

# Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΥΗΕ) στον Ελληνικό χώρο

## Δυνατότητα και προοπτικές

του  
Δημήτριου Ε.  
Παπαντώνη,  
καθηγητή  
Τμ. Μηχανολόγων  
Μηχανικών ΕΜΠ.

### 1. Εισαγωγή.

Η ανάπτυξη των μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (ΥΗΕ) στην Ελλάδα, υστερεί σημαντικά σε σύγκριση με τις άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, αν και το διαθέσιμο υδροδυναμικό δεν είναι αμελητέο. Ως βασικός λόγος της υστέρησης αυτής, θα πρέπει να θεωρηθεί η ασυνέχεια που υπήρξε στην κατασκευή και λειτουργία των μικρών ΥΗΕ μετά την ίδρυση της ΔΕΗ, το 1950. Οι μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις που ήδη λειτουργούσαν σε διάφορα μέρη της Ελλάδας από την τοπική αυτοδιοίκηση ή τον ιδιωτικό τομέα, κάλυπταν τις ενεργειακές ανάγκες των τοπικών ηλεκτρικών δικτύων. Οι εγκαταστάσεις αυτές δεν μπόρεσαν να ανταποκριθούν στις τεχνολογικές απαιτήσεις ενός ισχυρού διασυνδεδεμένου δικτύου, οπότε από το 1956 η ΔΕΗ τις εξαγόρασε, εκτός από το μικρό ΥΗΕ Γλαύκου στην περιοχή της Πάτρας. Οι περισσότερες από αυτές, ήταν πολύ μικρής ισχύος και πεπαλαιωμένης τεχνολογίας, με αποτέλεσμα να κριθούν ως ασύμφορες και να κλείσουν. Επιπλέον, σύμφωνα με τον ιδρυτικό νόμο, η ΔΕΗ είχε μέχρι το 1985 το αποκλειστικό δικαίωμα στην παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε ήταν αδύνατη η δραστηριοποίηση της τοπικής αυτοδιοίκησης ή του ιδιωτικού φορέα στον τομέα αυτό. Στο διάστημα από το 1950 ως το 1985, η ΔΕΗ με σκοπό τον εξηλεκτρισμό της χώρας, έστρεψε το ενδιαφέρον της στην κατασκευή των μεγάλων ΥΗΕ, με εξαίρεση αυτά του Λούρου, τα οποία είναι μικρής ισχύος ενώ δραστηριοποιήθηκε, χωρίς ιδιαίτερο ζήλο, στην αξιοποίηση του μικρής ισχύος υδροδυναμικού, μετά το 1980, περίπου.

Μετά το 1985, δόθηκε η δυνατότητα κατασκευής μικρών ΥΗΕ από ιδιώτες ή την τοπική αυτοδιοίκηση, όμως η τιμή της κλοβατώρας είχε οριστεί

πολύ χαμηλή, με αποτέλεσμα να μην παρατηρηθεί καμία σχεδόν δραστηριότητα. Η ασυνέχεια αυτή στην κατασκευή και λειτουργία των μικρών ΥΗΕ, θα πρέπει να θεωρηθεί ως ο κύριος λόγος υστέρησης της χώρας μας στην αξιοποίηση του μικρής ισχύος υδροδυναμικού.

Η αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας μέσω μετατροπής της σε μηχανική, ήταν γνωστή από τους αρχαίους χρόνους με τους γνωστούς νερόμυλους. Η τεχνολογία των νερόμυλων δεν εξελίχθηκε ουσιαστικά μέχρι την εμφάνιση, στις αρχές του 19ου αιώνα, των πρώτων μηχανών που θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως υδροστρόβιλοι. Τα έργα αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας που κατασκευάστηκαν στις τελευταίες δεκαετίες του 19ου αιώνα, ήταν μικρής ισχύος, γιατί αυτό επέτρεπαν τα τεχνικά μέσα της εποχής. Σταδιακά, η αύξηση των ενεργειακών αναγκών, που συμβάδισε με τις τεχνολογικές προόδους και τα διαθέσιμα μέσα, επέτρεψε την κατασκευή όλο και μεγαλύτερων έργων μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική. Σημαντικός σταθμός στην αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας ήταν η ανάπτυξη των εφαρμογών του ηλεκτρισμού, μία μορφή ενέργειας της οποίας η μεταφορά από την θέση παραγωγής στην θέση της κατανάλωσης είναι σχετικά εύκολη. Εκτοτε το έργο αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας γίνεται Υδροηλεκτρικό, δηλ. η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική από τον υδροστρόβιλο και στην συνέχεια σε ηλεκτρική από την ηλεκτρική γεννήτρια που είναι συζευγμένη με αυτόν.

Στην Ευρώπη τουλάχιστον, οι δυο-τρεις δεκαετίες μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο, θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως η χρυσή περίοδος των μεγά-

λων ΥΗΕ, επειδή η έντονη αξιοποίηση του διαθέσιμου υδραυλικού δυναμικού έγινε με μονάδες μεγάλης ισχύος, μερικών εκατοντάδων MW η κάθε μία. Από την δεκαετία του 1980 περίπου, παρατηρείται διεθνώς ένα έντονο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των μικρών ΥΗΕ, που εκδηλώνεται είτε με την αξιοποίηση νέων μικρών υδατοπτώσεων είτε με την επανασχεδίαση και επανεξοπλισμό των μικρών ΥΗΕ που είχαν απομείνει ή εγκαταλειφθεί. Το διεθνές ενδιαφέρον για τα μικρά ΥΗΕ, αντικατοπτρίζεται από την ανάπτυξη σημαντικού αριθμού κατασκευαστριών εταιρειών, τις περισσότερες φορές θυγατρικών των εταιρειών που κατασκευάζουν εξοπλισμό για τα μεγάλα ΥΗΕ, που ειδικεύονται στην κατασκευή τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, για τα νέας γενεάς μικρά ΥΗΕ.

### 2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μικρών ΥΗΕ.

Στην συνέχεια, γίνεται μία καταγραφή των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των ΥΗΕ. Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτά, αναφέρονται αποκλειστικά στα ΥΗΕ, ενώ κάποια άλλα είναι κοινά με τις άλλες μορφές ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών.

#### α) Πλεονεκτήματα των υδροηλεκτρικών έργων.

- οι υδατοπτώσεις είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και έτσι, δεν αντιμετωπίζουν ορατό κίνδυνο εξαντλήσεώς τους, όπως αντιμετωπίζεται το ενδεχόμενο αυτό για τα συμβατικά καύσιμα,

- τα ΥΗΕ δεν έχουν απόβλητα ή κατάλοιπα, δεν μολύνουν το περιβάλλον και (ουσιαστικά) δεν αιξάνουν την θερμοκρασία του νερού των ποταμών,

- η κατασκευή τους συνδυάζεται συχνά και με άλλες διευθετήσεις, όπως άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση πλημμύ-

ρας, αλεία, αναψυχή, κλπ.,

- το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και αντιστοιχεί ουσιαστικά στις αποσβέσεις του έργου. Το λειτουργικό κόστος των ΥΗΕ (το κόστος συντήρησης και προσωπικού), είναι μικρό,

- οι υδροστρόβιλοι είναι σταβαρές και αξιόπιστες μηχανές, που απαιτούν μικρή συντήρηση και επίβλεψη (ο προληπτικός έλεγχος γίνεται μετά από 5000 ώρες λειτουργίας, περίπου) και για τον λόγο αυτό, το προσωπικό των ΥΗΕ, είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με την εγκατεστημένη ισχύ (περίπου 25 άτομα για ΥΗΕ συνολικής ισχύος 300 MW) ή ένας τεχνίτης για την επίβλεψη ενός μικρού ΥΗΕ,

- για τις ανάγκες κατασκευής του ΥΗΕ, κατασκευάζονται έργα υποδομής (δρόμοι, γέφυρες), που βοηθούν στην αξιοποίηση απομακρυσμένων περιοχών,

- η διάρκεια ζωής των ΥΗΕ είναι μεγάλη, της τάξεως των 50 ετών για τα μεγάλα και 20-30 ετών για τα μικρά. Η διάρκεια ζωής τους, μπορεί να γίνει μεγαλύτερη με ανανέωση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού,

- το πλέον σημαντικό και αναγκαίο κατάστατο πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών έργων (ΥΗΕ), είναι η δυνατότητα πολύ γρήγορης παραλαβής και απόρριψης φορτίου, έτσι ώστε, να γίνεται δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και η κάλυψη των αιχμών ζήτησης του διασυνδεδεμένου δικτύου. Τον ρόλο αυτό, αναλαμβάνουν τα μεγάλης ισχύος υδροηλεκτρικά έργα αποθήκευσης, δηλ. αυτά των οποίων φράγμα δημιουργεί δεξαμενή (ταμιευτήρα) μεγάλης χωρητικότητας. Η δυνατότητα κάλυψης των αιχμών ισχύος του δικτύου, είναι πολύ σημαντική από τεχνικής και οικονομικής άποψης επειδή η αξία της KWh αιχμής είναι πολλαπλάσια της αξίας της KWh βάσεως. Σ' αυτό ακριβώς το πλεονέκτημα των ΥΗΕ, βασίζεται η κατασκευή αναστρέψιμων μονάδων, οι οποίες κατά την διάρκεια της χαμηλής ζήτησης (νύχτα), λειτουργούν αντλώντας νερό από τον κάτω ταμιευτήρα προς τον άνω, δηλ. αποταμιεύοντας ενέργεια την οποία είναι έτοιμα να

αποδώσουν κατά τις ώρες αιχμής. Όπως θα αναπτυχθεί στην συνέχεια, το χαρακτηριστικό αυτό, έχουν μόνο τα μεγάλης ισχύος ΥΗΕ,

β) *Μειονεκτήματα των υδροηλεκτρικών έργων.*

- έχουν μεγάλη διάρκεια κατασκευής (της τάξεως των 5-10 ετών για μεγάλο ΥΗΕ και 1-2 χρόνια για μικρό ΥΗΕ), ενώ επίσης, μεγάλη είναι η διάρκεια των μελετών και συλλογής-επεξεργασίας υδρολογικών και γεωλογικών κλπ. στοιχείων, τα οποία πρέπει να είναι τόσο πλήρη και αξιόπιστα, όσο μεγαλύτερο είναι το έργο,

- η ετήσια παραγωγή ενέργειας υφίσταται διακυμάνσεις που σχετίζονται με την ποσότητα των ατμοσφαιρικών καταρροημισημάτων (βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων),

- έχουν πολύ υψηλό κόστος (της τάξεως των 2000-4000 €/KW) και γι' αυτό απαιτούν την διάθεση πολύ μεγάλων κεφαλαίων,

- η κατασκευή τους προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων υδατοπτώσεων και μεγάλων παροχών. Για τον λόγο αυτό, η θέση τους είναι πολλές φορές πολύ μακριά από την κατανάλωση, με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται σημαντικά το κόστος κατασκευής τους από το κόστος των έργων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

### **3. Διάκριση μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ.**

#### **3.1. Γενικά.**

Θα πρέπει αρχικά να διευκρινισθεί ότι, από πλευράς αρχής λειτουργίας, τόσο στη μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική και στη μετατροπή της τελευταίας σε ηλεκτρική, ένα μικρό ΥΗΕ, δεν διαφέρει από ένα μεγάλο. Επίσης, δεν διαφέρουν ως προς το πλήθος και το είδος των επί μέρους έργων-τιμημάτων, από τα οποία απαρτίζεται ένα ΥΗΕ.

Ο χαρακτηρισμός ενός Υδροηλεκτρικού Έργου (ΥΗΕ) ως "μικρού", δεν αναφέρεται αποκλειστικά στην εγκατεστημένη ισχύ ή στις διαστάσεις των μονάδων αλλά σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών, πολλά από τα οποία δεν είναι μετρήσιμα, δηλ. οι διαφορές μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ, δεν είναι μόνο ποσοτικές αλλά κυρίως και ποιοτικές. Στα μεγάλα ΥΗΕ ο χαρα-

κτηρισμός τους ως "μεγάλων", παραλείπεται ως εννοούμενος.

Ως μικρό χαρακτηρίζεται ένα Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ), όταν η ονομαστική ισχύς του είναι μικρότερη των 10 MW, χωρίς η τιμή αυτή να αποτελεί ένα γενικά αποδεκτό όριο. Σημειώνεται ότι σε ορισμένες χώρες το όριο διάκρισης μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ, ορίζεται στα 5 MW. Το ότι το όριο διάκρισης δεν είναι ιδιαίτερα σαφές, οφείλεται στο ότι οι διαφορές τους δεν είναι τόσο ποσοτικές όσο ποιοτικές και αφορούν την επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, την διαμόρφωση και την εκμετάλλευση του ΥΗΕ. Όπως θα αναπτυχθεί στην συνέχεια, μία βασική διαφοροποίηση μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ, έγκειται στην επιλογή και εγκατάσταση τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, στην περίπτωση των μικρών ΥΗΕ.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι, η τυποποίηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού για τον εξοπλισμό μικρών ΥΗΕ φθάνει, συνήθως, μέχρι την ισχύ των 10 MW (αν και ορισμένες εταιρείες προσφέρουν τυποποιημένους υδροστρόβιλους ον. ισχύος μέχρι 15 MW), φαίνεται ότι η τιμή αυτή αποτελεί το πλέον αποδεκτό όριο διάκρισης μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ, όπως άλλωστε δέχονται όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το όριο διάκρισης, μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ έχει σημασία και από πλευράς διαδικασιών και αδειοδότησεων, καθώς για τα μικρά ΥΗΕ προβλέπονται διαδικασίες απλούστερες, ενώ σε ορισμένες χώρες, όπως η Ελλάδα, ένα μεγάλο ΥΗΕ δεν μπορεί να κατασκευασθεί παρά μόνο από την ΔΕΗ.

Στη διεθνή βιβλιογραφία, υπάρχουν και άλλες διακρίσεις: ως *micro*, χαρακτηρίζεται ένα ΥΗΕ, όταν η ονομαστική ισχύς του είναι μικρότερη των 100 KW, ως *mini*, όταν η ονομαστική ισχύς του είναι μικρότερη από 1MW και ως *micro* (*small* στα αγγλικά, *petit* στα γαλλικά), όταν η ονομαστική ισχύς του είναι μεταξύ του 1 MW και 10 MW. Τα όρια αυτά μεταξύ *micro*, *mini* και *micro* δεν είναι απόλυτα και υπάρχουν αποκλίσεις σε διάφορες χώρες, καθόσον σχετίζονται κυρίως, με τις διαδικασίες αδειοδότησης και τις

προδιαγραφές σύνδεσης με το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η αξιοποίηση του υδροδυναμικού μιας χώρας, αποτελεί οπωσδήποτε έναν εθνικό στόχο, δεδομένου ότι πρόκειται για μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με σημαντικά πλεονεκτήματα, σε σύγκριση με τις άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, όπως οι μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η μεγάλη ειδική ισχύς (ισχύς ανά βάρος του εξοπλισμού) και η δυνατότητα συνδυασμού με άλλες χρήσεις του νερού. Την αξιοποίηση των μεγάλων ισχύος υδατοπτώσεων, αναλαμβάνουν οι εταιρείες παραγωγής και διανομής ενέργειας, όπως η ΔΕΗ, για δύο κυρίως λόγους: τα μεγάλα ΥΗΕ είναι απαραίτητα σε ένα μεγάλο δίκτυο, επειδή είναι τα μόνα που μπορούν να καλύψουν αποτελεσματικά τις αιχμές ζήτησης του δικτύου και επειδή το κόστος κατασκευής τους είναι πολύ υψηλό.

Σε εθνικό επίπεδο η κατασκευή και λειτουργία πολλών μικρών ΥΗΕ είναι σημαντική επειδή, λόγω του μεγάλου πλήθους των αξιοποιήσιμων θέσεων, σε σχέση με τις αντίστοιχες για μεγάλα ΥΗΕ, η ετήσια παραγωγή ενέργειας μπορεί να είναι αξιόλογη. Για τον λόγο αυτόν άλλωστε, όλες σχεδόν οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, διαθέτουν ήδη από πολλά χρόνια, σημαντικό πλήθος μικρών ΥΗΕ. Αποτέλεσμα του έντονου ενδιαφέροντος σε διεθνές επίπεδο για την αξιοποίηση των μικρών υδατοπτώσεων, είναι η δραστηριοποίηση και άνθηση πολλών εταιρειών που κατασκευάζουν τυποποιημένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (υδροστροβίλους, γεννήτριες και ρυθμιστές) για μικρά ΥΗΕ.

Ένα μικρό ΥΗΕ δεν πρέπει να θεωρηθεί ως μικρογραφία ενός μεγάλου καθώς η προσέγγιση αυτή θα οδηγήσει σε οικονομική αποτυχία την επένδυση. Οι κύριες διαφορές μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ, εντοπίζονται στην επιλογή και εγκατάσταση τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού καθώς και στο πρόγραμμα εκμετάλλευσης, το οποίο έχει άμεσο αντίκτυπο στην διάταξη και διαστασιολόγηση των διαφόρων στοιχείων που το απαρτίζουν.

Άλλοι παράγοντες ευνοϊκοί για την κατασκευή ενός μικρού ΥΗΕ, είναι ότι

μπορεί από εύκολα να συνδυασθεί με άλλες διευθετήσεις, π.χ. ύδρευση, άρδευση, οπότε θα ήταν δυνατόν να αξιοποιηθούν υπάρχοντα μικρά αρδευτικά φράγματα. Ακόμη, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρουν τα μικρά ΥΗΕ είναι πολύ μικρότερες από αυτές των μεγάλων, καθώς οι περισσότερες από αυτές οφείλονται στον σχηματισμό μεγάλου ανάντα ταμιευτήρα.

Μία άλλη διάκριση των ΥΗΕ, αναφέρεται στο μέγεθος της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης  $H$ , η τιμή της οποίας εκφράζει την ανά μονάδα μάζας υδραυλική ενέργεια του νερού και την τάξη μεγέθους της στατικής πίεσης στον αγωγό προσαγωγής και το τμήμα εισόδου του υδροστροβίλου, ενώ από αυτήν κυρίως, εξαρτάται η επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου.

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες:

- μικρού ύψους, όταν το  $H$  είναι μικρότερο των 20 m,
- μέσου ύψους, όταν  $20 < H < 150$  m,
- μεγάλου ύψους όταν  $H > 150$  m.

Δεδομένου ότι η υδραυλική ισχύς είναι γινόμενο της παροχής του νερού και της υδραυλικής πτώσης, γίνεται φανερό ότι το κόστος κατασκευής ενός μικρού ΥΗΕ είναι τόσο μικρότερο, και άρα η επένδυση τόσο πιο αποδοτική, όσο μεγαλύτερη είναι η υδραυλική πτώση  $H$ . Όμως, κατά κανόνα, οι μεγάλες υδραυλικές πτώσεις αναπτύσσονται σε ορεινές και απομακρυσμένες περιοχές, οπότε ενδέχεται το κόστος των γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι τόσο υψηλό, ώστε να ανασταθμίζει το πλεονέκτημα του σχετικά χαμηλού κόστους του μικρού ΥΗΕ. Το αντίθετο συμβαίνει με τα μικρά ΥΗΕ μικρής υδραυλικής πτώσης: το ύψος της επένδυσης είναι αυξημένο, όμως κατά κανόνα, βρίσκονται κοντά σε πεδινές και κατοικήσιμες περιοχές, οπότε το κόστος των έργων σύνδεσης με το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο, είναι μικρό.

Ακόμη, τα ΥΗΕ χαρακτηρίζονται από το εάν το φράγμα σχηματίζει ταμιευτήρα (δεξαμενή αποθήκευσης) μεγάλου όγκου ή εάν ο σταθμός λειτουργεί κατά τον ρου του ποταμιού, όπως κυρίως συμβαίνει στα έργα μικρού ύψους πτώσεων.

### 3.2. Επιλογή τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός των μικρών ΥΗΕ, και κυρίως οι υδροστροβίλοι, οι γεννήτριες και οι ρυθμιστές στροφών, προσφέρονται τυποποιημένα από μεγάλο αριθμό κατασκευαστών. Η τυποποίηση καλύπτει τους υδροστροβίλους όλων των τύπων (Francis, Pelton, Kaplan και βολβοειδείς), ενώ παράλληλα διατίθενται και τύποι υδροστροβίλων, κατάλληλων μόνο για μικρές ισχύεις, όπως ο Cross-Flow (Banki), και οι διάφοροι τύποι υδροστροβίλων αξονικής ροής, όπως ο σωληνωτός, τύπου S. Η τυποποίηση των υδροστροβίλων, βασίζεται στους νόμους ομοιότητας των υδροδυναμικών μηχανών, ενώ η διακριτοποίηση των μεγεθών είναι αρκετά λεπτή, έτσι ώστε, να καλύπτεται κατά το δυνατόν πλήρως το διάγραμμα παροχής-υψών. Το βασικό πλεονέκτημα της επιλογής τυποποιημένου υδροστροβίλου, έγκειται στο σημαντικό μικρότερο κόστος, δεδομένου ότι δεν επιβαρύνεται από το κόστος ανάπτυξης (υδραυλική χάραξη, δοκιμές σε μοντέλο κλπ), και κατά συνέπεια, στον μικρότερο χρόνο παράδοσης, σημείο ιδιαίτερης βαρύτητας για την περίπτωση μικρού ΥΗΕ, του οποίου ο χρόνος κατασκευής δεν υπερβαίνει, και δεν πρέπει να υπερβαίνει, τα 2 χρόνια. Σημειώνεται ότι ένα μεγάλο ΥΗΕ, από τη στιγμή που αρχίζει η επένδυση μέχρι να ενταχθεί η μονάδα στο δίκτυο, απαιτεί τουλάχιστον μία πενταετία έως και δεκαετία και την αντίστοιχη δέσμευση τεράστιων χρηματικών ποσών.

Φυσικά υπάρχουν και μειονεκτήματα από την επιλογή τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, όπως το ότι τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του τυποποιημένου υδροστροβίλου που θα επιλεγεί, δεν είναι απόλυτα προσαρμοσμένα στις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου, με αποτέλεσμα η παραγόμενη ενέργεια να υπολείπεται κατά τι από αυτή που θα παρήγεται από υδροστροβίλο σχεδιασμένο ειδικά για το συγκεκριμένο έργο. Επίσης, οι τυποποιημένοι υδροστροβίλοι, σχεδιάζονται έτσι ώστε, η συντήρησή τους να είναι απλούστερη, με επεμβάσεις, κυρίως, στα έδρανα.

Η τυποποίηση των ρυθμιστών

στροφών των μονάδων, δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα προσαρμογής σε κάθε εξεταζόμενη περίπτωση, χάρη στην εφαρμογή σύγχρονης τεχνολογίας, μέσω της οποίας οι σύγχρονοι ρυθμιστές στροφών, είναι ψηφιακοί και εύκολα προγραμματιζόμενοι.

Όσον αφορά τις ηλεκτρικές γεννήτριες, είναι δυνατή η επιλογή ασύγχρονων γεννητριών, στην περίπτωση κατά την οποία, η μονάδα συνδέεται σε ισχυρό διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο διατηρεί σταθερή την συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος και παρέχει την απαραίτητη άεργη ισχύ. Για μεγαλύτερες ισχύς, επιλέγονται σύγχρονες τυποποιημένες γεννήτριες (που δεν έχουν απαιτήσεις αέριου ισχύος), οι οποίες όμως, σε σύγκριση με τις ασύγχρονες, έχουν υψηλότερο κόστος και αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης. Θα πρέπει να διευκρινισθεί ότι οι κοινές γεννήτριες του εμπορίου, σχεδιάζονται ώστε, να λειτουργούν με πετρελαιοκινητήρες και για τον λόγο αυτό, δεν αντέχουν στις σημαντικές υπερταχύσεις που αναπτύσσονται στην περίπτωση απόρριψης του φορτίου της μονάδας υδροστροβίλου-γεννήτριας.

Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός των μικρών ΥΗΕ και ιδιαίτερα, οι υδροστροβίλοι και ο κύριος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός (γεννήτριες, μετασχηματιστές), θεωρείται ήδη ώριμος, έχοντας φθάσει σε οριακά σημεία από πλευράς βελτίωσης. Για τον λόγο αυτόν άλλωστε, στα διάφορα προγράμματα τεχνολογικής έρευνας (εθνικά και ευρωπαϊκά), δεν συμπεριλαμβάνεται ο εξοπλισμός αυτός στα ερευνητικά ενδιαφέροντα. Ενδεχόμενο νέο ενδιαφέρον, μπορεί να προκύψει με την υιοθέτηση νέων υλικών.

### 3.3. Πρόγραμμα εκμετάλλευσης και συνέπειες στην σύλληψη του μικρού ΥΗΕ.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο κύριος ρόλος των μεγάλων ΥΗΕ, είναι η κάλυψη των αιχμών ισχύος των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών δικτύων. Εξαιρούνται οι περιπτώσεις ΥΗΕ σε μεγάλους ποταμούς (έργα κατά τον ρού του ποταμού), που έχουν μικρή δυνατότητα αναρρόθισης και λειτουργούν ως μονάδες βάσης. Ακριβώς για να αυξηθεί η δυνατότητα παρέμβα-

A/A	Μικρός ΥΗΕ	Περιοχή	Ετος έναρξης	H (mΣΥ)	Εγκ. Ισχύς (MW)/μον.	Πλήθος μονάδων
1	Γλαύκος	Πάτρα	1927		1.6	1
2	Αγριά	Χανιά	1929		0.3	1
3	Αγ. Ιωάννης	Σέρρες	1931		0.3	1
4	Τριπόταμος	Βέροια	1929		1.8	1
5	Λούρου I, II	Ηπειρος	1954	60.6	2.5	2
6	Λούρου III	Ηπειρος	1964	60.5	5.0	1
7	Μικρό Στράτου	Αργίνιο	1988	16.0	7.0	2
8	Γκιώνας	Αμφισσα	1989	54.0	8.0	1
9	Μακροχώρι	Βέροια	1992	10.0		
10	Βέρμιο II	Βέροια		0.5		
11	Βέρμιο III	Βέροια		0.3		
12	Αγκιστρο	Σέρρες		0.5		
13	Τσιβλός	Ακράτα	1998	110	1,25	2

Πίνακας 1. Κυριότερα εν λειτουργία μικρά ΥΗΕ, στον Ελληνικό χώρο.

σής τους στην ζήτηση, στα μεγάλα ΥΗΕ διαμορφώνεται ανά ταμειυτήρας μεγάλης χωρητικότητας, μέσω του οποίου, ετεροχρονίζεται κατά βούληση, η παραγωγή ενέργειας από τις φυσικές εισροές. Επιπλέον, με την κατασκευή μεγάλου ανά ταμειυτήρα, επιτυγχάνεται η πλήρης σχεδόν αξιοποίηση της εισερχόμενης ποσότητας νερού (απόλεια υπάρχει μόνο στην περίπτωση μεγάλων πλημμυρικών παροχών, οπότε η περίσσεια υπερχειλίζει). Τέλος με σκοπό την μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη των αιχμών ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος, ένα μεγάλο ΥΗΕ, συνήθως, υπερδιαστασιολογείται, σε σχέση με τις μέσες φυσικές εισροές, γεγονός που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και άρα μικρές τιμές του συντελεστού φορτίου. Η κατασκευή μεγάλου ανά ταμειυτήρα και η υπερδιαστασιολόγηση των μονάδων παραγωγής, οδηγούν σε διόγκωση των έργων πολιτικού μηχανικού και σε σημαντική επιβάρυνση του κόστους του έργου, η οποία όμως τελικά υπερεκλύπτεται από το γεγονός ότι, παράγεται, κυρίως, ενέργεια αιχμής, η αξία της οποίας είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτήν της ενέργειας βάσεως. Ακριβώς στο σημείο αυτό, εντοπίζεται το ενδιαφέρον κατασκευής των αναστρέψιμων ΥΗΕ, τα οποία για τους λόγους που αναφέρθηκαν, δεν έχουν ενδιαφέρον, παρά μόνο όταν είναι μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος.

Αντίθετα, ένα μικρό ΥΗΕ, λόγω ακριβώς του μεγέθους του, δεν έχει δυνατότητα ανακούφισης των αιχμών ισχύος και για τον λόγο αυτό, το σχετικό διαστασιολόγησής του, θα πρέ-

πει να είναι η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η κατασκευή ανά ταμειυτήρα μεγάλης χωρητικότητας, έχει ενδιαφέρον μόνο κατά το ότι μέσω αυτού είναι δυνατή η καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών εισροών. Όμως, μεγάλος ταμειυτήρας, αντιστοιχεί και σε μεγάλο φράγμα και άρα, υψηλό κόστος (κόστος κατασκευής του φράγματος και κόστος της γης, η επιφάνεια της οποίας θα κατακλυσθεί) και για τον λόγο αυτό, στα μικρά ΥΗΕ, ο ανά ταμειυτήρας, περιορίζεται σε μία δεξαμενή που εξυπηρετεί τις ανάγκες της υδροληψίας και μόνο. Η διαμόρφωση αυτή, αντιστοιχεί σε μικρότερες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον και άρα, μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη ότι ένας υδροστροβίλος μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητικά σε περιορισμένο εύρος γύρω από το ονομαστικό σημείο λειτουργίας του (λόγω μηχανικών προβλημάτων που σχετίζονται με την ευστάθεια της ροής ή λόγω συνθηκών σπληαίωσης), το πρόγραμμα εκμετάλλευσης του μικρού ΥΗΕ, θα πρέπει να είναι το ακόλουθο: όταν η φυσική εισροή κυμαίνεται μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης επιτρεπόμενης παροχής, για την ομαλή λειτουργία του υδροστροβίλου, τότε η μονάδα λειτουργεί και παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Για φυσικές εισροές μικρότερες της ελάχιστης επιτρεπόμενης παροχής, η μονάδα παραμένει κλειστή και η φυσική παροχή, υπερχειλίζει και διαφεύγει αναξιοποίητη. Για φυσικές εισροές μεγαλύτερες της μέγιστης επιτρεπόμενης παροχής, η μονάδα λειτουργεί

στην μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή, ενώ η περίπτωση υπερχελίζει και διαφεύγει αναξιοποίητη. Το πρόγραμμα εκμετάλλευσης είναι δυνατόν να γίνει περισσότερο ελαστικό, βελτιώνοντας παράλληλα την αξιοποίηση των φυσικών εισροών, με την παράλληλη εγκατάσταση δύο ή και περισσότερων μονάδων παραγωγής, φυσικά με επιβάρυνση του κόστους.

Ενδιαφέρον για την διαμόρφωση ανάντι ταμειωτήρα σε μικρό ΥΗΕ, μπορεί να υπάρξει στην περίπτωση κατά την οποία ισχύει διαφορικό τιμολόγιο πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, υψηλό για τις ώρες αιχμής και χαμηλό για τις ώρες χαμηλής κατανάλωσης. Με τον ταμειωτήρα, χωρητικότητας που αντιστοιχεί στην ποσότητα του νερού της φυσικής απορροής για μερικές ώρες, θα παράγεται περισσότερη ενέργεια υψηλής τιμής πώλησης, με αποτέλεσμα την αύξηση των εσόδων, χωρίς όμως να επιτυγχάνεται, παρά οριακά, καλύτερη εκμετάλλευση των φυσικών εισροών.

Εάν στα προηγούμενα ληφθεί επιπλέον υπόψη η έντονη χρονική διακύμανση των φυσικών εισροών, προκύπτει η άμεση συσχέτιση μεταξύ των ακόλουθων βασικών χαρακτηριστικών: της παραγόμενης ενέργειας (άρα

των εσόδων), της διαστασιολόγησης των έργων προσαγωγής του νερού καθώς και του εξοπλισμού, του μεγέθους του Υδροηλεκτρικού Σταθμού (ΥΗΣ) Παραγωγής, του συνολικού ύψους της επένδυσης, του μεγέθους και της εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων παραγωγής. Η σημασία της επιλογής του μεγέθους των μονάδων παραγωγής στα οικονομικά αποτελέσματα της επένδυσης τα οποία, εκτός περιπτώσεων τροφοδοσίας ανεξάρτητου ηλεκτρικού δικτύου, θα πρέπει να αποτελούν το μοναδικό κριτήριο επιλογής, γίνεται φανερό από την αριθμητική προσομοίωση της λειτουργίας μικρού ΥΗΕ, με δεδομένη την καμπύλη διάρκειας παροχής.

Άρα, βασική διαφορά μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ, είναι ο κατά το δυνατό περιορισμός των έργων πολιτικού μηχανικού, στην περίπτωση των μικρών και η οποία συσχετίζεται άμεσα με τον τρόπο εκμετάλλευσης του έργου. Τα έργα πολιτικού μηχανικού σε ένα μικρό ΥΗΕ απλοποιούνται, με αποτέλεσμα να μειώνεται. Το ποσοστό του κόστους των έργων πολιτικού μηχανικού σε ένα μικρό ΥΗΕ, μειώνεται κυρίως, χάρη στην απουσία μεγάλου φράγματος και ταμειωτήρα. Ακόμη μεγαλύτερη μείωση του κόστους επι-

τυγχάνεται, όταν τα έργα πολιτικού μηχανικού κατασκευάζονται από τοπικό εργολάβο και γίνει εκτεταμένη χρήση υλικών της περιοχής.

Μία άλλη ιδιαιτερότητα στην λειτουργία των μικρών ΥΗΕ προέρχεται ακριβώς από την απουσία μεγάλου ανάντι ταμειωτήρα. Τα εισερχόμενα νερά δεν έχουν τον χρόνο να ηρεμήσουν οπότε τα αωρούμενα σωματίδια, κυρίως η άμμος, δεν συγκρατούνται, παρά με την διαμόρφωση ειδικών αμμοπαγίδων. Στην έξοδο της αμμοπαγίδας, θα πρέπει να ελέγχεται η περιεκτικότητα της ροής σε αωρούμενα σωματίδια μέσω θολομέτρου και να διακόπτεται η λειτουργία της μονάδας όταν ξεπεραστεί κάποιο όριο, ώστε να αποφεύγεται η μηχανική διάβρωση του υδροστροβίλου (τα σχετικά όρια πρέπει να καθορισθούν σε συνεργασία με τον κατασκευαστή των υδροστροβίλων). Επίσης, λόγω ακριβώς την απουσίας μεγάλου ανάντι ταμειωτήρα, η διάρκεια πλήρωσης της δεξαμενής ανάντι της υδροληψίας από τα φερτά του ποταμού είναι πολύ μικρή και για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να προβλέπεται η εύκολη προσπέλαση μηχανημάτων, για τον καθαρισμό της λεκάνης

#### 3.4. Μελέτη των μικρών ΥΗΕ.

Μία ακόμη σημαντική διαφορά μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ, είναι η έκταση των μελετών (υδρολογικών, γεωλογικών και τοπογραφικών αποτυπώσεων), που απαιτούνται για την κατάρτιση των μελετών (αναγνωριστικής μελέτης, προμελέτης και μελέτης εφαρμογής). Λόγω της σημασίας των μεγάλων ΥΗΕ, οι μελέτες αυτές είναι διεξοδικές, ενώ τα υδρολογικά στοιχεία (φυσικές εισροές), θα πρέπει να είναι αξιόπιστα (να προέρχονται από μετρήσεις) και να εκτείνονται σε μεγάλο χρονικό βάθος (20 ετών τουλάχιστον). Στα μικρά ΥΗΕ δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα και οι διαθέσιμες υδρολογικές μετρήσεις στην εξεταζόμενη θέση, είναι συνήθως πολύ περιορισμένες. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί εν μέρει, όπως θα αναπτυχθεί στην συνέχεια, μέσω συσχετίσεων με γειτονικές λεκάνες απορροής, όπου υπάρχουν μετρήσεις ή με την εφαρμογή αριθμητικών υδρολογικών προσομοιώσεων, που συσχετίζουν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνί-

a/a	Υδατικό Διαμέρισμα	Επιφάνεια (Km <sup>2</sup> )	Θεωρητικό Υδροδ/κό (GWh/y)	Αναγν. Υδροδ/κό (GWh/y)	Τεχνικά Αξιοποίησιμο Υδροδ/κό (GWh/y)	Οικονομικά Αξιοποίησιμο Υδροδ/κό (GWh/y)
1	Δυτ. Πελοπόννησος	7771	7210	460,0	1670	1260
2	Β. Πελοπόννησος	6596	4290	325,7	755	557
3	Αν. Πελοπόννησος	8702	4300	32,2	570	417
4	Δυτ. Στερεά Ελλάδα	10420	14880	3860,5	5500	4200
5	Ηπειρος	10275	15642	2432,0	6250	4830
6	Αττική	3326	282	20,8	9	5
7	Αν. Στερεά Ελλάδα	11923	5090	128,0	551	390
8	Θεσσαλία	13148	6010	567,0	665	468
9	Δυτ. Μακεδονία	13404	10444	1967,1	2240	1670
10	Κεν. Μακεδονία	10388	2800		185	123
11	Αν. Μακεδονία	7342	2270	102,5	175	118
12	Θράκη	10894	6783	694,6	1489	1110
13	Κρήτη	8330	4600	81,6	610	446
14	Νήσοι Αιγαίου	9060	400	2,0	11	6
	ΣΥΝΟΛΟ	131.579	85001	10774,0	20680	15600

Πίνακας 2. Υδροδυναμικό των 14 υδατικών διαμερισμάτων της Ελλάδας.

01 Δυτική Πελοπόννησος	08 Θεσσαλία
02 Βόρεια Πελοπόννησος	09 Δυτική Μακεδονία
03 Ανατολική Πελοπόννησος	10 Κεντρική Μακεδονία
04 Δυτική Στερεά Ελλάδα	11 Ανατολ. Μακεδονία
05 Ηπειρος	12 Θράκη
06 Αττική	13 Κρήτη
07 Ανατ. Στερεά Ελλάδα	14 Νησιά Αιγαίου

σματα με τις διαθέσιμες μετρήσεις παροχών. Η αναμενόμενη ανακρίβεια στην διαμόρφωση της καμπύλης διάρκειας παροχής, έχει επιπτώσεις στην επιλογή του μεγέθους του υδροστροβίλου και για τον λόγο αυτό, είναι πλό φρόνιμο να επιλέγεται ένας μικρότερος ισχύος υδροστροβίλος, παρά ένας μεγαλύτερος που θα έχει ως αποτέλεσμα την διόγκωση του κόστους του έργου, χωρίς ενδεχόμενα σημαντική βελτίωση των εσόδων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον προβληματισμό, σχετικά με την επιλογή του μεγέθους του υδροστροβίλου, θα γίνει αναλυτική διερεύνηση στην συνέχεια.

Οι υδρολογικές μετρήσεις και εκτιμήσεις των αναμενόμενων πλημμυρικών επεισοδίων (μέγιστης πλημμυρικής παροχής και στάθμης), επηρεάζουν επίσης τα έργα προστασίας του ΥΗΣ και της υδροληψίας. Μία υποεκτίμηση της μέγιστης στάθμης των υδάτων, μπορεί να απλοποιήσει τα έργα προστασίας του ΥΗΣ και της υδροληψίας, όμως σε περίπτωση αστοχίας υπάρχει σοβαρός κίνδυνος για την ασφάλεια όλου του έργου. Θα πρέπει λοιπόν οι εκτιμήσεις αυτές να είναι ρεαλιστικές, χωρίς όμως να τίθεται σε αμφιβολία η προβλεπόμενη προστασία του έργου. Παρόμοια ισχύουν και για τις γεωλογικές και γεωστατικές μελέτες, η έκταση των οποίων επηρεάζει σημαντικά το συνολικό κόστος των μελετών, από την άλλη όμως πλευρά, μία αστοχία στις εκτιμήσεις, μπορεί να οδηγήσει σε αναθεώρηση της μελέτης εφαρμογής (περιπτώσεις κατολισθήσεων, ασταθών εδαφών κλπ) και σε υπέρβαση των προϋπολογισμών, κατά την φάση της κατασκευής.

Η μελέτη του μικρού ΥΗΕ, θα πρέπει να λάβει υπόψη την προσπέλαση κατά την φάση της κατασκευής και της λειτουργίας και αντίστοιχα έργα υποδομής, που θα απαιτηθούν, καθώς και την απόσταση των γραμμών μεταφοράς, μέχρι την σύνδεση στο δίκτυο (συνήθως μέσης τάσεως) της ΔΕΗ, το κόστος των οποίων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό ποσοστό του όλου έργου.

Το κόστος λειτουργίας των ΥΗΕ είναι μικρό και συνήθως το μεγάλο ποσοστό αντιστοιχεί στο κόστος προσωπικού λειτουργίας και συντήρησης.

Στα μικρά ΥΗΕ, το κόστος προσωπικού λειτουργίας, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί μέσω πλήρους αυτοματισμού της μονάδας (τηλεχειρισμός και τηλεσηματοδοσία). Οι δυνατότητες αυτές της σύγχρονης τεχνολογίας, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την εκπόνηση της μελέτης εφαρμογής.

Τέλος, τα μικρά ΥΗΕ, είναι δυνατόν να συνδυασθούν με άλλες διευθετήσεις ή εφαρμογές, όπως τα έργα άρδευσης (αξιοποίηση λιμνοδεξαμενών) ή ύδρευσης (όπως ο υδαταγωγός Μόρνου) και στην περίπτωση αυτή, τα έργα πολιτικού μηχανικού, προκύπτουν ακόμη περισσότερο περιορισμένα.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι οι φάσεις της μελέτης (αναγνωριστική μελέτη, προκαταρκτική μελέτη και μελέτη εφαρμογής), θα πρέπει να έχουν μία προοδευτική εμφάνιση με σωστές εκτιμήσεις, όπου χρειάζεται και επιπλέον, να ικανοποιούν μία λεπτή ισορροπία ανάμεσα σε δύο αντίθετες επιδιώξεις: την διατήρηση του κόστους κατά το δυνατόν σε χαμηλό επίπεδο και την σωστή διάταξη και διαστασιολόγηση των έργων, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η βέλτιστη αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας. Εάν διαταραχθεί αυτή η ισορροπία, ενδεχομένως να υπάρξει κίνδυνος στην ασφάλεια ή την αποδοτικότητα του έργου ή σημαντική υπέρβαση του



Σχήμα 1. Τα 14 υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας.

προϋπολογισμού.

Ένας άλλος παράγοντας σημαντικής απλοποίησης και μείωσης του κόστους ενός μικρού ΥΗΕ, αφορά τον βαθμό ασφαλείας των έργων, τις προδιαγραφές του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος (αν και στην περίπτωση διασυνδεδεμένου δικτύου, αυτές καθορίζονται από την εταιρεία διανομής, δηλ. την ΔΕΗ) και το πρόγραμμα εκμετάλλευσης του σταθμού. Οι παράγοντες αυτοί επιβαρύνουν σημαντικά το κόστος του συστήματος ρύθμισης και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό (αυτοματισμοί, συναγερμοί).

Θα πρέπει ακόμη να τονισθεί ότι στα μικρά ΥΗΕ, η μόνη τυποποίηση που υπάρχει αφορά τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και όχι την διαμόρφωση και διάταξη του έργου όπου

α/α	Υδατικό Διαμέρισμα	Επιφάνεια (Km <sup>2</sup> )	Υδροδ/κό (GWh/y)	Ποσοστό %	Πυκνότητα ενεργ. 10 <sup>3</sup> (GWh/y Km <sup>2</sup> )
1	Δυτ. Πελοπόννησος	7.771	125	7,9	16,00
2	Β. Πελοπόννησος	6.596	55	3,5	8,34
3	Αν. Πελοπόννησος	8.702	40	2,5	4,60
4	Δυτ. Στερεά Ελλάδα	10.420	420	26,6	40,31
5	Ηπειρος	10.275	485	30,7	47,20
6	Αττική	3.326	3	0,2	0,90
7	Αν. Στερεά Ελλάδα	11.923	40	2,5	3,35
8	Θεσσαλία	13.148	37	2,3	2,81
9	Δυτ. Μακεδονία	13.404	165	10,4	12,31
10	Κεν. Μακεδονία	10.388	15	0,9	1,44
11	Αν. Μακεδονία	7.342	40	2,5	5,44
12	Θράκη	10.894	95	6,0	8,72
13	Κρήτη	8.330	45	2,8	5,40
14	Νήσοι Αιγαίου	9.060	15	0,9	1,65
	ΣΥΝΟΛΟ	131.579	1.580	100	12,00

Πίνακας 3. Επιφάνεια και υδροδυναμικό μικρών ΥΗΕ εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 5 MW των υδατικών διαμερισμάτων της Ελλάδας.

η ποιότητα είναι μεγαλύτερη από ό,τι στην περίπτωση των μεγάλων ΥΗΕ. Για όλους τους προηγούμενους λόγους, τις διάφορες φάσεις της μελέτης των μικρών ΥΗΕ, πρέπει να αναλαμβάνει ομάδα μελετητών με σχετική εμπειρία.

Συμπερασματικά, κατά την μελέτη ενός μικρού ΥΗΕ, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι: "εφαρμόζεται κάτι που κρίνεται απαραίτητο", ενώ αντίθετα, σε ένα μεγάλο ΥΗΕ, επιδιώκεται και υποθετείται το καλύτερο δυνατόν.

#### 4. Ενεργειακή συνεισφορά των μικρών ΥΗΕ.

Στην παράγραφο αυτή, εξετάζεται η εκτιμώμενη ενεργειακή συνεισφορά, που θα ήταν δυνατόν να προκύψει από την αξιοποίηση των μικρών υδατοπτώσεων της Ελλάδας, καθώς και ο βαθμός ανάπτυξης και η συνεισφορά τους σε διάφορες άλλες χώρες. Θα πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι για την Ελλάδα δεν έχει γίνει ολοκληρωμένη μελέτη καταγραφής όλων των δυνατών θέσεων, όπου θα μπορούσε να λειτουργήσει ένα μικρό ΥΗΕ και οι θέσεις που έχουν ήδη καταγραφεί, δεν έχουν ακόμη όλες αξιολογηθεί οικονομοτεχνικά.

Το οικονομοτεχνικά εκμεταλλεύσιμο ετήσιο υδροδυναμικό της χώρας μας, εκτιμάται ότι είναι της τάξεως του 109 KWh/y. Το 1997, με εγκατεστημένη ισχύ των ΥΗΕ της τάξεως των 2730 MW, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, από το σύνολο των εγκατεστημένων ΥΗΕ, έφθασε τα 109

a/a	Χώρα	Εγκατεστημένη Ισχύς (KW)		Παραγόμενη ενέργεια (GWh/year)	
		P < 10 MW	P > 10 MW	P < 10 MW	P > 10 MW
1	Βέλγιο	49,7	63,0	155,2	158,0
2	Γαλλία	1.943,0	18.830,0	8.330,0	70.707,0
3	Γερμανία	1.351,0	2.959,0	6.947,5	12.651,8
4	Δανία	8,3	0,0	32,6	0,0
5	Ελλάδα	41,7	2.454,0	104,1	2.501,2
6	Λουξεμβούργο	27,4	0,0	86,1	0,0
7	Μ. Βρετανία	29,3	1.434,0	141,0	4.935,0
8	Ιρλανδία	28,8	200,0	87,0	742,0
9	Ισπανία	1.242,0	11.394,0	3.395,0	20.958,2
10	Ιταλία	1.956,0	10.908,0	8.817,0	35.847,0
11	Ολλανδία	37,0	0,0	100,0	0,0
12	Πορτογαλία	234,9	3.747,5	578,8	10.124,9
13	Σουηδία	320,0	0,0		
14	Φινλανδία	305,0	2.431,0	1.163,0	10.674,0

Πίνακας 4. Εγκατεστημένη ισχύς και παραγωγή ενέργειας από μικρές ΥΗΕ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

KWh/y, δηλαδή αξιοποιήθηκε το 19,3% περίπου, του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού.

Το ποσοστό συμμετοχής της υδροηλεκτρικής ενέργειας, στο σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας, ήταν της τάξεως του 10,4%, ενώ η εγκατεστημένη ισχύς των ΥΗΕ, ανήρχετο στο 27,7% της συνολικά εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων παραγωγής της ΔΕΗ. Από τα στοιχεία αυτά, προκύπτει ο χαρακτήρας των μεγάλων ΥΗΕ, τα οποία καλύπτουν κυρίως τις αιχμές ζήτησης του δικτύου της ΔΕΗ, έχοντας χαμηλή τιμή του συντελεστού φορτίου.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μορφολογία της Ελλάδας, ευνοεί τη δια-

μόρφωση ταμιευτήρων με υψηλή ρυθμιστική ικανότητα, ενώ αντίθετα, η έλλειψη μεγάλων ποταμών, με κατά το δυνατόν συνεχή και ομοιόμορφη παροχή, δεν επιτρέπει την κατασκευή μεγάλων ΥΗΕ βάσεων.

Για τους λόγους αυτούς, τα μεγάλα ΥΗΕ της χώρας μας, χρησιμοποιούν, κυρίως, για την κάλυψη των φορτίων αιχμής του δικτύου. Όμως, η ορεινή επιφανειακή διαμόρφωση της χώρας μας, ευνοεί τον σχηματισμό μικρών υδατοπτώσεων, με ευνοϊκά χαρακτηριστικά για οικονομική εκμετάλλευση, δηλ. μεγάλη διαθέσιμη υδραυλική πτώση.

Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ), που ήδη λειτουργούν στην Ελλάδα (1997), φαίνονται στον πίνακα 1 και ανήκουν όλοι στην ΔΕΗ, εκτός από τους ΥΗΣ του Βερμίου ΙΙ και ΙΙΙ, του Άγκιστρου και του Τσιβλίου, που ανήκουν σε Δημοτικές Επιχειρήσεις.

Από αυτούς, ο μικρός ΥΗΣ του Στράτου, συνδυάζεται με την άρδευση του κάμπου κατάντα του φράγματος του ΥΗΕ Στράτου, ενώ ο μικρός ΥΗΣ της Γκιώνας, εκμεταλλεύεται την παροχή του υδαταγωγού του Μόρνου στο άκρο της σήραγγας της Γκιώνας. Μεταξύ των μικρών ΥΗΕ που ήδη λειτουργούν στον ελληνικό χώρο, θα πρέπει να αναφερθούν και αυτοί διαφόρων Ι. Μονών του Αγίου Ορους (όπως Ι.Μ. Γρηγορίου, Διονυσίου, Σίμωνος Πέτρας κ.ά.) οι οποίοι εξυπηρετούν

Χώρα	Εγκ. Ισχύς (MW)
Αυστρία	193,0
Βουλγαρία	155,0
Βραζιλία	928,0
Γαλλία	3.000,0
Γερμανία	327,0
Γκαμπόν	160,0
Ελβετία	1.187,0
ΗΠΑ	4.198,0
Ιαπωνία	3.329,0
Ινδία	243,0
Ισπανία	1.200,0
Ιταλία	2.344,0
Καναδάς	897,0

Χώρα	Εγκ. ισχύς (MW)
Κίνα	15.055,0
Νορβηγία	1.048,0
Ουζμπεκιστάν	195,0
Πολωνία	250,0
Ρουμανία	401,0
Σερβία	443,0
Σουηδία	320,0
Τουρκία	152,0
Τσεχία	197,0
Φινλανδία	420,0

Πίνακας 5. Χώρες με εγκατεστημένη ισχύ μικρών ΥΗΕ, μεγαλύτερη των 150 MW.

αυτόνομα ηλεκτρικά δίκτυα και οι οποίοι είναι όλοι της κατηγορίας των micro και έχουν ισχύ από 10 ως 130 KW.

Η καταγραφή και αξιολόγηση όλων των μικρών υδατοπτώσεων της Ελλάδας και ο καθορισμός των θέσεων που προσφέρονται για υδροηλεκτρική αξιοποίηση, δεν έχει ολοκληρωθεί, παρά τις προσπάθειες που έγιναν κατά το παρελθόν (κυρίως από την ΔΕΗ) και άλλες που βρίσκονται σε εξέλιξη, λόγω του μεγάλου πλήθους των θέσεων και της έλλειψης συστηματικών υδρολογικών στοιχείων.

Η μόνη περιοχή της Ελλάδας, στην οποία έγινε συστηματική διερεύνηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού με οικονομοτεχνική αξιολόγηση όλων των θέσεων, είναι η Κρήτη. Αυτό έγινε δυνατόν, χάρη στις από 25ετίας, περίπου, συστηματικές μετρήσεις της παροχής όλων των εμφανειακών υδάτων.

Για τα υπόλοιπα 13 Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας, η εκτίμηση του υδροδυναμικού προκύπτει από θεωρητικούς υπολογισμούς, οι οποίοι βασίζονται:

- σε τοπογραφικούς χάρτες υπό κλίμακα 1:400.000,
- σε χάρτες των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων), που συντάσσει η ΔΕΗ, θεωρώντας ότι το 50% των κατακρημνισμάτων, διατηρείται στην επιφάνεια του εδάφους και άρα, θα είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί για υδροηλεκτρική παραγωγή,
- στα στοιχεία από την εκμετάλλευση των ήδη λειτουργούντων μικρών ΥΗΣ,
- σε διορθωτικούς συντελεστές από την αξιολόγηση της λειτουργίας μικρών ΥΗΕ στον Ευρωπαϊκό χώρο.

Στον πίνακα 2, δίδεται το συνολικό υδροδυναμικό των 14 υδατικών διαμερισμάτων της Ελλάδας (σχήμα 1), όπως αυτό εκτιμάται σύμφωνα με θεωρητικές και στατιστικές προσεγγίσεις.

Από τον πίνακα 1, προκύπτει ότι το ετήσιο οικονομοτεχνικά αξιοποιήσιμο υδροδυναμικό της Ελλάδας, είναι της τάξεως των 15.600 GWh. Από μελέτη της ΔΕΗ του 1975, είχε υπολογισθεί ότι το ετήσιο υδροδυναμικό των μεγάλων και μεσαίων μεγέθους υδατοπτώσεων, είναι της τάξεως των 13.000 GWh.

Το οικονομοτεχνικά αξιοποιήσιμο

υδροδυναμικό ισχύος μέχρι 10 MW, εκτιμάται ότι είναι της τάξεως των 2.000 GWh, εκ των οποίων οι 1.500 GWh περίπου, αντιστοιχούν σε έργα εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 5 MW. Η εκτίμηση της κατανομής του υδροδυναμικού εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 5 MW, δίδεται στον πίνακα 3 ανά υδατικό διαμέρισμα.

Όπως αναμενόταν, οι δυτικές περιοχές της χώρας είναι οι περισσότερες πλούσιες σε υδροδυναμικό, λόγω των περισσότερων υδατοπτώσεων και του πλέον έντονου ανάγλυφου.

Από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν, προκύπτει ότι υπάρχει σημαντικό περιθώριο ανάπτυξης μικρών ΥΗΕ στην Ελλάδα και ότι, παρά τις προσπάθειες της ΔΕΗ τα τελευταία χρόνια, ο ρυθμός κατασκευής τους δεν είναι ικανοποιητικός, όπως συνέβη εξάλλου και σε όλες τις χώρες στις οποίες η ανάπτυξη των μικρών ΥΗΕ ανετέθη αποκλειστικά στην εθνική επιχείρηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι η ΔΕΗ, όπως ίσχυε και στην Ελλάδα μέχρι το 1985.

Στον πίνακα 4, δίδεται το πλήθος και η ολική εγκατεστημένη ισχύς των μικρών ΥΗΕ, που λειτουργούν σε διάφορες χώρες. Για μερικές από τις χώρες αυτές χρήσιμο κρίνεται να γίνει ιδιαίτερη αναφορά.

Στον πίνακα 5, δίδονται οι χώρες με εγκατεστημένη ισχύ μικρών ΥΗΕ μεγαλύτερη των 150 MW (στοιχεία 1997)

Όπως προκύπτει από τους πίνακες 3 και 4, η Ελλάδα έχει αξιόλογο υδροδυναμικό μικρής ισχύος, με σημαντικά περιθώρια ανάπτυξης, αλλά πολύ μικρό βαθμό αξιοποίησης, σε αντίθεση με ορισμένες, Ευρωπαϊκές, κυρίως, χώρες, που λόγω παράδοσης και τεχνογνωσίας, έχουν επιτύχει υψηλό βαθμό αξιοποίησης του υδροδυναμικού τους.

### 5. Προοπτικές αξιοποίησης του υδροδυναμικού μικρής ισχύος.

Από τα προηγούμενα στοιχεία, γίνεται σαφές ότι η Ελλάδα, διαθέτει σημαντικό αναξιοποίητο υδροδυναμικό μικρής ισχύος, αν και δεν υπάρχει επίσημη και αξιόπιστη καταγραφή του. Όμως, η αξιοποίηση των θέσεων που έχουν ήδη εντοπισθεί και αξιολογηθεί, θα είναι αρκετή ώστε, να πάψει η χώρα

μας να είναι τελευταία στην Ευρώπη, από πλευράς βαθμού αξιοποίησης αυτής της ανανεώσιμης ενεργειακής πηγής.

Το νομοθετικό πλαίσιο που έχει διαμορφωθεί, κρίνεται ως ευνοϊκό, αν και ορισμένα σημεία, στα οποία θα γίνει αναφορά στην συνέχεια, εξακολουθούν να δρουν ανασταλτικά. Το ενδιαφέρον των επενδυτών, όπως διαμορφώνεται από τον αριθμό των αδειών που έχουν εκδοθεί για την κατασκευή μικρών ΥΗΕ, είναι σημαντικό, αν και προς το παρόν, σχεδόν κανένα νέο μικρό ΥΗΕ δεν βρίσκεται ακόμη στην φάση κατασκευής.

Τα σημεία του νομοθετικού πλαισίου που θεωρούνται ως ανασταλτικά για την αξιοποίηση των μικρών ΥΗΕ στην Ελλάδα, είναι:

- Η διαδικασία των αδειοδοτήσεων, η οποία κρίνεται ως ιδιαίτερα πολύπλοκη και χρονοβόρα.
- Ο όρος αξιοποίησης του 75% της συνολικής ποσότητας του νερού του υδατορεύματος, ο οποίος οδηγεί σε επιλογές μη αποδεκτές από πλευράς οικονομοτεχνικής. Το ποσοστό αυτό της αξιοποίησης της φυσικής απορροής, θεωρείται υψηλό, σε συνδυασμό με τον χαρακτήρα των υδατορευμάτων της Ελλάδας, τα οποία στην πλειονότητά τους παρουσιάζουν χερμαρικά χαρακτηριστικά.

- Η ενδεχόμενη μελλοντική διακύμανση της τιμής πώλησης της κλοβατώρας στο δίκτυο διανομής, η οποία μπορεί να θέσει σε αμφιβολία την οικονομική απόδοση της επένδυσης.

### 6. Συνεισφορά του Εργαστηρίου Υδροδυναμικών Μηχανών του ΕΜΠ.

Το Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών του ΕΜΠ, δραστηριοποιείται σε πολλούς τομείς, που σχετίζονται με την αξιοποίηση των μικρών υδατοπτώσεων. Συγκεκριμένα, για κάθε έναν τομέα της δραστηριότητάς του, αναφέρονται τα ακόλουθα:

*Αριθμητική προσομοίωση της ροής σε υδροδυναμικές μηχανές.*

Αναπτύχθηκαν κώδικες αριθμητικοί, επίλυσης της τριδιάστατης τυρβώδους ροής, μόνιμης και μη μόνιμης σε υδροδυναμικές μηχανές, όπως η ροή στον δρομέα μικτής, ακτινικής και αξονικής ροής, στο σπειροειδές κέλυφος, σε διακλαδώσεις, στον αγωγό



απαγωγής κλπ.

*Σχεδίαση μοντέλων υδροστροβίλων και πειραματική διερεύνηση των χαρακτηριστικών.*

Σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν μοντέλα υδροστροβίλων, όλων σχεδόν των τύπων, και τα οποία δοκιμάστηκαν πειραματικά.

Με τον τρόπο αυτό χαραχθήκαν οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας και έγινε δυνατή η σύγκριση με το σημείο σχεδίασης. Συγκεκριμένα και κατά χρονολογική σειρά, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν τα ακόλουθα μοντέλα:

- μοντέλο υδροστροβίλου Cross-Flow ισχύος 10 KW,
- μοντέλο υδροστροβίλου Francis απλής κατασκευής, ισχύος 5 KW,
- μοντέλο σωληνωτού υδροστροβίλου αξονικής ροής, ισχύος 75 KW,
- μοντέλο υδροστροβίλου Pelton δύο ακροφυσίων, ισχύος 75 KW (φωτογραφία 1), ενώ έχει σχεδόν ολοκληρωθεί η εγκατάσταση μοντέλου υδροστροβίλου Francis, ισχύος 60 KW. Επίσης δοκιμάστηκαν 7 τυποποιημένες φυγόκεντρες αντλίες, σε αντίστροφη λειτουργία, ως υδροστροβίλων.

Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, εκτός από τα ολικά λειτουργικά χαρακτηριστικά, έγιναν συστηματικές μετρήσεις του πεδίου ταχυτήτων και στατικών πιέσεων, εφαρμόζοντας σύγχρονες μετρητικές τεχνικές.

Η εμπειρία που αποκτήθηκε από την σχεδίαση, κατασκευή και τις δοκιμές των μοντέλων αυτών, είναι σημαντική, όμως κανένας φορέας δεν ενδιαφέρθηκε για την τεχνολογία που αποκτήθηκε, εκτός από την περίπτωση μικρού υδροστροβίλου Pelton, ισχύος 80 KW, ο οποίος εγκαταστάθηκε και λειτουργεί στο Άγιον Όρος. Η εξήγηση βρίσκεται στο ότι ο εξοπλισμός αυτός, θεωρείται ήδη, τεχνολογικά ώριμος και έχει τυποποιηθεί από μεγάλες ξένες κατασκευαστικές εταιρείες με μακρόχρονη εμπειρία.

*Ανάπτυξη κωδίκων για την προσομοίωση των μεταβατικών καταστάσεων.*

Συγκεκριμένα, πρόκειται για κώδικες H/Y, μέσω των οποίων αναλύεται το φαινόμενο του υδραυλικού πλήγματος σε υδροδυναμικές εγκαταστάσεις.

Οι κώδικες αυτοί, ήδη έχουν εφαρμοσθεί για την ανάλυση των μεταβατικών φαινομένων και την διαστασιολόγηση των πύργων ανάπαυσης σε 4 μεγά-

λα ΥΗΕ της ΔΕΗ, καθώς και στο μικρό ΥΗΕ Τοιβλού, το οποίο ήδη λειτουργεί.

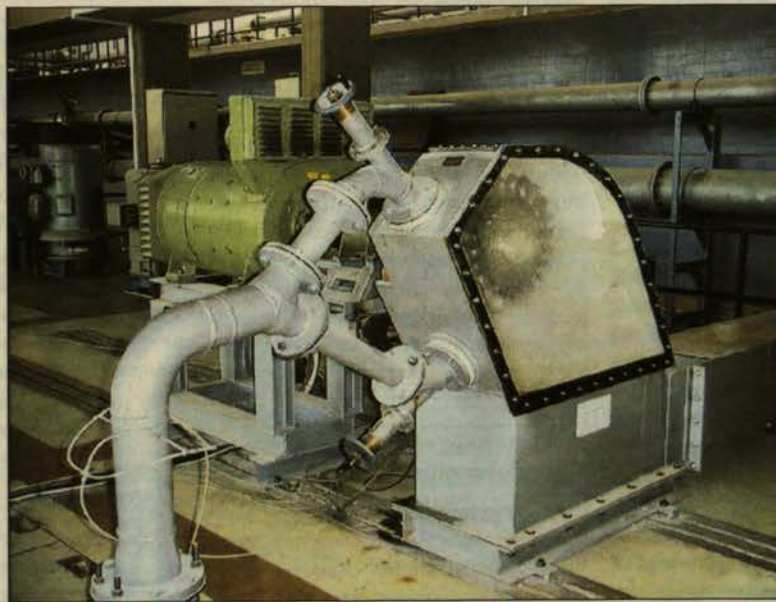
*Ανάπτυξη κωδίκων για την οικονομοτεχνική βελτιστοποίηση μικρών ΥΗΕ.*

Πρόκειται για κώδικες ΥΗΕ οι οποίοι αξιοποιούν την καμπύλη διάρκειας της παροχής δεδομένης θέσης. Το ζητούμενο είναι η επιλογή του μεγέθους και του πλήθους των υδροστροβίλων, άρα της εγκατεστημένης ισχύος, ώστε να επιτευχθεί ο οικονομοτεχνικά βέλτιστος συνδυασμός.

Ο κώδικας αυτός, ήδη έχει εφαρμοσθεί στην φάση της προμελέτης αρκετών μικρών ΥΗΕ, καθώς και του μικρού ΥΗΕ Τοιβλού.

Σε συνεργασία με το ΚΑΠΕ, διαμορφώθηκε νέος κώδικας, στον οποίο ενσωματώθηκε ο προηγούμενος, μέσω του οποίου γίνεται δυνατή η ανάλυση σε μία ολόκληρη λεκάνη απορροής, έτσι ώστε, να επιλεγούν οι βέλτιστες θέσεις, όσον αφορά την υδροηλεκτρική αξιοποίηση.

Στον κώδικα αυτό, τα γεωγραφικά στοιχεία της λεκάνης, εισάγονται με ψηφιακή μορφή. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του κώδικα σε 3 λεκάνες απορροής, ήταν πολύ ικανοποιητικά.



*Φωτογραφία 1 Μοντέλο υδροστροβίλου Pelton Εργαστηρίου Υδροδυναμικών Μηχανών.*