερό στους γεωθερμικούς ταμιευτήρες καταλαμβάνει μόνο το 2 έως 5% του όγκου του πετρώματος, αλλά εάν είναι αρκετά μεγάλος και αρκετά ζεστός ο ταμιευτήρας, μπορεί να αποτελέσει μία σημαντική πηγή ενέργειας. Οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες ορισμένες φορές επικαλύπτονται από ένα στρώμα αδιαπέρατου πετρώματος. Οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες εμφανίζουν συνήθως επιφανειακές εκδηλώσεις, όπως είναι οι θερμές πηγές ή οι φουμαρόλες, κάποιιοι όμως δεν εμφανίζουν τέτοιες.</p>
Γεωθερμικός ταμιευτήρας	<p>Η ανάπτυξη (καλλιέργεια) φυτών, λουλουδιών, δέντρων, σιτηρών και άλλων καλλιεργειών. Τα θερμοκήπια μπορούν να θερμανθούν με τη χρήση ζεστού νερού από γεωθερμικούς ταμιευτήρες. Σε ορισμένες περιοχές αγωγοί ζεστού νερού τοποθετούνται κάτω από το έδαφος για τη θέρμανση των καλλιεργειών. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται και για την ξήρανση καλλιεργειών.</p>
Γεωργία	

Γραμμές μεταφοράς	Καλώδια που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις.
Δαχτυλίδι της Φωτιάς	Μία ζώνη έντονης ηφαιστειακής, γεωθερμικής και σεισμικής δραστηριότητας που εντοπίζεται γύρω από το Pacific Rim και έχει δημιουργηθεί από την δραστηριότητα των τεκτονικών πλακών.
Διαπερατό	Ικανό να επιτρέπει την διέλευση μέσω αυτού του νερού ή άλλων υγρών. Για παράδειγμα, ένα πέτρωμα με μικροσκοπικές διόδους μεταξύ των οπών, ένα πέτρωμα υψηλής σχάσης και το χαλίκι είναι διαπερατά υλικά.
Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)	Αέριο που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και άλλων ενώσεων. Το CO ₂ συναντάται και στη φύση σε μεγάλες ποσότητες στο λιωμένο μάγμα που προκύπτει από τις ηφαιστειακές εκρήξεις. (βλ. Φαινόμενο του Θερμοκηπίου)
Έκρηξη	Η εκρηκτική απόρριψη υλικών όπως τηγμένα πετρώματα και αέρια, ή ζεστό νερό (όπως στην περίπτωση των ηφαιστειών ή των θερμοπιδάκων).
Εναλλάκτης θερμότητας	Μία διάταξη στην οποία η θερμότητα μεταφέρεται μέσω αγωγιμότητας μέσω ενός μεταλλικού φράγματος από ένα πιο ζεστό υγρό ή αέριο για να θερμάνει ένα πιο ψυχρό υγρό ή αέριο στην άλλη πλευρά του μεταλλικού φράγματος. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι εναλλακτών θερμότητας μεταξύ των οποίων είναι οι εναλλάκτες κελύφους και σωλήνων και οι εναλλάκτες πλακών.
Ενέργεια	Η ικανότητα παραγωγής έργου, όπως η μετακίνηση ή η θέρμανση αντικειμένων. Η ενέργεια μπορεί να λαμβάνει πολλές μορφές, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής, χημικής, της ενέργειας ακτινοβολίας, της μηχανικής ενέργειας και της θερμότητας.
Ενέργεια ακτινοβολίας	Ενέργεια (θερμότητα) που μεταφέρεται μέσω ακτινών ή κυμάτων, ιδιαίτερα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, μέσω του κενού ή άλλου μέσου. Ακτινοβολία.
Ενεργειακή αποδοτικότητα	Το μέτρο της ποσότητας της ενέργειας την οποία μπορεί να μετατρέψει σε ωφέλιμο έργο οποιαδήποτε τεχνολογία. Μία τεχνολογία μεγαλύτερης ενεργειακής αποδοτικότητας θα απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την πραγματοποίηση της ίδιας ποσότητας έργου.
Ενεργειακός πόρος	Μία πηγή αξιοποιήσιμης ενέργειας η οποία μπορεί να εξαχθεί όταν χρειάζεται. Οι ενεργειακοί πόροι κατηγοριοποιούνται συχνά σε ανανεώσιμους ή μη-ανανεώσιμους.
Εξάτμιση	Η μεταβολή σε αέρια μορφή οποιουδήποτε υγρού ή στερεού. Ο όρος χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για το νερό (το οποίο εξατμίζεται σε ατμό).
Ζεστά/θερμά σημεία (hot spots)	Περιοχές ηφαιστιογενούς δραστηριότητας που εντοπίζονται στο μέσο των λιθοσφαιρικών πλακών και έχουν προκληθεί από την ανάβλυση της θερμότητας που είναι συγκεντρωμένη στον μανδύα. Τα θερμά

σημεία παραμένουν στατικά ενώ οι πλάκες κινούνται πάνω από αυτά, αφήνοντας συχνά μία αλυσίδα ανενεργών ηφαιστειών καθώς η πλάκα απομακρύνεται από το θερμό σημείο. Τέτοια παραδείγματα hot spots περιλαμβάνουν τα Νησιά της Χαβάης και το Εθνικό Πάρκο Yellowstone.

Ηλεκτρική ενέργεια	Η ενέργεια των ηλεκτρικών φορτίων ή των ηλεκτρικών ρευμάτων.
Ηλεκτρικό ρεύμα	Η συνεχής ροή ηλεκτρονίων. Συχνά αναφέρεται ως «ηλεκτρισμός».
Ηλεκτρόνιο	Το μικρότερο μέρος ενός ατόμου (τα άτομα είναι τα πολύ μικρά σωματίδια από τα οποία αποτελούνται όλες οι ουσίες). Από τα άτομα μπορούν να ελευθερώνονται ηλεκτρόνια για την παραγωγή ενός ηλεκτρικού ρεύματος.
Ηφαίστειο	Ένα άνοιγμα στο φλοιό της Γης από το οποίο ξεσπάει (ή ρέει) λάβα, ατμός ή/και στάχτες, είτε συνεχόμενα είτε κατά διαστήματα.
Θεραπευτική	Η αγωγή που ακολουθείται για μία πάθηση ή άλλου είδους διαταραχή της υγείας, δηλ. κάτι το οποίο μπορεί να ωφελήσει την υγεία. Οι (γεωθερμικές) θερμές πηγές συχνά θεωρούνται ως θεραπευτικές.
Θερμές πηγές	Μία φυσική πηγή από την οποία εξέρχεται νερό θερμοκρασίας μεγαλύτερης από την θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος και συνεπώς αφήνει μία αίσθηση ζέστης. Μπορεί να την συναντήσει κανείς συγκεντρωμένη σε λιμνούλες ή να ρέει σε υδατορεύματα και λίμνες. Αποτελεί ένα γεωθερμικό φαινόμενο.
Θερμοπίδακας (Geysir)	Μία φυσική θερμή πηγή που στέλνει ένα «σιντριβάνι» νερού και ατμού στον αέρα. Ορισμένοι θερμοπίδακες αναβλύζουν σε τακτικά διαστήματα και ορισμένοι είναι απρόβλεπτοι.
Ιαματικά "λουτρά"	Μία εγκατάσταση (συχνά εμπορική) την οποία επισκέπτονται όσοι αποζητούν θεραπεία και χαλάρωση. Πολλά τέτοια κέντρα βρίσκονται γύρω από θερμές πηγές μεταλλικού νερού ή χρησιμοποιούν ζεστό νερό που προέρχεται από γεωθερμικούς ταμειυτήρες.
Ιχθυοκαλλιέργεια	Η καλλιέργεια ψαριών και άλλων υδρόβιων οργανισμών εντός γλυκού ή θαλασσινού νερού. Το γεωθερμικό νερό χρησιμοποιείται για να βοηθηθεί η επιτάχυνση της ανάπτυξης των ψαριών, των γαρίδων και των αλιγατόρων. Οι περισσότερες από κάθε άλλη χώρα επιχειρήσεις ιχθυοκαλλιεργειών εντοπίζονται στην Κίνα.
Καλλιέργεια	Η ανάπτυξη και φροντίδα φυτών ή καλλιεργειών, φάρμα.
Καλντέρα	Μία εδαφική κοιλότητα που σχηματίζεται είτε ως αποτέλεσμα μίας τεράστιας ηφαιστειακής έκρηξης (η οποία καταστρέφει την κορυφή του ηφαιστείου) είτε όταν υποχωρεί το τμήμα ενός ηφαιστειακού κώνου.
Κάταγμα	Μία ρωγμή επί του φλοιού της Γης κατά μήκος της οποίας δεν έχει συμβεί μετακίνηση.
Καύση	Η καύση των αερίων, υγρών ή στερεών στα οποία το καύσιμο

	<p>οξειδώνεται, παράγοντας θερμότητα και συχνά φως (φλόγα).</p>
Λάβα	<p>Λιωμένο μάγμα που έχει φθάσει στην επιφάνεια της Γης.</p>
Λασπολεκάνη (mud pot)	<p>Επιφανειακό θερμικό χαρακτηριστικό το οποίο δημιουργείται όταν δεν υπάρχει επαρκές νερό για την υποστήριξη ενός θερμοπίδακα ή μίας θερμής πηγής, παρά το γεγονός ότι από κάτω μπορεί να υπάρχει ζεστό νερό. Φυσαλίδες ατμού και αερίου αναδύονται από την λάσπη λόγω της αλληλεπίδρασης των αερίων με το πέτρωμα.</p>
Λουτρολογία	<p>Η χρήση ζεστών πηγών μεταλλικού νερού για θεραπευτικούς σκοπούς. Αυτή είναι ίσως η αρχαιότερη χρήση των φυσικών γεωθερμικών υδάτων</p>
Μάγμα	<p>Ζεστό, παχύ, τηγμένο (δηλ. σε υγρή μορφή) πέτρωμα που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της Γης. Δημιουργείται κυρίως εντός του μανδύα.</p>
Μανδύας	<p>Το ημι-τηγμένο εσωτερικό της Γης που κείται μεταξύ του πυρήνα και του φλοιού και αντιστοιχεί στο 80% περίπου του συνολικού όγκου της Γης. Εκτείνεται σε ένα βάθος περίπου 1.800 μιλίων (2.900 χλμ.) από την επιφάνεια.</p>
Μεγαβάτ (MW)	<p>Μία μονάδα ισχύος, που ισούται με 1.000 κιλοβάτ (kW) ή με ένα εκατομμύριο βατ (W). Το βατ είναι μία μονάδα ισχύος (ενέργεια / χρόνο), και αντιστοιχεί στον ρυθμό με τον οποίο καταναλώνεται η ενέργεια ή μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.</p>
Μεταλλοφόρο υλικό	<p>Αυτό που περιέχει ορυκτά/μεταλλεύματα. Για παράδειγμα το μεταλλοφόρο γεωθερμικό νερό περιέχει διαλυμένες ανόργανες ουσίες από το εσωτερικό της Γης</p>
Μετατόπιση των ηπείρων (Θεωρία)	<p>Η θεωρία που υποστηρίζει ότι οι ήπειροι διαχωρίστηκαν όταν μία υπερήπειρος, η Παγγαία, διαλύθηκε σε κομμάτια. (βλ. Τεκτονικές Πλάκες)</p>
Μετατροπή ενέργειας	<p>Η μεταβολή της ενέργειας από μία μορφή σε μία άλλη. Ένα από τα πολλά παραδείγματα είναι η θερμότητα (θερμική ενέργεια) που μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια, και στη συνέχεια αυτή η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, όπως γίνεται στις ατμοκίνητες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.</p>
Μεταφορά θερμότητας	<p>Η μετάδοση της θερμότητας. Υπάρχουν τρεις τρόποι μεταφοράς της θερμότητας: με "αγωγιμότητα," με "συναγωγή," και με "ακτινοβολία". (βλ. τους αντίστοιχους όρους)</p>
Μη ανανεώσιμοι πόροι	<p>Πόροι που δεν μπορούν να αντικατασταθούν ή να επαναδημιουργηθούν με φυσικό τρόπο εντός ενός εύλογου χρονικού πλαισίου. Τέτοιοι είναι τα ορυκτά καύσιμα, το ουράνιο και άλλες ανόργανες ουσίες.</p>
Μηχανική ενέργεια	<p>Η ενέργεια που διαθέτει ένα σώμα λόγω της θέσης ή της κίνησής του και των δυνάμεων που ασκούνται επί αυτού.</p>
Μόρια	<p>Ιδιαίτερα μικρού μεγέθους (μικροσκοπικά) σωματίδια από τα οποία είναι κατασκευασμένα όλα τα υλικά.</p>

Οξειδία του αζώτου (NO_x)

Δημιουργούνται κατά την καύση. Εμφανίζονται ως κιτρινοκαφέ νέφη. Ερεθίζουν τους πνεύμονες, προκαλούν παθήσεις των πνευμόνων, οδηγούν στον σχηματισμό του όζοντος (το οποίο είναι επιβλαβές στην κατώτερη ατμόσφαιρα, αλλά απαραίτητο ως προστατευτικό από τις υπεριώδεις ακτίνες στην ανώτερη ατμόσφαιρα).

Οξειδία του θείου (SO_x)

Στυφά, άχρωμα αέρια (συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του θείου - SO₂) που σχηματίζονται κυρίως κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Μπορεί να είναι επιβλαβή για το αναπνευστικό σύστημα, καθώς και για τα φυτά και τα δέντρα.

Όξινη βροχή

Κοινή ονομασία για οποιοδήποτε είδος κατακρήμνιση (βροχή, χιόνι, χιονόνερο, χαλάζι, ομίχλη) το οποίο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά ή/και νιτρικά οξέα ή έχει τιμή pH μικρότερη του 5,6 (η φυσιολογική βροχή έχει pH της τάξης του 5,6–5,7). Η συγκέντρωση των οξέων σε λίμνες και ποτάμια καταστρέφει ή σκοτώνει την χλωρίδα και την πανίδα. Επίσης, η όξινη βροχή διαλύει τα οικοδομικά υλικά και εκπλύει τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, οδηγώντας στην καταστροφή των καλλιεργειών. Οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα αποτελούν μία κύρια πηγή της όξινης βροχής.

Παγκόσμια θέρμανση/ Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η παγίδευση της θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία διαπερνάει την ατμόσφαιρα και φθάνει στην επιφάνεια της Γης, αλλά η εξερχόμενη ακτινοβολία (θερμότητα) απορροφάται από τους υδρατμούς, το διοξείδιο του άνθρακα και το όζον της ατμόσφαιρας. Σε συγκεκριμένα επίπεδα αυτό είναι ωφέλιμο και επιθυμητό, καθώς ο πλανήτης παραμένει επαρκώς ζεστός για την ύπαρξη και την διατήρηση της ζωής σε αυτόν. Εντούτοις, μία αύξηση στην κανονική ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα και των λοιπών αερίων μπορεί να συμβάλλει σε μία τάση για αύξηση της θερμοκρασίας λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που θα μπορούσε να έχει σοβαρές επιπτώσεις στο παγκόσμιο κλίμα, το παγκόσμιο οικοσύστημα και την διατροφική αλυσίδα.

Παγγαία

Η τεράστια υπερήπειρος η οποία θεωρούν οι επιστήμονες ότι πρέπει να υπήρξε πριν από 250 εκατομμύρια έτη. Όλες οι ήπειροι πρέπει να ενώθηκαν κάποια χρονική στιγμή ώστε να δημιουργήσουν αυτή την τεράστια μάζα έκτασης/γης.

Παστερίωση

Η χρήση υψηλών θερμοκρασιών για την καταστροφή των παθογόνων βακτηρίων.

Πίεση

Η δύναμη που ασκείται επί μίας συγκεκριμένης επιφάνειας. Η γήινη ατμόσφαιρα εξασκεί πίεση στην επιφάνεια της γης και τα στρώματα πετρωμάτων ασκούν πίεση σε αυτά που βρίσκονται από κάτω τους.

Πορώδες

Γεμάτο από μικρές οπές (πόρους), οι οποίοι είναι δυνατόν να γεμίσουν (διαποτιστούν) με νερό, αέρα ή άλλα υλικά.

Πυκνότητα

Η ποσότητα της μάζας σε ένα δεδομένο όγκο. Δύο αντικείμενα μπορεί να έχουν το ίδιο μέγεθος, αλλά να έχουν διαφορετικές

	<p>πυκνότητες γιατί το ένα από τα δύο έχει περισσότερη ποσότητα μάζας μέσα στην ίδια ποσότητα χώρου. Τα αντικείμενα είναι μικρότερα όταν είναι κρύα και μεγαλύτερα όταν είναι ζεστά.</p> <p>Το ιδιαίτερα θερμό κέντρο της Γης. Ο εξωτερικός πυρήνας αποτελείται πιθανώς από τηγμένο πέτρωμα και βρίσκεται σε απόσταση περίπου 3.200 μιλίων (5.100 χιλιόμετρα) κάτω από την επιφάνεια της γης. Ο εσωτερικός φλοιός μπορεί να αποτελείται από συμπαγή σίδηρο και εντοπίζεται στο κέντρο της Γης – σε απόσταση περίπου 4.000 μιλίων (6.400 χιλιόμετρα) προς τα κάτω.</p>
Πυρήνας (εξωτερικός και εσωτερικός)	
Ρεύματα μεταγωγής	<p>Τα ρεύματα που δημιουργούνται από την ανοδική και την καθοδική κίνηση του ζεστού αέρα ή υγρού. Ο ζεστός αέρας ή το ζεστό υγρό εκτονώνονται και έτσι γίνονται λιγότερο πυκνά από το πιο ψυχρό τους περιβάλλον, εκτελώντας ανοδική κίνηση. Αντίστροφα, όταν ψύχονται συστέλλονται, γίνονται περισσότερο πυκνά και βυθίζονται προς τα κάτω, δημιουργώντας ένα είδος περιστροφικής κίνησης. Οι κινήσεις αυτές θεωρείται ότι αποτελούν μέρος των δυναμικών γεωλογικών διαδικασιών που καθορίζουν την μετακίνηση των κρυσταλλικών πλακών. (βλ. Τεκτονικές Πλάκες)</p>
Ρήγμα	<p>Μία ρωγμή (ή σχισμή) επί του φλοιού της Γης κατά μήκος της οποίας έχει συμβεί μετακίνηση, η οποία συχνά οδηγεί σε σεισμούς.</p>
Ρηξιγενής ζώνη	<p>Επιμήκεις στενές σχισμές επί του φλοιού που εντοπίζονται κατά μήκος του πυθμένα των ωκεανών ή στο έδαφος, από τις οποίες εξέρχεται λάβα. Συχνά αυτές συσχετίζονται με τα κέντρα επέκτασης από τα οποία αποκλίνουν οι τεκτονικές πλάκες, όπως είναι η Μεσο-Ατλαντική Ράχη.</p>
Σεισμός	<p>Η δόνηση ή η μετακίνηση του εδάφους που προκαλείται από μία ξαφνική μετακίνηση κατά μήκος ρηγμάτων του φλοιού της γης. Οι περισσότεροι σεισμοί λαμβάνουν χώρα στις περιοχές όπου συναντώνται οι ακμές των τεκτονικών πλακών.</p>
Σημείο βρασμού (ζέσεως)	<p>Η θερμοκρασία στην οποία μία μεμονωμένη ουσία, όπως είναι το νερό, περιέρχεται από την υγρή στην αέρια (ατμός) μορφή του υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Το σημείο βρασμού στο οποίο το νερό μεταβάλλεται σε ατμό είναι 100°C (212°F). Ορισμένα υγρά βράζουν σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή στην οποία βράζει το νερό – μία αρχή που χρησιμοποιείται σε πολλές δυαδικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής. Το σημείο ζέσεως επηρεάζεται και από την πίεση. Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση τόσο μεγαλύτερο είναι και το σημείο ζέσεως. Η αρχή αυτή εφαρμόζεται στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμική ενέργεια (εκτόνωση ατμού) όταν το υπερθερμασμένο (πιο ζεστό από το νερό που βράζει) γεωθερμικό νερό ανέρχεται μέσα από τα φρεάτια. Το ζεστό νερό μετατρέπεται σε ατμό όταν η πίεση εκτονώνεται καθώς φθάνει στην επιφάνεια. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα και με φυσικό τρόπο και οδηγεί στη δημιουργία θερμοπιδάκων (geysers).</p>

Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής	Ένας κεντρικός σταθμός όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση στροβίλων και γεννητριών.
Στρόβιλος	Μία μηχανή με πτερύγια που εκτελούν περιστροφική κίνηση από την εξαναγκασμένη κίνηση ενός υγρού ή αερίου, όπως ο αέρας, ο ατμός ή το νερό ή κάποιου συνδυασμού τους. Η αλλαγή από την αέρια φάση σε σταγόνες υγρού. Οι υδρόψυκτες γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής χρησιμοποιούν πύργους ψύξης για την ψύξη του χρησιμοποιημένου ατμού και για την επανασυμπύκνωσή του σε νερό το οποίο εγχύεται πίσω στον ταμιευτήρα. Στις δυαδικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, καταρχήν ατμοποιείται ένα οργανικό υγρό (με την θερμότητα του γεωθερμικού νερού) για να κινηθεί ένας στρόβιλος, μετά αυτό ψύχεται και επανασυμπυκνώνεται σε υγρή μορφή, ενώ ανακυκλώνεται πάλι και πάλι σε κλειστό βρόχο
Συμπύκνωση	Ένα σύστημα θέρμανσης που παρέχει θερμότητα για την θέρμανση ενός μεγάλου αριθμού κτηρίων από μία κεντρική εγκατάσταση. Στα συστήματα τηλεθέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια ένα ή περισσότερα φρεάτια μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες ολόκληρων συνοικισμών.
Σύστημα τηλεθέρμανσης	Σκόνη, αιθάλη, καπνός και άλλα αιωρούμενα σωματίδια που μπορεί να είναι ερεθιστικά για το αναπνευστικό σύστημα. Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 microns (pm10) έχει βρεθεί ότι είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για την υγεία.
Σωματίδια (σωματιδιακή ύλη)	Το μέτρο της ποσότητας της δύναμης που "ωθεί" ένα ηλεκτρικό ρεύμα.
Τάση	Η μελέτη της κίνησης των μεγάλων κρυσταλλικών πλακών (λιθοσφαιρικών πλακών) του κελύφους της Γης. Το κέλυφος της Γης διαχωρίζεται σε πολλά κομμάτια (12 μεγάλα και πολλά μικρότερα). Οι πλάκες αυτές κινούνται η μία προς την άλλη και αντίστροφα (απομακρύνονται) περίπου με ρυθμό ίσο με αυτόν που μεγαλώνουν τα νύχια των χεριών. Η διαδικασία η οποία δημιουργεί την δυναμική κίνηση των πλακών περιλαμβάνει την μεταφορά μάγματος στον μανδύα και την λιθόσφαιρα. Η τεκτονική των πλακών βοηθάει στην ερμηνεία της θεωρίας μετατόπισης των ηπείρων, της διεύρυνσης του πυθμένα των θαλασσών, των ηφαιστειακών εκρήξεων και άλλων γεωθερμικών φαινομένων, των σεισμών, του σχηματισμού ορέων και στην διασπορά ορισμένων φυτών και ειδών ζώων.
Τεκτονική πλακών	Το "υδρο" προκύπτει από το νερό και το "θερμικό" από τη θερμότητα. Στην κυριολεξία, υδροθερμικό σημαίνει θερμό νερό. Οι ταμιευτήρες ατμού και ζεστού/θερμού νερού είναι υδροθερμικοί ταμιευτήρες. Οι πόροι θερμών ξηρών πετρωμάτων και οι μαγματικοί πόροι δεν θεωρούνται ως υδροθερμικοί πόροι.
Υδροθερμικό	Ένα μεγάλο διαπερατό σώμα από υπόγειο πέτρωμα που έχει την ικανότητα να αποδίδει ποσότητες νερού σε πηγές ή φρεάτια. Οι
Υδροφορέας	

	<p>υδροφορείς (αλλιώς “υδροφόροι ορίζοντες”) παρέχουν το εξήντα τοις εκατό περίπου του πόσιμου νερού στην Αμερική. Οι υπόγειοι υδροφορείς ζεστού νερού και ατμού ονομάζονται γεωθερμικοί ταμειυτήρες.</p>
Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA)	<p>Ομοσπονδιακός κρατικός οργανισμός των ΗΠΑ που θεσπίζει και θέτει σε ισχύ πρότυπα σχετικά με τον έλεγχο της ρύπανσης. Έχει ιδρυθεί και λειτουργεί με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος.</p>
Φάσεις του νερού	<p>Η αλλαγή / μετάβαση του νερού από τη μία κατάσταση στην άλλη. Η αλλαγή / μετάβαση από πάγο σε υγρό είναι η τήξη, ενώ η αντίστροφη διαδικασία είναι η ψύξη. Η αλλαγή / μετάβαση από υγρό σε αέριο είναι η ατμοποίηση και το παράγωγο είναι ο υδρατμός, ενώ η αλλαγή / μετάβαση του υδρατμού σε υγρό καλείται συμπύκνωση. Τόσο η ατμοποίηση όσο και η συμπύκνωση αποτελούν σημαντικές λειτουργίες στα γεωθερμικά φαινόμενα αλλά και για την γεωθερμική τεχνολογία.</p>
Φλοιός	<p>Το στερεό εξώτατο στρώμα της Γης, που αποτελείται κυρίως από πετρώματα πάχους από 3 - 35 μίλια (4,8 - 56 χιλιόμετρα), αποτελεί το ανώτατο τμήμα της λιθόσφαιρας (βλ. λιθοσφαιρικές πλάκες). Ο φλοιός της Γης παρέχει την αναγκαία μόνωση έναντι του ζεστού εσωτερικού.</p>
Φρεάτιο έγχυσης	<p>Ένα φρεάτιο μέσω του οποίου το γεωθερμικό νερό επιστρέφει σε ένα υπόγειο ταμειυτήρα μετά την χρήση του. Τα γεωθερμικά φρεάτια παραγωγής και έγχυσης κατασκευάζονται από αγωγούς που είναι τοποθετημένοι ο ένας μέσα στον άλλο και εδραιωμένοι (με τσιμέντο) τόσο μέσα στη γη όσο και μεταξύ τους. Αυτό προστατεύει τους τυχόν ρηχούς υδροφορείς πόσιμου νερού από το να αναμειχθούν με γεωθερμικό νερό μεγάλου βάθους.</p>
Φυσικό αέριο	<p>Ένα μείγμα αερίου (κυρίως μεθάνιο) που παγιδεύεται υπόγεια σε πολλές περιοχές πλησίον της επιφάνειας της Γης. Είναι ορυκτό καύσιμο.</p>
Χημική ενέργεια	<p>Ποσότητα ενέργειας που είναι εγκλωβισμένη εντός των χημικών δεσμών που κρατούν τα μόρια ενωμένα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ο άνθρακας και το πετρέλαιο, που διαθέτουν ενεργειακό δυναμικό το οποίο απελευθερώνεται κατά την καύση τους.</p>



ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΟ ENER-SUPPLY

malam@cres.gr, egiakou@cres.gr

www.ener-supply.eu

Εταίροι του έργου:

Comune di Potenza, (Συντονιστής) – Ιταλία
marcocaponigro@gmail.com
ufficioenergia@comune.potenza.it
www.comune.potenza.it

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και
Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) – Ελλάδα
malam@cres.gr,
egiakou@cres.gr
www.cres.gr

Black Sea Regional Energy Centre (BSREC) –
Βουλγαρία
office@bsrec.bg, angel@bsrec.bg
www.bsrec.bg

Center for Promotion of Clean and Efficient
Energy in Romania (ENERO) – Ρουμανία
c.tantareanu@enero.ro,
nicoleta.ion@enero.ro
www.enero.ro

Center for Environmental Studies – Ουγγαρία
mail@ktk-ces.hu
www.ktk-ces.hu

Faculty of Business Economy, University of
Economics – Σλοβακία
jana.nascakova@euke.sk
rastislav.rucinsky@euke.sk
www.euke.sk

Università Politecnica delle Marche – Ιταλία
c.decarolis@univpm.it,
Giovanni.riva2@gmail.com
www.univpm.it

Centre for Studies and Experimental
Research in Geotechnologies – Ιταλία
rainone@unich.it
www.cersgeo.unich.it

Energy Institute Hrvoje Pozar (EIHP) –
Κροατία
mzidar@eihp.hr
www.eihp.hr

University of Novi Sad – Σερβία
mbukurov@uns.ac.rs
www.uns.ac.rs

Energy Agency of the Republic of Macedonia
- ΠΓΔΜ
elena.kitanovska@ea.gov.mk
www.ea.gov.mk

Albania–EU Energy Efficiency Centre –
Αλβανία
ehido@eec.org.al
www.eec.org.al

Regional Education and Information Center
for sustainable development in South-East
Europe (REIC) – Βοσνία & Ερζεγοβίνη
a.husika@reic.org.ba
www.reic.org.ba