

Μικροϋδροηλεκτρικά “Ανάλεκτα” του Ελληνικού Χώρου

Β. Στεργιόπουλος, Α. Στεργιοπούλου

*Α.Σ.ΠΑΙ.Τ.Ε.- Ανωτάτη Σχολή Παιδαγωγικής και Τεχνολογικής Εκπαίδευσης,
Ν. Ηράκλειο 14121 Αθήνα, e-mail: stergiob1@yahoo.com*

Περίληψη

Στο παρόν άρθρο παρατίθενται μια σειρά αναλέκτων γύρω από το σημαντικό αλλά αναξιοποίητο δυναμικό των μικρών υδατοπτώσεων, γύρω από τις ανακολουθίες της εξέλιξης της υδροκίνησης του ελληνικού χώρου, το επί μισό αιώνα κινήγι των μικρών υδροηλεκτρικών αλλά και την πανηγυρική επάνοδό τους τα τελευταία χρόνια με ένα νέο θεσμικό πλαίσιο. Παρατίθενται στοιχεία για μια στρατηγική ανάπτυξης ενός πλέγματος μικρών έργων σε θέσεις με σημαντικές μικρές υδατοπτώσεις, αλλά και μιας σειράς έργων πολλαπλής σκοπιμότητας σε δίκτυα νερού που θα υποκαθιστούν τα έργα καταστροφής ενέργειας και θα ανακτούν παραγωγικά την χαμένη σ’ αυτά υδραυλική ενέργεια. Στο άρθρο γίνεται και μια προκαταρκτική ανάλυση πρόβλεψης των επιδόσεων του υδροστροβιλοτροχού με τρία δρόντα ταχυρεύματα, που θα μπορούσε να υιοθετηθεί για ανάκτηση της κινητικής ενέργειας των ποταμών αλλά και των θαλασσιών ρευμάτων και της παλίρροιας.

“Analectes” de la Petite Hydraulique Grecque

V. Stergiopoulos, A. Stergiopoulou

*ASPETE, Ecole Supérieure de l’Education Pédagogique et Technologique
N.Heraklio, 14121 Athènes, Grèce, E-mail: stergiob1@yahoo.com*

Abstract

Dans cet article on présente une série d’analectes, sur le potential important et non exploité de petites chutes hydrauliques de la Grèce, sur les incohérences de l’évolution de la houille blanche de l’espace Grecque, la chasse de petites centrales pendant un demi siècle et la réapparition récente de la petite hydraulique dans un nouveau cadre legal, et sur une stratégie de développement d’une série de petites centrales dans des courants d’eau avec d’importantes chutes d’eau, et d’une série d’aménagement hydroélectriques à but multiples sur les réseaux d’eau, restituant les dissipateurs d’énergie et récupérant l’énergie perdue. On présente aussi une analyse préliminaire d’un dispositif non conventionnel, d’une roue hydraulique à axe horizontale, à quatre pales et à trois jets d’eau, qui pourrait être utilisée pour la récupération de l’énergie cinétique des rivières, des courants de la mer et de la marée.

1. Εισαγωγή

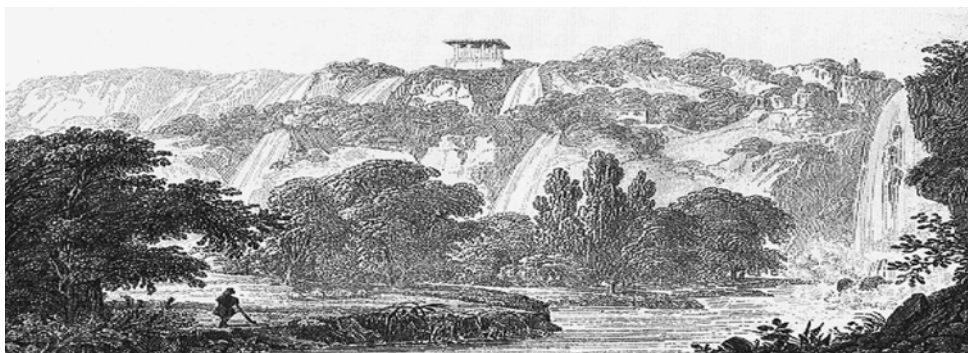
Η ανανεώσιμη υδραυλική ενέργεια του νερού, είτε ως “λευκός άνθραξ” κατά τον Aristide Berges (Pacoret, 1919), είτε ως “λευκός χρυσός” στην σημερινή εποχή της απόλυτης κυριαρχίας του “μαύρου χρυσού”, συνέβαλε και συμβάλλει τα μέγιστα στην προσπάθεια υπέρβασης των αναπτυξιακών αδιεξόδων των ανθρωπίνων κοινωνιών, στηρίζοντας επιτυχώς την βιομηχανική επανάσταση και δημιουργώντας τους πρώτους αξιόπιστους αστικούς, εργασιακούς και πολιτιστικούς πυρήνες κυρίως στις πόλεις των νερών, ή συνιστώντας την πλέον σημαντική εναλλακτική μορφή ενέργειας στην σημερινή απόλυτη κυριαρχία του πετρελαίου. Οι απαρχές των μικρών υδροηλεκτρικών χάνονται στο βάθος του χρόνου. Αφθονούν οι σχετικές με τους υδραυλικούς τροχούς και τους υδρομύλους περιγραφές από αρχαίους συγγραφείς, ακόμη και από ιησουίτες και βουδιστές μοναχούς. Οι πρώτες σχετικές περιγραφές που αφορούν σε συστήματα μετάδοσης κίνησης αποδίδονται στον Αριστοτέλη (Stergiopoulos, 1991). Το διαθέσιμο απόθεμα τεχνολογικής γνώσης των Ελληνιστικών χρόνων σε προβλήματα μετάδοσης κίνησης σε οδοντωτούς τροχούς συνέβαλε σημαντικά στη διαμόρφωση της τεχνικής των υδραυλικών τροχών και ανάγει την προέλευσή του κυρίως στον Ηρώνα τον Αλεξανδρέα. Στα κλασικά έργα του υπάρχουν περιγραφές σειράς υδραυλικών διατάξεων πέραν του γνωστού αεριοστροβίλου. Ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι ξανακαλύπτει αιώνες αργότερα πολλές από τις περιγραφές του Ηρώνα. Επί σειρά αιώνων οι μικρές και μεγάλες υδατοπτώσεις, με την μορφή της μηχανικής ενέργειας αποτελούσαν για όλους τους πολιτισμούς την κινητήρια δύναμη για την κίνηση υδροτροχών οριζοντίου και κατακορύφου άξονα με σκοπό κυρίως την άλεση δημητριακών. Ακόμη και σήμερα σε ολόκληρη την χώρα αρκετά υδροτριβεία, δριστελέες, μπατάνια, πριονιστήρια ξυλείας, υδροτροχοί, νερόμυλοι, κλωστοϋφαντουργεία και άλλοι μηχανισμοί υδροκίνησης, συνεχίζουν να χρησιμοποιούν τη δύναμη του νερού για την παραγωγή μηχανικού έργου, ενώ παράλληλα τα σύγχρονα μικρά και μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα καλούνται επιτακτικά σε απόλυτη συμβατότητα τόσο με τις περιβαλλοντικές επιταγές όσο και με άλλες υδατικές χρήσεις να συμβάλουν τα μέγιστα στην κάλυψη των ιδιαίτερα αυξημένων επιπέδων αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια και να αμβλύνουν τις θερμοπλανητικές και γεωοικονομικές επιπτώσεις της χρήσης των υγρών καυσίμων (Stergiopoulos, 1991).

Η Ελλάδα παρουσιάζει σήμερα μια σημαντική υστέρηση στον τομέα των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων και δυστυχώς ακολουθεί τις διεθνείς τάσεις με μεγάλη χρονική διαφορά φάσης. Η υστέρηση αυτή κρίνεται εντελώς αδικαιολόγητη ιδίως εάν ληφθούν υπόψη τα σημαντικά υδροενεργειακά προσόντα της Ελλάδας και ο αναλογών συντελεστής ειδικής απορροής ανά κάτοικο, ο οποίος είναι ο καλύτερος των υπολοίπων Μεσογειακών χωρών - μελών του Ο.Ο.Σ.Α. Την απαρχή της ενεργειακής επανόδου των Μικρών Υδροηλεκτρικών στη χώρα, μετά τις διώξεις που αυτά υπέ-

στησαν κατά την εποχή ίδρυσης της ΔΕΗ, απετέλεσε ο Νόμος 1559/1985, με την ΔΕΗ σε ρόλο κυριάρχου του παιχνιδιού και τους Ο.Τ.Α. να αποκτούν κάποιες δυνατότητες. Τον θεμέλιο λίθο για την ουσιαστική ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών έβαλε ο Ν. 2244/1994, που αντικατέστησε τον Ν. 1559/1985, με βάση τον οποίο εισήχθη, υπό αρκετά περιοριστικές προϋποθέσεις η έννοια του ανεξάρτητου παραγωγού, παρότι η ΔΕΗ διατήρησε το αποκλειστικό δικαίωμα παραγωγής και διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας, και καθορίστηκε το σύστημα τιμολόγησης της παραγόμενης ενέργειας καθώς και η διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας μικρών υδροηλεκτρικών, με ανώτατο επιτρεπόμενο όριο ισχύος, για ιδιωτικούς σταθμούς τα 5 MW. Η ιδρυτική πράξη της σύγχρονης εθνικής αγοράς ενέργειας και η επάνοδος του ιδιωτικού τομέα στους τομείς της παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας έγινε με τον Ν 2773/1999, με τον οποίο συστήθηκε η ΡΑΕ ως ανεξάρτητη αρχή, ιδρύθηκε ο ΔΕΣΜΗΕ, ενώ η ΔΕΗ, που μετετράπη σε Ανώνυμη Εταιρεία, έπαψε πλέον να είναι ο κυριάρχος του ενεργειακού συστήματος. Θεσπίστηκε το πλαίσιο οργάνωσης και λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, σύμφωνα με την Οδηγία 96/92 ΕΚ, διατηρήθηκε η τιμολογιακή φιλοσοφία του Ν 2244/1994 για τα Μ/Υ και επεβλήθη ανταποδοτικό τέλος 2 % επί των πωλήσεων παραγόμενης από ΑΠΕ ενέργειας υπέρ των οικείων ΟΤΑ. Ο Ν. 2941/2001 αντιμετώπισε αποτελεσματικά το θέμα εγκατάστασης συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε δασικές εκτάσεις θεωρώντας στο εξής τα Μ/Υ ως έργα υποδομής δημοσίου συμφέροντος και ωφέλειας. Με τον Ν. 3468/2006 θεσπίζονται στο εξής οι αρχές λειτουργίας του αδειοδοτικού συστήματος, καθορίζονται οι τιμές αγοράς της παραγόμενης από ΜWh, καθοριζόμενη στα 73 €/MWh για το διασυνδεδεμένο διάστημα. Ο καθ' ύλην αρμόδιος φορέας της ελληνικού κράτους για το σχεδιασμό και άσκηση της ενεργειακής πολιτικής και την τήρηση των εθνικών δεσμεύσεων είναι το Υπουργείο Ανάπτυξης. Η ΡΑΕ διατυπώνει γνωμοδοτήσεις προς τον Υπουργό Ανάπτυξης για την αδειοδότηση εγκαταστάσεων μονάδων ΑΠΕ και μετά την έκδοση των αδειών παρακολουθεί την πορεία υλοποίησης των έργων. Οι διαδικασίες για την έκδοση άδειας παραγωγής καθορίζονται από τις διατάξεις του Ν. 3468/2006 και τον «Κανονισμό Αδειών Παραγωγής και Προμήθειας Ηλεκτρικής Ενέργειας» της ΡΑΕ. Οι κύριες διαδικασίες για την έκδοση άδειας εγκατάστασης καθορίζονται από τις διατάξεις του Ν 3468/2000 και την ΥΑ 2000/2002, καθώς και από την ΚΥΑ 104247/2006 για την περιβαλλοντική αδειοδότηση. Αρμόδιος για την έκδοση άδειας εγκατάστασης είναι ο Γενικός Γραμματέας της οικείας περιφέρειας. Δυστυχώς όμως οι μέχρι σήμερα τροποποιήσεις της νομοθεσίας δυστυχώς συνοδεύτηκαν από μια υπέρμετρη γραφειοκρατία με τόσο χρονοβόρους μηχανισμούς που αδρανοποιούν κάθε φιλοδοξία κάλυψης του τεραστίου ελλείμματος μικροϋδροηλεκτρικής και ενεργειακής ωστικής δύναμης (Στεργιοπούλου, 2007).

2. Ανάλεκτα του μικροϋδροηλεκτρικού παρελθόντος

Το Ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα ήταν και παραμένει υδροθερμικό, βασισμένο κυρίως στο λιγνίτη και στους μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς στον ηπειρωτικό. Σήμερα, που το μονοπώλιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν υφίσταται πλέον, που η γεωπολιτική της ενέργειας αποτελεί όπλο και συγχρόνως την αχίλλειο πτέρνα της ανάπτυξης, με την έκρηξη των τιμών των υγρών καυσίμων να ναρκοθετεί κάθε σχεδιασμό, επιβάλλεται η άμεση υλοποίηση πλέγματος σειράς μικρών υδροηλεκτρικών και άλλων ενεργειακών έργων σε ολόκληρη τη χώρα. Εκατοντάδες σύγχρονα μικρά υδροηλεκτρικά έργα θα μπορούσαν να εγκατασταθούν σε μικρά και μεγάλα υδατορεύματα (Σχ.1.) όλων των γεωγραφικών διαμερισμάτων της χώρας, και να συμβάλουν τα μέγιστα στην βελτίωση του ελληνικού ενεργειακού ισοζυγίου και στην ανόρθωση της ελληνικής οικονομίας, σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Τα τελευταία 17 χρόνια διάφορες μελέτες αποδεικνύουν το εφικτό της δυνατότητας εγκατάστασης εκατοντάδων Μικρών Υδροηλεκτρικών σε μικρά ή μεγάλα υδατορεύματα. (Stergiopoulos, 1991), (Stergiopoulos, Stergiopoulou, 2007, 2008).



Σχήμα.1. Υδατοπτώσεις στις Πόλεις των Νερών

Σήμερα, στην εποχή της αναγέννησης των μικρών υδροηλεκτρικών έργων, υπογραμμίζεται ότι σε ολόκληρη τη χώρα, από την Κρήτη, την Πελοπόννησο, την Στερεά, έως την Ήπειρο και την Μακεδονία, υπάρχουν άγνωστες, στους πολλούς, διάσπαρτες παλιές μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα της Κρήτης, του Ταυγέτου, της αρκτικής Πελοποννήσου, της Φθιώτιδας, του Πηλίου, του Ολύμπου, των Σερρών, του Βερμίου αλλά και των μοναστηριών της μοναστικής πολιτείας του Άθω, αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αρκετών σκαπανέων της υδροκίνησης.

Μια πλειάδα από υδροκίνητες εγκαταστάσεις με κυριότερες αυτών των Χατζηγι-

κολάκη με $\Delta H=7$ m και ισχύ $P=90$ KW, Μάρκου με $\Delta H=7.5$ m και $P=60$ KW, της Βέρμιον Α.Ε. με $\Delta H=110$ m και ισχύ $P=1800$ KW, αξιοποιούσαν το υδροδυναμικό του Τριποτάμου στη Βέροια.

Το μικρό υδροηλεκτρικό έργο της Βέρμιον Α.Ε. κατασκευασμένο το 1926 συνεχίζει να λειτουργεί έως σήμερα, υπό την κυριότητα της ΔΕΗ. Στην Αραπίτσα της Νάουσας πληθώρα υδροκίνητων μονάδων παρήγαγαν ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτώντας τις σημαντικές νηματοουργικές εγκαταστάσεις τους, οι πλέον σημαντικές των οποίων ήταν αυτές των Λαναρά-Κίρτση με $\Delta H=60$ m και $P=260$ KW, Γκούτα-Καράτζα $\Delta H=57$ m, $P=300$ KW, Τσίτση και Σία $\Delta H=16$ m και $P=60$ KW, Ερια $\Delta H=17$ m, $P=300$ KW, Αφοί Μπίλλη $\Delta H=11$ m, $P=15$ KW, Μπίλη-Τσίτση και Σία $\Delta H=30$ m, $P=110$ KW, Λόγγου-Τουρμπάλη $\Delta H=40$ m, $P=420$ KW, Τουρμπάλη-Κόκκινο $\Delta H=65$ m, $P=220$ KW.

Μια σειρά από άλλα ιδιωτικά μικρά υδροηλεκτρικά έργα, όπως αυτά της Πύλου, του Καστορίου, του Λιτοχώρου, του Γοργοποτάμου, των Λεχωνίων, της Ι.Μ. Βελά, της Βέροιας, της Νάουσας και της Έδεσσας εξαγοράστηκαν από την νεότευκτη τότε ΔΕΗ και οδηγήθηκαν σε μαρασμό, ενώ άλλα ενσωματώθηκαν και συνεχίζουν να λειτουργούν ακόμη και σήμερα, όπως αυτό της οικογένειας Νάσιουζικ στις Σέρρες.

Τότε αρκετοί από τους βιομηχάνους της Νάουσας και της Έδεσσας όπως οι Βαραβαρέσος, Λαναράς, Μπίλης, Τσίτσης, και οι Γάλλοι συνιδιοκτήτες του εργοστασίου Πέλλα αντιστάθηκαν στο κινήγι της ΔΕΗ και συνέχισαν την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τα μικρά υδροηλεκτρικά τους ως ιδιοπαραγωγοί πλέον και για την κάλυψη της δικής τους μόνον ηλεκτρικής ζήτησης (Stergiopoulos and Stergiopoulou, 2007, 2008).

Η σημερινή οξύτατη ενεργειακή πραγματικότητα και τα σύγχρονα δεδομένα του εκκρηκτικού γεωστρατηγικού παιχνιδιού των υγρών καυσίμων επιβάλλουν την επαναξιοποίηση όλων των παλαιών θέσεων και των παλαιών μικρών υδροηλεκτρικών έργων, αλλά και την συστηματική υλοποίηση ενός πυκνού πλέγματος συμβατικών και μη συμβατικών μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών σε όλα τα φυσικά ρέματα της χώρας και σε όλα τα υφιστάμενα υδραυλικά δίκτυα.

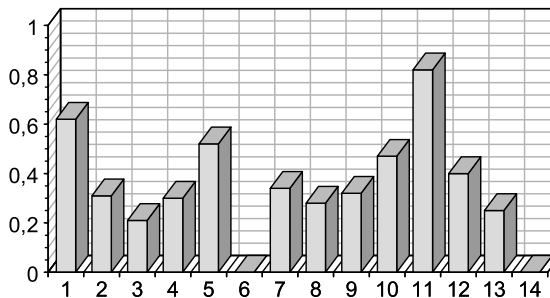
3. Ανάλекτα του υδροδυναμικού της χώρας

Υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες σχετικά με το πραγματικά σημαντικό αναξιοποίητο μικρουδροηλεκτρικό δυναμικό της χώρας, τις αναξιοποίητες μικρές ή μεγάλες υδατοπτώσεις (σχ.2), που οφείλονται κυρίως στην άγνοια των πραγματικών τοπογραφικών δεδομένων των πλέον σημαντικών θέσεων, στα φυσικά προσόντα της υδραυλικής ενέργειας των υδατορρευμάτων της περιοχής και στην πλημμελή γνώση της συμπεριφοράς τους λόγω της έλλειψης αξιόπιστων στοιχείων.



Σχήμα 2. Μια από τις αναξιοποίητες μικροϋδατοπτώσεις του Ελληνικού χώρου.

Διάφορες μελέτες αποδεικνύουν το εφικτόν της δυνατότητας εγκατάστασης εκατοντάδων Μικρών Υδροηλεκτρικών σε μικρά ή μεγάλα υδατορρέυματα (Stergiourios, 1991, 2007, 2008). Σε μια συνολικά εξετασθείσα έκταση περίπου των 35% της συνολικής έκτασης των 131.913 Km² της χώρας, τα ανά υδατικό διαμέρισμα [1: Δ. Πελοπόννησος, 2: Β. Πελοπόννησος, 3: Α. Πελοπόννησος, 4: Δ. Στ. Ελλάδα, 5: Ήπειρος, 6: Αττική, 7: Αν. Στ. Ελλάδα, 8: Θεσσαλία, 9: Δ. Μακεδονία, 10: Κ. Μακεδονία, 11: Α. Μακεδονία, 12: Θράκη, 13: Κρήτη, 14: Νήσοι Αιγαίου] αντίστοιχα εξετασθέντα εδαφικά ποσοστά που παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα, το συνολικό αποτιμηθέν από τις μελέτες αυτές θεωρητικό υδροδυναμικό της χώρας είναι της τάξεως περίπου των 30 TWh/έτος.



Σχήμα 3. Ποσοστά των εξετασθέντων εκτάσεων ανά υδατικό διαμέρισμα.

Η αντιστοιχούσα προς εγκατάσταση θεωρητική μικροϋδροηλεκτρική ισχύς είναι της τάξης περίπου των 3.412 MW. Εκτιμήσεις για τις μέσες τιμές της “ειδικής μικροϋδροηλεκτρικής ισχύος” και της “ειδικής πυκνότητας μικροϋδροηλεκτρικού δυναμικού” της χώρας δίνουν τιμές ίσες με 74.3 KW/Km² και 0.651 GWh/Km² αντίστοιχα. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η ανά γεωγραφικό διαμέρισμα κατανομή του εκτιμηθέντος μικροϋδροηλεκτρικού δυναμικού (σε GWh). Οι εκτιμήσεις αυτές υποεκτιμούν μεν αισθητά τις δυνατότητες του Μακεδονικού και Θρακικού χώρου αλλά ταυτόχρονα υποδεικνύουν την αισθητή υπεροχή συγκεκριμένων περιοχών έναντι των άλλων διαμερισμάτων της χώρας από πλευράς αδέσμευτου υδροδυναμικού, με την παρουσία των κεντρικών ορεινών όγκων της οροσειράς της Πίνδου να κυριαρχεί στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και στις δυνατότητες για εγκατάσταση Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων. Με βάση τις ως άνω αποτιμήσεις στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου αντιστοιχεί περίπου το 38 % του συνολικού θεωρητικού υδροδυναμικού της χώρας. Τονίζεται ότι στο συγκεκριμένο υδατικό διμερίσμα υπάρχουν πολυάριθμες θέσεις για πιθανή εγκατάσταση Μικρών Υδροηλεκτρικών μιας συνολικής ισχύος περίπου 1.300 MW. Από πλευράς εξοικονόμησης ενέργειας, σε ισοδύναμους τόνους πετρελαίου T.O.E. και άνθρακα T.C.E., το αδέσμευτο και αναξιοποίητο Μικροϋδροηλεκτρικό Δυναμικό της Ελλάδος, είναι αντίστοιχα της τάξης των 2.57×10^6 T.O.E. και 5.14×10^6 T.C.E. αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΥΠ.ΑΝ. για το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργεια καλύπτεται από τα 15 λειτουργούντα μεγάλα υδροηλεκτρικά που συνεισφέρουν ποσοστό 75 % της συνολικής ισχύος περίπου 3 GW και μιας μέσης ετήσιας παραγωγικής ικανότητας 4160 GWh. Κατά τη διάρκεια του 2005, μόλις το 12,2 % των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια καλύφθηκε από ανανεώσιμες πηγές. Σημειώτεον ότι εκτός των μεγάλων υδροηλεκτρικών υπάρχουν εγκατεστημένες μονάδες ΑΠΕ συνολικής ισχύος 747 MW, εκ των οποίων το 13,6 % αφορά τα μικρά υδροηλεκτρικά, το 77,4 % αφορά αιολικά πάρκα και 9,0 % τις υπόλοιπες τεχνολογίες ΑΠΕ. Ένας στόχος του επιπέδου των 3.325 MW για τα μεγάλα υδροηλεκτρικά κρίνεται ρεαλιστικός καθώς αναμένεται από την ΔΕΗ έως το 2010 να τεθούν σε λειτουργία έξι μεγάλα υδροηλεκτρικά συνολικής ισχύος 622,1 MW. Κατά τις εκτιμήσεις του ΥΠ.ΑΝ. μια εγκατεστημένη ισχύς M/Y που θα υπερβεί τα 364 MW το 2010 είναι ένας στόχος που κρίνεται απόλυτα ρεαλιστικός. Σε όρους εγκατεστημένης ισχύος μικρών υδροηλεκτρικών, οι περιφέρειες της Κεντρικής Μακεδονίας, Στερεάς Ελλάδας και Ηπείρου μαζί με την περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας συγκεντρώνουν το 91 % του συνόλου, καθώς η μέση ισχύς των έργων αυτών είναι μεγαλύτερη λόγω του σημαντικού διαθέσιμου υδροενεργειακού δυναμικού. Καθώς το επενδυτικό ενδιαφέρον για τα μικρά υδροηλεκτρικά έχει γίνει ιδιαίτερα έντονο τα τελευταία χρόνια, η αναζήτηση για νέες τοποθεσίες έχει στραφεί όχι μόνο στις πλέον ευνοϊκές προς αξιο-

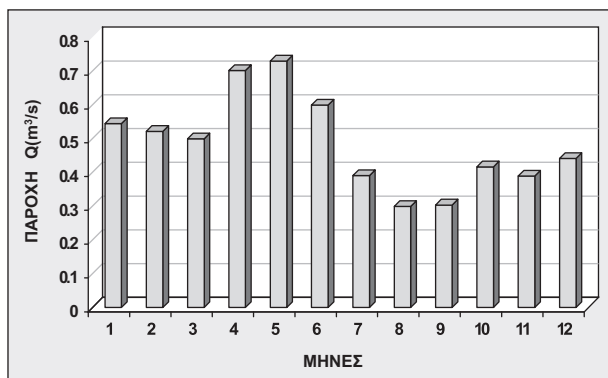
ποίηση μικροϋδατοπτώσεις αλλά και προς τις λιγότερο προνομιούχες περιοχές, κυρίως στη Θεσσαλία, στη Δυτική Μακεδονία και στην Πελοπόννησο.

4. Αναζητώντας μια μικροϋδροηλεκτρική στρατηγική

Ενα προτεινόμενο σενάριο μικροϋδροηλεκτρικής στρατηγικής και ανάπτυξης συμβατό με τις απαιτήσεις μιας ρεαλιστικής και “αιφόρου μικροϋδροηλεκτρικής ανάπτυξης” της χώρας, θα μπορούσε να βασιστεί σε ένα τεχνικοοικονομικά εκμεταλλεύσιμο μικροϋδροηλεκτρικό δυναμικό της χώρας της τάξης των 6.000 GWh, 30 % περίπου του συνολικού αποτιμηθέντος θεωρητικού υδροδυναμικού των 30 TWh/έτος, με μια αντίστοιχη τιμή της προς εγκατάσταση ισχύος περίπου 800 MW, κάνοντας έναν χωροταξικό επιμερισμό του Ελλαδικού χώρου σε λειτουργικές υδρο-ενότητες. Ένα καλά συγκροτημένο και συνεκτικό σχέδιο ανάπτυξης με συγκεκριμένες χωροταξικές επιλογές και προτεραιότητες, θα μπορούσε να υλοποιηθεί σε χρονικό ορίζοντα μέχρι το 2020 αξιοποιώντας τις πραγματικές δυνατότητες του ελληνικού χώρου, εφαρμόζοντας την οδηγία 2000/60 και θεωρώντας τις λεκάνες απορροής ποταμού (ΛΑΠ) ως τις φυσικές μονάδες διαχείρισης των επιφανειακών υδατικών πόρων και τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα πολλαπλού σκοπού να συνιστούν την βασικότερη τεχνολογία αιφορικής αξιοποίησης των υδατικών ανανεώσιμων διαθεσίμων για παραγωγή ενέργειας και για ταυτόχρονη κάλυψη όλων των υδατικών αναγκών. Μια απλή διερεύνηση μιας ρεαλιστικής πιθανής χωροταξικής κατανομής της δυναμμένης να εγκατασταθεί τεχνικοοικονομικής μικροϋδροηλεκτρικής ισχύος σύμφωνα με συντηρητικά σενάρια υλοποίησης ενός προγράμματος στρατηγικής και ανάπτυξης μικρών υδροηλεκτρικών πολλαπλής σκοπιμότητας για όλη τη χώρα, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι σημαντικές δυνατότητες κάποιων νησιών για υδροηλεκτρική ανάπτυξη (Σαμοθράκη, Θάσος, Κεφαλληνία) ούτε οι δυνατότητες υβριδικών λύσεων σε νησιωτικές (Ικαρία, Αμοργός) και παράκτιες περιοχές, δίνει την μεγαλύτερη συγκέντρωση μικροϋδροηλεκτρικού δυναμικού κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα (Ηπειρος, Μακεδονία, Θράκη), με περίπου 59,5% του συνολικού μικροϋδροηλεκτρικού δυναμικού της χώρας. Στην περίπτωση ενός συνεπούς σχεδίου μικροϋδροηλεκτρικής ανάπτυξης της χώρας, με μακροπρόθεσμο στόχο την εγκατάσταση μικρών υδροηλεκτρικών συνολικής ισχύος 800 MW, οι περιοχές της Βορείου Ελλάδος μπορούν να έχουν μια μικροϋδροηλεκτρική ισχύ της τάξης περίπου των 476 MW. Αυτό δεν σημαίνει ότι τα άλλα υδατικά διαμερίσματα δεν παρουσιάζουν σημαντικό αναπτυξιακό ενδιαφέρον. Μερικές χαρακτηριστικές χωροταξικές πληροφορίες σχετικά με μια συντηρητικά τεχνικοοικονομικά εφικτή για εγκατάσταση και εκμετάλλευση μικροϋδροηλεκτρική ισχύ θα μπορούσε να φθάσει στη Βόρεια Ελλάδα τα επίπεδα των 476 MW, στην Δυτ. Ελλάδα τα 128 MW, στην Πελοπόννησο τα 120 MW, στη Θεσσαλία τα 56 MW, στη Στερεά Ελλάδα

τα 16 MW, στην Κρήτη τουλάχιστον 4 MW.

Ένα παράδειγμα σύγχρονου μικρού υδροηλεκτρικού έργου αρκετά μικρής κλίμακας, ισχύος 150 KW, αναφέρεται στο έργο που έχει υλοποιηθεί στη θέση Κυρασλί στον Τριπόταμο, στα ανάντη της Βέροιας και του παλιού Μ/Υ της Βέρμιον Α.Ε. Ένα άλλο Μ/Υ μεγαλύτερης κλίμακας ισχύος, 1320 KW, υλοποιείται στα κατάντη της Νάουσας αξιοποιώντας το υδροδυναμικό της Αραπίτσας, στη θέση Μπαχούτσι, ενώ ένα τρίτο ενδιάμεσης ονομαστικής ισχύος, $P=633$ KW, υλοποιείται στο ρέμα Ροδοχωρίου, με παροχή σχεδιασμού $Q_d=0.500$ m³/s, με υψομετρική διαφορά $H_{\text{τοπογ}}=158$ m και καθαρό φορτίο $H_{\text{net}}=145$ m, με μήκος αγωγού $L=1.400$ m και διάμετρο καταθλιπτικού αγωγού $D=600$ mm. Το ραβδόγραμμα των μηνιαίων παροχών του ρέματος αναφοράς του τελευταίου μικρού υδροηλεκτρικού έργου, με βάση τις πραγματικά αξιοποιητέες παροχές του ρέματος από τον σταθμό (αφαιρουμένης της οικολογικής παροχής) δίδεται στο επόμενο σχήμα (Στεργιοπούλου, 2007).



Σχήμα 4. Χρονοεξέλιξη παροχών και Καμπύλη Διάρκειας Παροχής μικρού ρέματος που συμβάλλει στην Αραπίτσα.

Η ονομαστική ισχύς του μικρού σταθμού είναι $P(KW)=9.81 \cdot Q_d \cdot H_{\text{net}} \cdot \eta_T = 633$ KW, ενώ η μέγιστη ετήσια παραγόμενη ενέργεια είναι $E=4,8$ GWh.

Τα ανωτέρω σύγχρονα παραδείγματα μικρών υδροηλεκτρικών έργων αναφέρονται στον χώρο του Ανατολικού Βερμίου, στις πόλεις των νεράν του οποίου ανεπτύχθησαν στο παρελθόν ήδη από το 1875 σημαντικότερες υδροκίνητες μονάδες, περί των οποίων έγινε μνεία σε προηγούμενη παράγραφο. Ακολουθώντας το παράδειγμα του Βερμίου εκατοντάδες βιώσιμα μικρά υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να εγκατασταθούν σε μια πλειάδα θέσεων όλων των φυσικών υδατορρευμάτων του ελληνικού χώρου. Πέραν τούτων όμως, συγκεκριμένες συστοιχίες μικρών υδροηλεκτρικών έργων πολλαπλού σκοπού μπορούν να εγκατασταθούν σε αρδευτικές διώρυγες, σε υδραγωγεία αλλά και σε αποχετευτικά δίκτυα - εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων,

αξιοποιώντας το δυναμικό των τοπικών υδατοπτώσεων και υποκαθιστώντας τα έργα καταστροφής ενέργειας, περί των οποίων θα γίνει αναφορά στην επόμενη παράγραφο. Πέραν των πολύ αξιόπιστων κλασικών μικρών υδροηλεκτρικών έργων σε φυσικά υδατορρεύματα και σε υφιστάμενες υδραυλικές υποδομές, μπορούν να υλοποιηθούν ακόμη και μη συμβατικά έργα αξιοποίησης της κινητικής ενέργειας τόσο των ποτάμιων και θαλασσιών ρευμάτων, στη βάση του στροβιλοτροχού, όπως παρουσιάζεται στην μεθεπόμενη παράγραφο του παρόντος άρθρου.

5. Ανάλεκτα των μικρών υδροηλεκτρικών αντι των Ε.Κ.Ε.

Στα πλαίσια μιας «συστημικής προσέγγισης για την βέλτιστη αξιοποίηση ενός δικτύου ύδρευσης» θεωρούμε ότι όλα τα φρεάτια πιεζόθραυσης και τα Έργα Καταστροφής Ενέργειας (Ε.Κ.Ε.) ενός τέτοιου δικτύου έχουν υποκατασταθεί από μια Μικροϋδροηλεκτρική Συστοιχία, στόχος της οποίας είναι η παραγωγική ανάκτηση του μη συμβατικού και καταστρεφόμενου στα φρεάτια πιεζόθραυσης και στα Ε.Κ.Ε. υδροδυναμικού. Η Μικροϋδροηλεκτρική Συστοιχία αποτελείται από n επί μέρους συνιστώσες ή βαθμίδες, που είναι μικρά υδροηλεκτρικά έργα, σύμφωνα με μια απλή μικροϋδροηλεκτρική ακολουθία, επιδιώκει την βελτιστοποίηση της διαχείρισης των εντός του δικτύου ύδρευσης ρεόντων υδάτων πάντοτε με πλήρη συμβατότητα της ενεργειακής ανάκτησης και της υδρευτικής αποστολής.

$$E_i = E(H_{oi}, Q_i) = 9.81 \cdot H_{oi} \cdot Q_i \cdot \eta_i, S \quad (1)$$

E_i = η ισχύς της βαθμίδας (έργου) τάξης i (kW)

H_{oi} = το καθαρό αξιοποιήσιμο υδραυλικό φορτίο της βαθμίδας $i = H_i - \Delta h_i$ (m)

H_i = το πιεζομετρικό φορτίο ακριβώς ανάντη της βαθμίδας i (m)

η_i = ο βαθμός απόδοσης του σταθμού στη θέση i (m)

Q_i = η αξιοποιήσιμη παροχή στη θέση i (m^3/s)

Στην πρώτη βαθμίδα ($i=1$) η προς βελτιστοποίηση αντικειμενική συνάρτηση δίδεται από:

$$f_1(Q_1, P_2) = \max_{(H_{o1}, D_1)} \{ B_1(Q_1, H_{o1}) + C_w \cdot Q_1 - [C(D_1) \cdot L_1 - C_o(Q_{d1}, H_{d1})] \cdot F(r, t) - C_{OM1} \} \quad (2)$$

με

$$Q_1 = q_1, \quad H_{\min} \leq H_{o1} \leq H_{\max}, \quad P_{\min} \leq P_1 \leq P_{\max}, \quad D_{\min} \leq D_1 \leq D_{\max},$$

όπου $f_1(Q_1, Q_2) =$ η τιμή της επαγωγικής αντικειμενικής συνάρτησης της βαθμίδας 1 (μέγιστο καθαρό κέρδος), με δεδομένη τη διαθέσιμη παροχή Q_1 και την ενεπομείνουσα πίεση P_2 στη 2η βαθμίδα.

$B_1(Q_1, H_{o1}) =$ τα ετήσια υδροηλεκτρικά έσοδα της 1ης βαθμίδας ως αποτέλεσμα της αξιοποίησης του φορτίου H_{o1} και της παροχής Q_1

$C_w =$ η τιμή της διαθέσιμης μονάδας νερού (προς το παρόν = 0)

$C(D_1) =$ το κόστος ανά μέτρο μήκους της σωλήνωσης διαμέτρου D_1

$L_1 =$ το μήκος της σωλήνωσης της βαθμίδας 1

$C_o(Q_{d1}, H_{d1}) =$ το κόστος της επίδρασης σταθμού ονομαστικής παροχής Q_{d1} και ονομαστικού φορτίου H_{d1}

$F(r, t) =$ ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου με r επιτόκιο αναγωγής και χρόνο λειτουργίας t

$C_{OM1} =$ κόστος λειτουργίας και συντήρησης της βαθμίδας 1

$P_{min}, P_{max} =$ ελάχιστη και μέγιστη επιτρεπτή πίεση

$D_{min}, D_{max} =$ ελάχιστη και μέγιστη διάμετρος

$H_{min}, H_{max} =$ ελάχιστο και μέγιστο φορτίο του σταθμού.

Με όμοιο τρόπο προκύπτει ο επαγωγικός τύπος για τη 2η βαθμίδα (2ο έργο):

$$f_2(Q_2, P_2) = \max_{(H_{o2}, D_2)} \left\{ B_2(Q_2, H_{o2}) + C_w \cdot Q_2 - [C(D_2) \cdot L_2 - C_o(Q_{d2}, H_{d2})] \cdot F(r, t) - C_{OM2} + f_1(Q_1, P_2) \right\} \quad (3)$$

με: $Q_2 = Q_1 + q_2$

$H_{min} \leq H_{o2} \leq H_{max}$

$P_{min} \leq P_2 \leq P_{max}$

$D_{min} \leq D_2 \leq D_{max}$

Τελικά σε κάθε ενδιάμεση i βαθμίδα:

$$f_i(Q_{0i}, P_{i+1}) = \max_{(H_{oi}, D_{oi})} \left\{ B_i(Q_i, H_{oi}) + C_w \cdot Q_i - [C(D_i) \cdot L_i - C_o(Q_{di}, H_{di})] \cdot F(r, t) - C_{OMoi} + f_{i-1}(Q_{i-1}, P_i) \right\} \quad (4)$$

με $Q_i = Q_{i-1} + q_i = q_1 + q_2 + \dots + q_i$

$H_{min} \leq H_{oi} \leq H_{max}$

$P_{min} \leq P_i \leq P_{max}$

$D_{min} \leq D_i \leq D_{max}$

Υποθέτοντας ότι η αξιοποιητέα ενεργειακή παροχή στην κάθε μια βαθμίδα i , Q_i θα ισούται με την αξιοποιητέα παροχή της προηγούμενης βαθμίδας Q_{i-1} επαυξημένης κατά το πιθανώς υδροσυλλεχθέν ενδιάμεσο q_i . Στην περίπτωση που διατίθεται νερό πέραν της ύδρευσης και προς άρδευση, τότε στην κάθε αντικειμενική συνάρτηση μπορούν να συμπεριληφθούν συμπληρωματικά αντίστοιχα όταν η εναπομείνουσα πίεση κατάντη μιας βαθμίδας i θα είναι

$$P_i = P_{i+1} + z_i - h_{\lambda i} - H_{oi},$$

$$\text{όπου } h_{\lambda i} = \lambda_i \cdot \frac{L_i \cdot V_i^2}{D_i \cdot 2g} \quad \text{με} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} = 1.14 - 2 \log \left(\frac{\varepsilon}{D_i} + \frac{9.35}{R \cdot \sqrt{\lambda_i}} \right) \quad (5)$$

V_i = ταχύτητα στη θέση i ,

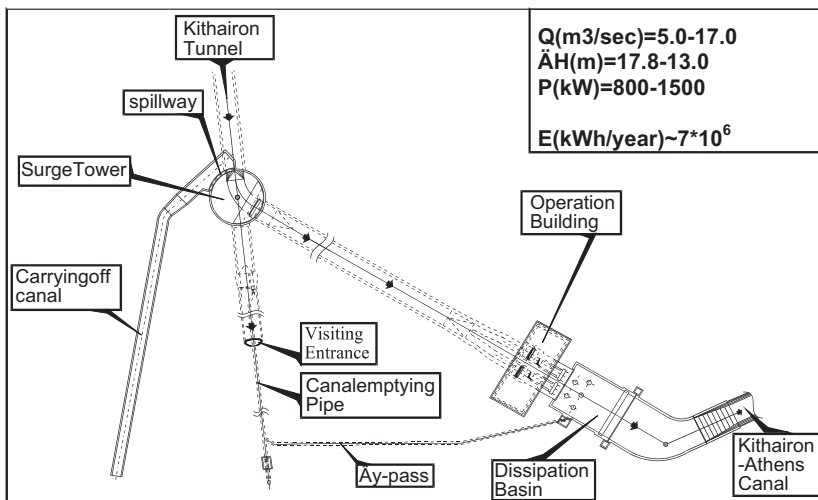
D_i = διάμετρος,

Re = ο αριθμός Reynolds,

ε = η τραχύτητα.

Η επίλυση της λογαριθμικής σχέσης γίνεται επαναληπτικά με το σχήμα Newton-Raphson.

Το πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα μηχανισμού καταστροφής ενέργειας παρουσιάζεται ενδεικτικά στο Σχήμα 5, απολύτως αντιπροσωπευτικό όλων των Ε.Κ.Ε. (Εργων Καταστροφής Ενέργειας της Ε.ΥΔ.Α.Π.) και όχι μόνον του Κιθαιρώνα. Στο



Σχήμα 5. Μικρό Υδροηλεκτρικό αντί Ε.Κ.Ε.- τύπου Ελικώνα

σχήμα αναπαριστάται και η δυνατότητα παραγωγικής ανάκτησης της καταστρεφόμενης σε κάθε Ε.Κ.Ε. υδροίς, με την βοήθεια ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου, που θα υποκαθιστά μέσα από μια διάταξη εκτροπής τον ενεργειακό καταστροφέα, δεδομένου ότι έχει την ίδια ακριβώς αποστολή, την καταστροφή ή αφαίρεση της πλεονάζουσας υδροίς. Σ' ένα Ε.Κ.Ε. τύπου Ελικώνα, όπως επί παραδείγματι στο Ε.Κ.Ε. Κιθαιρώνα η μεταβλητότητα της παροχής από 5 έως 17 m³/s οδηγεί σε μια μεταβολή του διαθέσιμου φορτίου από 17.8 έως 13 m. Η υποκατάσταση ενός τέτοιου Ε.Κ.Ε. με ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο μπορεί να οδηγήσει σε μια εγκατεστημένη ισχύ 800 έως 1500 KW και σε μια ανάκτηση της καταστρεφόμενης υδραυλικής ενέργειας της τάξης των 7 GWh/έτος.

Υιοθετώντας την ολιστική θεώρηση «Μικρά Υδροηλεκτρικά αντί Ε.Κ.Ε.» της βέλτιστης αξιοποίησης του υδροδυναμικού του μεγαλύτερου «τεχνητού ποταμού» της χώρας, που είναι το Υδραγωγείο Μόρνου – Ευήνου της Ε.ΥΔ.Α.Π., μέγιστης παροχευτικότητας 23 m³/s, κατέστη δυνατή η δρομολόγηση υλοποίησης μιας συστοιχίας Μικρών Υδροηλεκτρικών τύπου Ελικώνα Έργων με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά ονομαστικής παροχής Q, διαθέσιμου φορτίου H, ονομαστικής ισχύος P.

1. Ελικών	(Q=11 m ³ /s,	H _{net} =11 m,	P=0.65 MW),
2. Κίρφη	(Q=11 m ³ /s,	H _{net} =8.03 m,	P=0.76 MW),
3. Κυθαιρών	(Q=10.5 m ³ /s,	H _{net} =11 m,	P=1.20 MW),
4. Κλειδί	(Q=4.2 m ³ /s,	H _{net} =4.20 m,	P=0.50 MW),
5. Μάνδρα	(Q=10 m ³ /s,	H _{net} =8.25 m,	P=0.65 MW),
6. Ευήνος	(Q=1 m ³ /s,	H _{net} =25 m,	P=0.82 MW),
7. Βάρη	(Q=0.3 m ³ /s,	H _{net} =65-105 m,	P=0.24 MW).

Η συστοιχία των επτά αυτών έργων, μιας συνολικής ισχύος 4.82 MW, οδηγεί σε ανάκτηση της κατεστραμμένης στα Ε.Κ.Ε. ενέργειας της τάξης των 33.6 GWh /έτος, που ισοδυναμεί σε αποφυγή ετησίως ποσοτήτων 33.595 tn/ έτος θερμοκηπιακού CO₂ (Stergiopoulos and Stergiopoulou, 2007, 2008).

Η παραγωγική ανάκτηση της χαμένης υδραυλικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί σε κάθε υδραυλικό δίκτυο, σε φράγματα, σε αρδευτικές διώρυγες, σε δίκτυα ύδρευσης, αλλά και σε δίκτυα αποχέτευσης, όπως επί παραδείγματι για μια παράκτια ελληνική πόλη, στην οποία η αξιοποίηση μιας υψομετρικής διαφοράς 30 μέτρων και μιας παροχής λυμάτων της τάξης των 60-160 l/sec οδηγεί σε μια εγκατεστημένη ισχύ ενός πολύ μικρού, αλλά παραγωγικού υδροηλεκτρικού έργου, της τάξης των 15 KW έως 35 KW, ικανού να καλύπτει ένα σημαντικότατο μέρος από τις ενεργειακές απαιτήσεις λειτουργίας της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

6. Ανάλεκτα ενός υδροστροβιλοτροχού

Παρά το γεγονός ότι αρκετές μηχανές που έχουν κοινή προέλευση με τον υδραυλικό τροχό εξελίχθηκαν σημαντικά στο παρελθόν, όπως ο στρόβιλος Lafond και ο στρόβιλος Banki, ένας υδροστροβιλοτροχός, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μια μη συμβατική υδρομηχανή ανάκτησης της κινητικής ενέργειας ποταμών και θαλασσιών ρευμάτων, παρουσιάζει αρκετά διαφοροποιημένα γεωμετρικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά. Η μηχανή αυτή είναι βασικά ένας τροχός οριζοντίου άξονα με καμπυλοειδή ή επίπεδα πτερύγια και θυμίζει στρόβιλο δράσης. Στις περιπτώσεις στροβίλων δράσης ο κλασσικά ορισμένος, από την εξίσωση Euler των στροβιλομηχανών, βαθμός αντίδρασης R_a είναι ίσος με μηδέν και δεν παρατηρούνται μεταβολές της στατικής πίεσης δια μέσου του δρομέα. Αναμφίβολα ένας τέτοιος δρομέας θα μπορούσε να έχει σχετικά καλές επιδόσεις, ακόμη και στην περίπτωση που δεν θα ήταν εφοδιασμένος με πλευρικά εκπετασματικά τοιχώματα. Στην περίπτωση μας η μηχανή δέχεται την απευθείας δράση του ρευστού μόνο στο πάνω μισό τμήμα της ενώ στο υπόλοιπο μισό η ροή προσάγεται δια μέσου υδραγωγών. Οι υδραγωγοί αυτοί είναι ένας μετωπικός και δύο πλευρικοί συγκεντρωτές Venturi με προοδευτικά μειωμένη εγκάρσια διατομή ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη ροή. Η εξαναγκασμένη περιστροφή του τροχού μπορεί να μετασχηματιστεί παραγωγικά με τη βοήθεια κατάλληλου συστήματος σε ισχύ. Ο αριθμός και το σχήμα των πτερυγίων καθώς και ο αριθμός και το σχήμα των υδραγωγών είναι εντελώς ενδεικτικός και θα πρέπει μελλοντικά να αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω μελέτης και σχεδιαστικής βελτιστοποίησης.

Θεωρούμε στην συνέχεια τον υδροστροβιλοτροχό αποτελούμενο από τέσσερα επίπεδα πτερύγια τοποθετημένα κάθετα μεταξύ τους και τρία ταχυρεύματα χαρακτηριστικών ταχυτήτων V_0, V_1, V_2 , συνδεδεμένων μεταξύ τους με απλές σχέσεις του τύπου $V_1 = K_1 \cdot V_0$ και $V_2 = K_2 \cdot V_0$. Δεδομένου ότι το οπίσθιο ταχύρευμα δρα, επιβραδυντικά στρέφοντας κατά 180° την αρχική διεύθυνση της ροής, οι τιμές των συντελεστών K_1, K_2 εξαρτώνται κυρίως από τις γεωμετρικές συνθήκες ροής στους σωλήνες και είναι αντίστοιχα μεγαλύτερες και μικρότερες της μονάδας. Όταν $K_1 = K_2 = 0$ τα προσαγωγά ρεύματα είναι είτε ανύπαρκτα είτε φραγμένα. Επειδή οι διαφορετικές σε κάθε τεταρτοκύκλιο δυνάμεις των πτερυγίων I, II, III, IV, επαναλαμβάνονται σε διδοχικές θέσεις των τετάρτων, είναι προτιμότερο να υπολογισθούν οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε ξεχωριστό πτερύγιο για κάθε γωνία φ μόνον όταν $0 \leq \varphi \leq \pi/2$. Αν S είναι η αθροιστική ενεργός διατομή εισόδου του ρευστού από το σύνολο των υδραγωγών στον υδροτροχό, b το εκπέτασμα των πτερυγίων, R η ακτίνα του τροχού και ρ η πυκνότητα του νερού, τότε ο συντελεστής ροπής C_Q δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_Q = \text{Ροπή} / (\rho \cdot V_0^2 \cdot S/2) = C_q \cdot b \cdot R^2 / S \quad (6)$$

Όταν $\varphi=0$, τότε την επίδραση των ταχυρευμάτων V_0, V_1, V_2 , την δέχονται μόνο τα περύγια I, IV και III αντίστοιχα. Μετά από περιστροφή $\pi/4$ οι ρόλοι των περυγίων I και IV αντιστρέφονται πλήρως. Για τιμές της γωνίας φ στο διάστημα $[\pi/4, \pi/2]$ το περύγιο I αντιτίθεται στην περιστροφή του τροχού και δέχεται τη δράση αρνητικής δύναμης από τη μάζα ρευστού του "ακίνητου απορρεύματος". Προκύπτει για το περύγιο I ότι:

$$C_{q,I} = 2 \int_{\tan \varphi}^1 \left| \cos \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right| * \left(\cos \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right) * \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right) - 2 \int_0^{\tan \varphi} \lambda^2 * \left(\frac{r}{R}\right)^3 d\left(\frac{r}{R}\right) \quad (7)$$

$$0 \leq \varphi \leq \pi/4$$

$$C_{q,I} = -2 \int_0^1 \lambda^2 * \left(\frac{r}{R}\right)^3 d\left(\frac{r}{R}\right) = -\frac{\lambda^2}{2} \quad \pi/4 \leq \varphi \leq \pi/2$$

Με λ παριστάνεται ο λόγος $\omega R/V_0$ της ταχύτητας ακροπερυγίου προς την αδίατάρακτη ανάντη ταχύτητα ροής V_0 . Το δεύτερο περύγιο II δέχεται μόνο το εκτρέπομενο, με τη βοήθεια πλευρικών συγκεντρωτών, κατά 180° από την αρχική του διεύθυνση, ρεύμα ταχύτητας V_2 . Για $0 \leq \varphi \leq \pi/2$ ο συντελεστής $C_{q,II}$ είναι ίσος με:

$$C_{q,II} = 2 \int_0^1 \left| K_2 * \sin \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right| * \left(K_2 * \sin \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right) * \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right) \quad (8)$$

Στη θέση $\varphi=0^\circ$ το περύγιο III δέχεται τη δράση του πλευρικού – οπίσθιου ρεύματος V_2 με πανομοιότυπο ακριβώς τρόπο όπως και το περύγιο I υφίσταται την επίδραση του ταχυρρεύματος V_0 . Για $\varphi \geq \pi/4$ ενεργό ρόλο παίζει και η ροή δια μέσου του εμπρόσθιου – κάτω συγκεντρωτικού σωλήνα venturi. Ο αντίστοιχος συντελεστής ροπής $C_{q,III}$ είναι:

$$C_{q,III} = 2 \int_{\tan \varphi}^1 \left| K_2 * \cos \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right| * \left(K_2 * \cos \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right) * \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right)$$

για $0 \leq \varphi \leq \pi/4$

$$C_{q,III} = 2 \int_0^{\tan(\pi/4-\varphi)} \left| K_1 * \sin(\pi/4-\varphi) - \lambda \frac{r}{R} \right| * \left(K_1 * \sin(\pi/4-\varphi) - \lambda \frac{r}{R} \right) * \left(\frac{r}{R}\right) d \quad (9)$$

$$\pi/4 \leq \varphi \leq \pi/2$$

Υπεραπλουστεύοντας το ήδη απλό μαθηματικό μοντέλο, υποθέτουμε ότι είναι δυνατή η υπέρθεση των δύο εμπρόσθιων ταχυρρευμάτων που δρουν ταυτόχρονα στο πτερύγιο I.

$$C_{q,IV} = 2 \int_0^A \left| \sin \varphi + K_1 * \cos |\pi/4 - \varphi| - \lambda \frac{r}{R} \right| * \left(\sin \varphi + K_1 * \cos |\pi/4 - \varphi| \lambda \frac{r}{R} \right) * \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right) + 2 \int_A^1 \left| \sin \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right| * \left(\sin \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right) * \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right), \quad 0 \leq \varphi \leq \pi/4$$

$$C_{q,IV} = 2 \int_0^B \left| \sin \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right| * \left(\sin \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right) * \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right) + 2 \int_B^A \left| \sin \varphi + K_1 * \cos |\pi/4 - \varphi| - \lambda \frac{r}{R} \right| * \left(\sin \varphi + K_1 * \cos |\pi/4 - \varphi| - \lambda \frac{r}{R} \right) * \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right) + 2 \int_A^1 \left| \sin \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right| * \left(\sin \varphi - \lambda \frac{r}{R} \right) * \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right), \quad \pi/4 \leq \varphi \leq \pi/2$$

$$A = \cos \frac{\pi}{4} / \cos |\frac{\pi}{4} - \varphi|, \quad B = \tan |\frac{\pi}{4} - \varphi| \quad (10)$$

Τα παραπάνω ολοκληρώματα προσδιορίζονται αριθμητικά με τη βοήθεια του γνωστού κανόνα του Simpson. Ο υπολογισμός του ολικού συντελεστή ροπής γίνεται σχετικά εύκολα αν αθροιστούν οι επί μέρους τοπικοί συντελεστές C_q των πτερυγίων. Ο πολλαπλασιαστικός όρος $b * R_2 / S$ που εξαρτάται από τον καθορισμό της ενεργού διατομής S , εκλέχθηκε μετά από πρόχειρους υπολογισμούς προσεγγιστικά ίσος με 0.3. Μια ενδεικτική αριθμητική υπολογιστική προσέγγιση της μεταβολής του συντελεστή ισχύος $C_p = \lambda * C_q'$ σε συνάρτηση του λόγου $\lambda = \omega * R / V_0$ και του συντελεστή επιτάχυνσης K_1 για σταθερές τιμές της γωνίας φ και του συντελεστή επιβράδυνσης K_2 καθιστά αισθητή την συνεισφορά του εμπρόσθιου κάτω συγκεντρωτή venturi όταν οι τιμές του συντελεστή K_1 μεταβάλλονται από 1 έως 3. Αντίθετα δεν είναι αισθητή η βελτίωση των επιδόσεων που προκαλούν οι πλευρικοί – οπίσθιοι συγκεντρωτές όταν $K_2 = 0$, $K_2 = 0.2$, $K_2 = 0.5$. Για το σχεδιασμό ενός στροβιλοτροχού μπορούν να προσταθούν κάπως αυθαίρετα οι τιμές $K_1 = 2$ και $K_2 = 0.1$ και να καταστεί προφανής η κυκλική μεταβολή, με περίοδο 90° , του συντελεστή C_p . Μια πιθανή χρησιμοποίηση περισσοτέρων των τεσσάρων πτερυγίων θα μπορούσε να λειάνει την περιφερειακή αυτή ασυμμετρία, τουλάχιστον σε επίπεδο μονίμων επιδόσεων, σύμ-

φωνα με την αρχή Lorenz των στροβιλομηχανών. Η δυναμική αυτή κυκλική συμπεριφορά, μολονότι μη αμελητέα, μπορεί να θεωρηθεί λιγότερο επικίνδυνη από ότι σε άλλους υδροκινητήρες οριζοντίου και κατακορύφου άξονα. Αποδεικνύεται εύκολα η ικανότητα του στροβιλοτροχού να αναπτύσσει υψηλές ροπές εκκίνησης ($\lambda=0$), γεγονός ενθαρρυντικό για τη χρησιμοποίηση αυτής της μηχανής σε εγκαταστάσεις και εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ροπή εκκίνησης, απολύτως απαραίτητη για την αποτελεσματική αξιοποίηση του παλιρροϊκού δυναμικού, του δυναμικού των θαλασσίων ρευμάτων αλλά και της κινητικής ενέργειας των ποταμών.

7. Αντί συμπερασμάτων

Στην κρατούσα εντύπωση ότι η Ελλάδα είναι χώρα φτωχή σε υδατικούς πόρους και στη δεδομένη υστέρηση της μικροϋδροηλεκτρικής ανάπτυξης της, απόρροια των μέχρι τούδε ιστορικών ανακολουθιών σε θέματα υδατικής πολιτικής και μιας γενικότερης στρεβλωτικής αναπτυξιακής ασυμμετρίας, το παρόν άρθρο αντέταξε, μέσα από μια σειρά από μικροϋδροηλεκτρικά ανάλεκτα του παρελθόντος και του παρόντος, την αλήθεια της σημαντικότητας και ταυτόχρονα ανομοιόμορφης χωροχρονικής κατανομής των υδατικών πόρων της χώρας αλλά και του πολύ σημαντικού και αναξιοποίητου συμβατικού και μη συμβατικού μικροϋδροηλεκτρικού δυναμικού της, που εκτιμάται σε 30 TWh, την εκπληκτική ανάπτυξη των ιδιωτικών μικρών υδροηλεκτρικών έργων των αρχών του 20^{ου} αιώνα που δυστυχώς ακολουθήθηκε από το ανηλεές κινήγι τους από την ΔΕΗ κατά το 2^ο ήμισυ του προηγούμενου αιώνα, την ανάγκη μιας αποτελεσματικής μικροϋδροηλεκτρικής στρατηγικής και τέλος την σύγχρονη αναγέννηση των μικρών υδροηλεκτρικών, μέσα όμως σε ένα γενικότερο κλίμα οξύτατης και ασταθούς πετρελαϊκής ενεργειακής πραγματικότητας. Στο άρθρο προτάθηκε η επιτακτική επαναξιοποίηση όχι μόνο όλων των θέσεων λειτουργίας παλαιών μικρών υδροηλεκτρικών έργων αλλά και η συστηματική υλοποίηση ενός πυκνού πλέγματος συμβατικών και μη συμβατικών μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών σε όλα τα μικρά και τα μεγάλα υδατορρέυματα της χώρας καθώς επίσης και σε όλες τις υφιστάμενες υδραυλικές υποδομές. Η προταθείσα εδώ και επαρκώς τεκμηριωθείσα φιλοσοφία «Μικρά Υδροηλεκτρικά αντί Ε.Κ.Ε.», που αποσκοπεί πρωτίστως στην εγκατάσταση μιας πλειάδας μικροϋδροηλεκτρικών συστοιχιών πολλαπλού σκοπού σε όλα τα δίκτυα ύδρευσης της χώρας, υποκαθιστώντας όλα τα Έργα Καταστροφής Ενέργειας και όλες τις διατάξεις πιεζόθραυσης και ανακτώντας παραγωγικά την καταστρεφόμενη σ' αυτά υδραυλική ενέργεια, μπορεί κάλλιστα να υιοθετηθεί και στις αρδευτικές διώρυγες, στα αρδευτικά και αποχετευτικά δίκτυα αλλά και στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, όπως επίσης και σε πολλές φραγματικές διατάξεις και σε αρκετά έργα ορεινής υδρονομίας.

Πέραν των τεχνολογικά πολύ ώριμων και αξιόπιστων κλασικών μικρών υδροηλεκτρικών έργων που πρέπει να υλοποιηθούν σε όλα τα φυσικά υδατορρεύματα και σε όλες τις υφιστάμενες υδραυλικές υποδομές της χώρας, η παρούσα εργασία πρότεινε ακόμη και την υλοποίηση και μη συμβατικών αλλά βιώσιμων μικρουδροενεργειακών έργων μετασχηματισμού και υδροηλεκτρικής αξιοποίησης της κινητικής ενέργειας τόσο των ποταμών όσο και των θαλασσιών ρευμάτων και της παλίρροιας, στη βάση μιας απλής υδροστροβιλομηχανής, του πολλά υποσχόμενου στροβιλοτροχού, με καθοδηγούμενα πλευρικά εμπρόσθια και οπίσθια ταχυρρέυματα, ικανού να αναπτύξει υψηλές ροπές εκκίνησης και να είναι αποδοτικός ακόμη και σε χαμηλές τιμές ταχύτητας ροής.

Βιβλιογραφία

1. Pacoret, E. , 1919. *La technique de la Houille Blanch.* Dunot et Pinat, Paris.
2. Stergiopoulos, B., 1991. *Towards a Preliminary Estimate of the Greek Theoretical Small Hydropower Potential.* Proceedings of HIDROENERGIA 91, Nice.
3. Stergiopoulos, B., 1991. *Towards a Preliminary Estimate of Epirus Small Hydropotential.* Proceedings of European Conference advances in water resources, Athens.
4. Στεργιοπούλου, Α., 2007. *Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί ως σύγχρονα έργα για την διαχείριση επιφανειακών υδατικών πόρων στην Μακεδονία.* Διπλωματική Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
5. Stergiopoulos, V. and Stergiopoulou, A., 2007. *Beyond the Helicon's type hydro plants and the Athenian holistic water management.* Proceedings of cemepe - 1st International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics, Skiathos.
6. Stergiopoulos, V. and Stergiopoulou, A., 2007. *Towards Modern Small Hydro Parks at the Vermion Mount.* Proceedings of the 2nd International Conference on Experiments / Process/System Modelling/Simulation & Optimisation (IC-EpsMsO 2007), Athens.
7. Stergiopoulos, V. and Stergiopoulou, A., 2007. *Beyond Midas Gold: The Vermion's Small Hydro Parks.* Proceedings of the International Conference evertech 2007, Athens.
8. Stergiopoulos, V. and Stergiopoulou, A., 2007. *Undershot Momentum Wheels for Recovering Power from the Mysterious Sea River Current of Cephalonia.* Proceedings of the 2nd International Conference on Experiments / Process/System Modelling/Simulation & Optimisation (IC-EpsMsO 2007), Athens.
9. Stergiopoulos, V. and Stergiopoulou, A., 2008. *From the Olganos Karst Springs to the Vermion's Hydro Parks,* Proceedings of the International Conference 3rd IC-SCCE 2008, Athens.