

Νερό και ενέργεια

Σημειώσεις για το μάθημα Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Δημήτρης Κουτσογιάννης

Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

<http://www.itia.ntua.gr/dk>

Η διαχείριση των υδατικών πόρων συναρτάται άμεσα με πολλές πτυχές της διαχείρισης ενέργειας και συγκεκριμένα με την παραγωγή, την αποθήκευση και την κατανάλωση ενέργειας. Εύκολα μπορεί κανείς να αντιληφθεί την άμεση σχέση της διαχείρισης νερού με την ενέργεια: χωρίς ενεργειακούς περιορισμούς δεν θα υπήρχε πρόβλημα νερού (π.χ. όλα τα υδατικά ελλείμματα θα μπορούσαν να καλυφθούν με αφαλάτωση). Την περίοδο που διανύουμε πραγματοποιούνται σημαντικές ανακατατάξεις στο ενεργειακό τοπίο, οι οποίες αναμφιβόλως θα ενταθούν στις επόμενες δεκαετίες. Κατά συνέπεια, δεν μπορεί να γίνει προγραμματισμός της διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων χωρίς αναφορά στη σχέση του νερού με την ενέργεια.

1. Το μελλοντικό παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο

Ο στρατηγικός προγραμματισμός της διαχείρισης υδατικών πόρων δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται με κριτήρια συγκυριακά, αλλά πρέπει να προβάλλεται στο μέλλον (με ιχνηλάτηση-υπόθεση εναλλακτικών σεναρίων) και να τεκμηριώνεται με άντληση εμπειριών και δεδομένων από ιστορικά παραδείγματα (παρελθόν). Η προβολή στο μέλλον θα πρέπει να συνδυάζεται με την αρχή της βιωσιμότητας ή αειφορίας, τη σύγχρονη ιδεολογική, πολιτική και οικονομική αρχή που δίνει έμφαση στην ανάπτυξη χωρίς υποθήκευση του μέλλοντος. Αν και γενικά ομολογείται ότι η αρχή αυτή έχει πια ενσωματωθεί στη διαχείριση του νερού, αυτό είναι και θα παραμείνει αυταπάτη αν δεν συνδυαστεί με βιωσιμότητα στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Η σημερινή διαχείριση ενέργειας κάθε άλλο παρά βιώσιμη είναι. Τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, γαιάνθρακες, φυσικό αέριο) δεν είναι ανανεώσιμα, αλλά αναλώσιμα. Παράλληλα, η καύση των ορυκτών καυσίμων έχει αποτέλεσμα την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και συνακόλουθα τη μεταβολή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας και του κλίματος. Από την άλλη πλευρά με το εντεινόμενο καταναλωτικό μοντέλο που οι ανεπτυγμένες χώρες ακολουθούν, χρόνο με το χρόνο η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται εκρηκτικά.

Τον εικοστό αιώνα κυριάρχησε (αν και αμφισβητήθηκε από λίγους) η αντίληψη ότι τα ορυκτά καύσιμα είναι άφθονα και θα περάσουν αιώνες πριν εξαντληθούν. Σήμερα, η αντίληψη αυτή υποχωρεί και το πρόβλημα τοποθετείται με διαφορετικό τρόπο. Μέχρι σήμερα η παραγωγή και κατανάλωση πετρελαίου αυξάνει χρόνο με το χρόνο, αλλά αναπότρεπτα σε μερικά χρόνια θα φτάσουμε στην κατάσταση που έχει αποκληθεί «πετρελαϊκή αιχμή» (peak oil), μετά την οποία η παραγωγή θα φθίνει με το χρόνο. Αν και έχει χαρακτηριστικά λεχθεί ότι «οι μέρες του φτηνού πετρελαίου είναι μετρημένες» (Larson, 2006), δεν υπάρχει

συμφωνία ως προς τη χρονική τοποθέτηση της πετρελαϊκής αιχμής. Ορισμένοι την τοποθετούν στο τέλος της τρέχουσας δεκαετίας (μέχρι το 2010) αλλά και με την πιο αισιόδοξη εκδοχή δεν μπορεί να τοποθετηθεί πέρα από τα μέσα του αιώνα (Kerr and Service, 2005). Ας σημειωθεί ότι η ιδέα της πετρελαϊκής αιχμής έχει εισαχθεί στα μέσα του εικοστού αιώνα από τον Hubbert (1956), ο οποίος προέβλεψε με ακρίβεια την αιχμή που συνέβη στις ΗΠΑ το 1970, ενώ διατύπωσε την πρόβλεψη ότι η αιχμή σε παγκόσμιο επίπεδο θα σημειωνόταν μετά από 50 χρόνια (το 2006). Σύμφωνα με την υπόθεση συμμετρίας του Hubbert, η αιχμή σημειώνεται όταν έχει καταναλωθεί το μισό των αποθεμάτων πετρελαίου. Οι επερχόμενοι καιροί, όπου θα καταναλώνουμε το δεύτερο μισό των αποθεμάτων, θα είναι δύσκολοι (Campbell, 2005). Η εκμετάλλευση του δεύτερου μισού θα είναι πιο ακριβή (αφού ήδη εξαντλούνται τα πλέον πρόσφορα οικονομικώς αποθέματα) και θα κυριαρχείται από έλλειμμα προσφοράς-ζήτησης. Άρα η «φτηνή ενέργεια» που συνηθίσαμε και στην οποία βασίστηκε το σημερινό μοντέλο ζωής στις ανεπτυγμένες χώρες (καταναλωτικά πρότυπα, μεταφορές, γεωργία, βιομηχανία) δεν έχει μέλλον. Ο τετραπλασιασμός των τιμών του πετρελαίου από το 2002 μέχρι σήμερα συνδέεται ενδεχομένως με το ότι πλησιάζουμε στην πετρελαϊκή αιχμή.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Αμερικανού Υπουργείου Ενέργειας (Department of Energy), ο σημερινός μέσος ρυθμός με τον οποίο παράγεται και καταναλώνεται ενέργεια σε παγκόσμιο επίπεδο είναι 13 TW, ενώ με βάση το σημερινό ρυθμό αύξησης των αναγκών προβλέπεται να φτάσει τα 25-30 TW το 2050 και τα 40-50 TW το 2100. Παίρνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα καυσίμων στο μέλλον, έχει εκτιμηθεί ότι θα υπάρχει ενεργειακό έλλειμμα 14 TW το 2050 (μεγαλύτερο του σημερινού συνολικού ρυθμού παραγωγής) και 33 TW το 2100. (Grabtree and Lewis, 2007· Grabtree et al., 2005· Lewis and Crabtree, 2005). Βεβαίως τα ελλείμματα αυτά είναι εικονικά και στην πραγματικότητα η κατανάλωση ενέργειας δεν μπορεί παρά να προσαρμοστεί στη διαθεσιμότητα/παραγωγή. Ωστόσο, οι αριθμοί αυτοί είναι χαρακτηριστικοί του μεγέθους του προβλήματος και σηματοδοτούν την ανάγκη αλλαγής του σημερινού μοντέλου ζωής αλλά και ειδικότερα του ενεργειακού τοπίου.

Δύο είναι άξονες δράσεων και αλλαγών που μπορούν να οδηγήσουν σε βιώσιμη διαχείριση ενέργειας στο μέλλον:

- η υποκατάσταση μορφών ενέργειας βασισμένων στα ορυκτά καύσιμα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και
- η εξοικονόμηση ενέργειας.

Πολλοί πιστεύουν ότι η τεχνολογία θα δώσει άλλες λύσεις φτηνής ενέργειας που θα επιτρέψει τη συνέχιση του σημερινού μοντέλου στο διηνεκές. Η πυρηνική ενέργεια είναι μια από τις προβληθείσες λύσεις. Όμως, η τεχνολογία αντιδραστήρων σχάσης δεν έχει βρει λύση για τη διάθεση των ραδιενεργών αποβλήτων και σε καμιά περίπτωση η πυρηνική ενέργεια σχάσης δεν μπορεί να θεωρηθεί βιώσιμη. Εξ άλλου, σύντηξη υδρογόνου, που έχει προβληθεί ως μια καλύτερη λύση, αποτελεί απλώς μια υπόθεση με μεγάλη πιθανότητα να διαψευστεί (Vernon, 2007) ενώ, ακόμη και αν δεν διαψευστεί, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε ποια προβλήματα και κινδύνους θα έχει. Το υδρογόνο έχει προβληθεί τελευταία και ως συμβατικό καύσιμο που στο μέλλον θα υποκαταστήσει (π.χ. στις μεταφορές) το πετρέλαιο. Η αντίληψη

αυτή είναι εσφαλμένη, αφού το υδρογόνο δεν είναι πρωτογενές καύσιμο γιατί δεν απαντά ελεύθερο στη φύση. Για να το χρησιμοποιήσει κανείς πρέπει πρώτα να το παρασκευάσει, κάτι που προφανώς θα απαιτήσει περισσότερη ενέργεια απ' όση μπορεί να αποδώσει η καύση του. Απλώς με υδρογόνο μπορούν να φτιαχτούν «μπαταρίες» (κυψέλες υδρογόνου) για αποθήκευση ενέργειας, που όμως για να γεμίσουν χρειάζονται πρωτογενή ενέργεια.

Πρωτογενής αιφορική πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος. Η ηλιακή ενέργεια είναι στη βάση της πυρηνική ενέργεια σύντηξης υδρογόνου, με τη διαφορά ότι είναι φυσική και βρίσκεται σε ασφαλή απόσταση. Με τις μετατροπές που υφίσταται στο υδροκλιματικό σύστημα της Γης, η ηλιακή – κατά βάση – ενέργεια προσφέρεται σε διάφορες ανανεώσιμες μορφές και μπορεί να αξιοποιηθεί με αντίστοιχες τεχνολογίες. Τα υδροηλεκτρικά έργα, μικρά και μεγάλα, είναι μία από αυτές. Τα αιολικά πάρκα, τα φωτοβολταϊκά τόξα, τα βιοκαύσιμα, οι κυματογεννήτριες κτλ. αξιοποιούν άλλες μορφές ενέργειας, που όλες έχουν τη βάση τους στην ηλιακή ενέργεια. Η γεωθερμία, κατά το μέρος που είναι ανανεώσιμη, συνδέεται επίσης με την ηλιακή ενέργεια.

Από φυσικής πλευράς η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας είναι ασύλληπτα μεγάλη (προκαλεί δε έκπληξη που αυτό δεν είναι ευρέως γνωστό), αλλά από τεχνικής και οικονομικής πλευράς καλύπτει σήμερα ελάχιστο μέρος της συνολικής παραγωγής. Τεκμηρίωση του εξαιρετικά μεγάλου μεγέθους της ηλιακής ενέργειας δίνει ο Πίν. 1.

Πίν. 1 Χαρακτηριστικά ενεργειακά μεγέθη στην κλίμακα της Γης

Μέγεθος	Τιμή	Σύγκριση με την ηλιακή ενέργεια
Σημερινός ρυθμός ανθρωπογενούς παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας στον πλανήτη	13 TW = 13×10^{12} W	Ισοδυναμεί με το 0.01% του ρυθμού με τον οποίο τροφοδοτείται η Γη με ηλιακή ενέργεια ($120 \text{ PW} = 1.2 \times 10^5 \text{ TW} = 1.2 \times 10^{17} \text{ W}$).
Ενέργεια που απελευθερώθηκε από το σεισμό του Ινδικού Ωκεανού το 2004, μεγέθους 9.1-9.3 της κλίμακας Richter	3.35 EJ = 3.35×10^{18} J	Ισοδυναμεί με την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη σε λιγότερο από μισό λεπτό
Ετήσια χρήση ενέργειας για όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες στον πλανήτη	460 EJ = 460×10^{18} J	Ισοδυναμεί με την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη σε περίπου 1 ώρα
Ενεργειακό περιεχόμενο του συνόλου των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων πετρελαίου στον πλανήτη	17 ZJ = 17×10^{21} J	Ισοδυναμεί με την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη σε μία ημέρα και 14 ώρες

Πηγή: Grabtree and Lewis (2007) για το πλείστο των στοιχείων.

Παρά ταύτα, η οικονομική εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στην άμεση μορφή της (ακτινοβολία) δεν είναι γενικά συμφέρουσα με τη σημερινή τεχνολογία. Επισημαίνεται, ωστόσο, ότι (α) οι τεχνολογίες μετατροπής της ηλιακής ενέργειας είναι πρόσφατες (1970 και μετά)· (β) τα κόστος των μονάδων μετατροπής της ηλιακής ενέργειας έχει μειωθεί κατά δύο τάξεις μεγέθους τα τελευταία 30 χρόνια· (γ) το κόστος αυτό θα πρέπει να μειωθεί άλλες δύο τάξεις μεγέθους για να μπορεί να γενικευτεί η εμπορική χρήση της ηλιακής ενέργειας (Kerr, 2005)· και (δ) ήδη υπάρχουν ελπιδοφόρα ερευνητικά αποτελέσματα που διαφαίνεται ότι θα καταστήσουν τεχνικο-οικονομικά εφικτή τη χρήση ηλιακής ενέργειας (Grabtree and Lewis, 2007).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναλάβει σοβαρές πρωτοβουλίες για την προώθηση των τεχνολογιών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Με την Οδηγία 2001/77 θέτει ως προτεραιότητα την αύξηση της συμβολής των ΑΠΕ, κατανέμει τις υποχρεώσεις που προκύπτουν από το Πρωτόκολλο του Κυότο στα κράτη – μέλη και ορίζει το κοινοτικό πλαίσιο δράσης. Καθορίζονται ως στόχοι για το 2010 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ να ανέρχεται στο 12% της ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας και στο 22.1% της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και κατανέμονται οι επιμέρους εθνικοί στόχοι. Για την Ελλάδα ως στόχος για το 2010 τίθεται, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές να καλύπτει την ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό 20.1%. Τα κράτη-μέλη καλούνται να λάβουν μέτρα ώστε να αρθεί κάθε νομικό-διοικητικό εμπόδιο για την εκπλήρωση των δεσμεύσεών τους. Κάθε χώρα υποχρεούται στην κατάρτιση Εθνικής Έκθεσης για την εξέλιξη της διείσδυσης των ΑΠΕ ανά διετία και η Επιτροπή συντάσσει ανά πενταετία αντίστοιχη έκθεση προς το Συμβούλιο, όπου αναλύεται η επιτευχθείσα πρόοδος, επαναπροσδιορίζονται οι στόχοι και αναλύονται οι προοπτικές και προτάσεις για το μέλλον. Η εξειδίκευση των απαιτήσεων για την Ελλάδα ανά τεχνολογία ΑΠΕ συνοψίζεται στον Πίν. 2.

Πίν. 2 Απαιτήσεις εγκατάστασης μονάδων ΑΠΕ στην Ελλάδα για την επίτευξη του στόχου του 2010.

Τεχνολογία	Απαιτήσεις ισχύος το 2010 (MW)	Παραγωγή ενέργειας το 2010 (TWh)	Ποσοστιαία % συμμετοχή ανά τύπο ΑΠΕ το 2010
Αιολικά πάρκα	3 372	7.09	10.42
Μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα	3 325	4.58	6.74
Μικρά υδροηλεκτρικά έργα	364	1.09	1.60
Βιομάζα	103	0.81	1.19
Γεωθερμία	12	0.09	0.13
Φωτοβολταϊκά	18	0.02	0.03
Σύνολα	7 193	13.67	20.10

Πηγή: ΥΠΙΑΝ (2005)

2. Υδροηλεκτρική ενέργεια

Σε αντίθεση με την άμεση ηλιακή ενέργεια που η τεχνολογία εκμετάλλευσής της είναι στα σπάργανα, η υδροηλεκτρική, που αποτελεί έμμεση-παράγωγη μορφή της πρώτης, ξεκίνησε να εφαρμόζεται σε υδροηλεκτρικά έργα (ΥΗΕ) μεγάλης κλίμακας από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Την τελευταία δεκαετία οι τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεψαν τη μαζική εμπορική αξιοποίηση και της αιολικής ενέργειας.

Μειονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι η σημαντική αρχική επένδυση που προϋποθέτει, λόγω των μεγάλης κλίμακας έργων, και οι σημαντικές αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη δημιουργία τεχνητής λίμνης και την κατάκλυση μεγάλων

εκτάσεων, τη διακοπή της συνέχειας του ποτάμιου οικοσυστήματος και τη διακοπή της τροφοδοσίας των κατάντη εκτάσεων με φερτές ύλες. Όμως τα πλεονεκτήματά της υπερ-αντισταθμίζουν τα μειονεκτήματα στο πλείστο των περιπτώσεων. Στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται το γεγονός ότι αποτελεί καθαρή ανανεώσιμη ενέργεια με μηδενικό κόστος καυσίμου και μηδενικές εκπομπές ρύπων*, οι θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη δημιουργία λιμνών και νέων οικοσυστημάτων, η ευελιξία των μονάδων ενεργειακής μετατροπής που επιτρέπουν τη χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αιχμών της ζήτησης, η προστασία από πλημμύρες των κατάντη περιοχών και η ρύθμιση των εισροών που επιτρέπει την αξιοποίηση του νερού και για άλλες επιπρόσθετες χρήσεις ταυτοχρόνως. Κατά συνέπεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια εναρμονίζεται με την αρχή της αειφορίας.

Πίν. 3 Μεγάλα ΥΗΕ σε λειτουργία.

A/A	ΥΗΕ	Ποταμός	Έτος ένταξης	Αριθμός εγκατ. μονάδων	Συνολική εγκατ. ισχύς (MW)	Ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα (hm ³)
1	Κρεμαστά	Μέσος Αχελώος	1965	4	437.2	2 820.0
2	Καστράκι		1970	4	320.0	74.0
3	Στράτος I+II		1988	2+2	156.2	14.0
Σύνολο συγκροτήματος					913.4	2 908.0
4	Πλαστήρας*	Ταυρωπός (Αχελώος)	1962	3	129.3	300.0
5	Πηγές Αώου**	Αώος και Άραχθος	1990	2	210.0	170.0
6	Πουρνάρι I		1981	3	300.0	323.0
7	Πουρνάρι II		1988	3	33.6	4.5
Σύνολο συγκροτήματος					543.6	497.5
8	Λάδωνας	Λάδωνας	1956		70.0	50.0
9	Άγρας	Βόδας	1956		50.0	
10	Εδεσσαίος	Εδεσσαίος	1969		19.0	
11	Πολύφυτο	Αλιάκμονας	1974	3	375.0	1 300.0
12	Σφηκιά***		1985	3	315.0	20.0
13	Ασώματα		1985	2	108.0	14.0
Σύνολο συγκροτήματος					808.8	1 334.0
14	Θησαυρός****	Νέστος	1997	3	384.0	680.0
15	Πλατανόβρυση		2000	2	116.0	72.0
Σύνολο συγκροτήματος					500.0	752.0
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ					3054.1	

*Εκτροπή Αχελώου προς Θεσσαλία

**Εκτροπή Αώου προς Άραχθο

***Αντιστρεπτός σταθμός (Αντληση από Ασώματα προς Σφηκιά)

****Αντιστρεπτός σταθμός (Αντληση από Πλατανόβρυση προς Θησαυρό)

* Σε ορισμένες περιπτώσεις, ΥΗΕ, κυρίως σε τροπικές περιοχές, έχουν πρόσφατα ενοχοποιηθεί για εκπομπές μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό συμβαίνει μόνο όταν δεν έχει καθαριστεί η λεκάνη κατάκλυσης από τα δέντρα.

Λόγω του ευνοϊκού τοπογραφικού αναγλύφου, η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό υδροδυναμικό, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου συγκεντρώνεται στο δυτικό και βόρειο τμήμα της, όπου βρίσκονται οι μεγάλοι ποταμοί Αχελώος, Αραχθός, Αώος, Αλιάκμονας και Νέστος. Παρόλα αυτά, μικρό μέρος του δυναμικού αυτού αξιοποιείται, ενώ παράλληλα η χώρα κάνει υπερβολική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, σχεδόν 40% περισσότερη από ανάλογους πληθυσμούς (Παπαβρανούσης, 2002). Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες εξάντλησαν σε μεγάλο ποσοστό την ανάπτυξη του υδροδυναμικού τους και κατά συνέπεια η ηλεκτροπαραγωγή από μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα δεν αναμένεται να συμβάλει ουσιαστικά στην υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων. Η Ελλάδα αποτελεί εξαίρεση: μόνο το ένα τρίτο του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού χρησιμοποιείται ή βρίσκεται υπό αξιοποίηση. Διαθέτει επομένως η χώρα σοβαρά ανεκμετάλλευτα αποθέματα εγχώριων, καθαρών και ανανεώσιμων υδατικών ενεργειακών πηγών, για την αξιοποίηση των οποίων υπάρχει και όλη η απαιτούμενη εγχώρια τεχνογνωσία και η κατασκευαστική υποδομή (Ξανθόπουλος, 1996).

Συγκεκριμένα, το μέσο ετήσιο εκμεταλλεύσιμο υδροδυναμικό της χώρας έχει εκτιμηθεί σε 15 TWh περίπου, που θα μπορούσε να καλύψει μέχρι το 30% των σημερινών αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, έναντι σημερινού ποσοστού κάτω από 10%. Τα σημαντικά υδροηλεκτρικά έργα που βρίσκονται σε λειτουργία καταγράφονται στον Πίν. 3 κατά ποταμό. Έργα που αναμένεται να λειτουργήσουν μέχρι το 2010 καταγράφονται στον Πίν. 4 ενώ άλλα πιθανά μελλοντικά έργα που έχουν μελετηθεί καταγράφονται στον Πίν. 5.

Πίν. 4 Μεγάλα ΥΗΕ που αναμένεται να λειτουργήσουν μέχρι το 2010.

A/A	ΥΗΕ	Ποταμός	Συνολική εγκατ. ισχύς (MW)
1	Μεσοχώρα	Άνω Αχελώος	161.6
2	Συκιά		126.5
3	Πευκόφυτο		160.0
4	Μετσοβίτικος	Αραχθός	25.0
5	Ιλαρίωνας	Αλιάκμονας	120.0
6	Τέμενος	Νέστος	19.0
Σύνολο			612.1

Πηγή: ΥΠΑΝ, 2005

Πίν. 5 Μεγάλα ΥΗΕ που έχουν μελετηθεί.

Ποταμός	Θέση μελλοντικού υδροηλεκτρικού έργου
Αραχθός	Στενό, Καλαρίτικος, Άγιος Νικόλαος (ή/και Πιστιανά)
Καλαμάς	Μινίνα, Βροσίνα, Σουλόπουλο, Γλύζιανη
Αώος	Άρματα, Βωβούσα, Ελεύθερο, Αγία Βαρβάρα, Πυρσόγιαννη, Επταχώρι
Αλιάκμονας	Ελάφι, Νεστόριο, Κορομηλιά, Σπήλαιο, Μετόχι, Τρίκωμο
Αχελώος	Τρικεριώτης, Μαρκόπουλο, Βίνιανη, Αυλάκι

Πηγές: Θεοδωράκης κ.ά. (2000), Στεφανάκος (2002)

3. Μικρά υδροηλεκτρικά έργα

Η κατασκευή μικρών υδροηλεκτρικών έργων, που σε αντίθεση με τα μεγάλα δεν προϋποθέτουν την κατασκευή φράγματος και ταμιευτήρα ή ρύθμιση της ροής, ξεκίνησε στην Ελλάδα από τη δεκαετία του 1920, δηλαδή πολύ πριν την κατασκευή μεγάλων έργων. Κατά σύμβαση (για διάκρισή τους από τα μεγάλα) μικρά υδροηλεκτρικά έργα θεωρούνται συνήθως όσα έχουν εγκατεστημένη ισχύ κάτω των 15 MW (παλιότερα το κατώφλι αυτό ήταν 15 MW). Τα κυριότερα μικρά ΥΗΕ σε λειτουργία παρουσιάζονται στον Πίν. 6.

Πίν. 6 Κυριότερα σε λειτουργία μικρά ΥΗΕ.

A/A	Μικρός ΥΗΣ	Περιοχή	Έτος ένταξης	Εγκατ. ισχύς (MW)
1	Γλαύκος	Πάτρα	1927	1.60
2	Αγυιά	Χανιά	1929	0.30
3	Αγ. Ιωάννης	Σέρρες	1931	0.30
4	Τριπόταμος	Βέροια	1929	1.80
5	Λούρος I, II	Ήπειρος	1954	5.00
6	Λούρος III	Ήπειρος	1964	5.00
8	Γκιώνα	Άμφισσα	1989	8.00
9	Σμόκοβο	Θεσσαλία	2005	10.0
10	Μακρυχώρι	Βέροια	1992	10.8
11	Βέρμιο II	Βέροια		
12	Βέρμιο III	Βέροια		
13	Άγγιστρο	Σέρρες		
14	Τσιβλός	Ακράτα	1998	1.25

Πηγή: Παπαντώνης (2002) μετά από μετατροπές

Μεταπολεμικά η ΔΕΗ, με σκοπό τον εξηλεκτρισμό της χώρας, είχε στρέψει το ενδιαφέρον της στα μεγάλα ΥΗΕ, ενώ το σχετικό νομικό πλαίσιο μέχρι το 1985 δεν έδινε τη δυνατότητα κατασκευής ΥΗΕ στην τοπική αυτοδιοίκηση και στους ιδιώτες (Παπαντώνης, 2002). Όμως τα τελευταία χρόνια, ως συνέπεια της αντίστοιχης ευρωπαϊκής πολιτικής, των επιδοτήσεων και της αλλαγής του θεσμικού πλαισίου, το ενδιαφέρον για μικρά υδροηλεκτρικά έργα αναζωπυρώθηκε. Το νέο θεσμικό πλαίσιο περιέλαβε μια σειρά από νόμους, ως ακολούθως:

- Ο Ν. 1559/1985 «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις», έδωσε τη δυνατότητα στους ΟΤΑ για εγκατάσταση ΑΠΕ, ενώ ο ιδιωτικός τομέας παρέμεινε εκτός σκηνής.
- Ο Ν. 2941/2001 αντιμετώπισε αποτελεσματικά το θέμα εγκατάστασης ΑΠΕ σε δάση και δασικές εκτάσεις με διατάξεις που έγιναν αποδεκτές και κρίθηκαν συνταγματικές από το Συμβούλιο της Επικρατείας. Επίσης κάλυψε σημαντικά κενά του νομοθετικού ιστού και αντιμετώπισε πολλά στοιχεία παθογένειας του αδειοδοτικού συστήματος.

- Ο Ν. 3175/2003 αφορά κυρίως την εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού, αλλά κύριος σκοπός του ήταν η ανάπτυξη και ενίσχυση του ανταγωνισμού στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, η προσέλκυση νέων επενδυτικών πηγών και η επίτευξη ανταγωνιστικών τιμών για τον καταναλωτή.
- Ο Ν. 3468/2006 είχε σκοπό την προσαρμογή στο ελληνικό δίκαιο της Οδηγίας 2001/77 και την προώθηση κατά προτεραιότητα στην εσωτερική αγορά της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης.

Μέχρι σήμερα έχουν αδειοδοτηθεί 250 μικρά υδροηλεκτρικά έργα, από τα οποία 149, 53 και 48 βρίσκονται αντίστοιχα στο στάδιο της Άδειας Παραγωγής, Εγκατάστασης και Λειτουργίας (Δουρίδας, 2006). Όταν ολοκληρωθεί το σύνολο αυτών των έργων (κατ' εκτίμηση στην επόμενη πενταετία) θα προστεθεί συνολική επιπλέον ισχύς 430 MW μικρών υδροηλεκτρικών μονάδων, αυξάνοντας την αξιοποίηση του εγχώριου ενεργειακού υδροδυναμικού κατά 14%. Το σύνολο αυτών των 250 έργων ισοδυναμεί ως προς την εγκατεστημένη ισχύ με τον ΥΗΣ Κρεμαστών.

4. Αποθήκευση ενέργειας

Όπως προαναφέρθηκε, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα δεν κάνουν ρύθμιση της ροής και η παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται από τη φυσική παροχή του ποταμού (είναι μεγάλη κατά τις πλημμύρες και μικρή κατά τις ξηρές περιόδους). Αντίστοιχα, η αιολική ενέργεια παράγεται με ρυθμό που καθορίζεται από την ταχύτητα ανέμου, η οποία έχει έντονη μεταβλητότητα. Τέλος, η άμεση ηλιακή ενέργεια μηδενίζεται τη νύχτα, ενώ την ημέρα εξαρτάται από τον καιρό (ηλιοφάνεια ή νέφωση). Κατά συνέπεια, όλες αυτές οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας έχουν το μειονέκτημα της χρονικής αναντιστοιχίας της παραγωγής, η οποία δεν επιδέχεται ανθρώπινο έλεγχο, με τη ζήτηση. Δημιουργείται, επομένως, η ανάγκη της αποθήκευσης ενέργειας για μικρά έως μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η ανάγκη της αποθήκευσης υπήρχε και παλαιότερα, επειδή οι θερμικές μονάδες δεν είναι ευέλικτες και κατά περιόδους (τη νύχτα) η ενέργεια που παράγουν είναι μεγαλύτερη της ζήτησης. Ωστόσο, η ανάγκη της αποθήκευσης θα μεγαλώσει στο μέλλον σημαντικά, λόγω της μεγαλύτερης συμμετοχής των ΑΠΕ.

Η μόνη αξιόπιστη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας παρέχεται από τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα των οποίων οι μονάδες μετατροπής ενέργειας είναι αντιστρεπτές, δηλαδή μπορούν να λειτουργούν είτε ως στρόβιλοι (φάση παραγωγής), είτε ως αντλίες (φάση αποθήκευσης).^{*} Ο όλος κύκλος (άντληση και παραγωγή) έχει βαθμό απόδοσης που μπορεί να φτάνει το 90%, τιμή ασύλληπτα υψηλή σε σύγκριση με άλλους τρόπους ενεργειακών μετατροπών.

^{*} Είναι απορίας άξιο το γεγονός ότι (σε αντίθεση π.χ. με την τεχνολογία υδρογόνου), δεν προβάλλεται η γνωστή από παλιά υδροηλεκτρική τεχνολογία αποθήκευσης. Αναφέρεται ως παράδειγμα το πρόσφατο σημαντικό άρθρο των Grabtsee and Lewis (2007) που ιχνηλατεί το μέλλον των τεχνολογιών ΑΠΕ, αλλά ωστόσο αναφέρει ότι η ηλεκτρική ενέργεια είναι δύσκολο να αποθηκευτεί και ότι το πρόβλημα της αποθήκευσης είναι άλυτο με την παρούσα τεχνολογία, αγνοώντας ότι το πρόβλημα είναι από πολύ καιρό πλήρως λυμένο για την ηλεκτρική ενέργεια μέσω των υδροηλεκτρικών έργων.

Όπως φαίνεται στον Πίν. 3, στην Ελλάδα υπάρχουν σήμερα δύο αντιστρεπτοί σταθμοί, Ασώματα-Σφηκιά και Πλατανόβρυση-Θησαυρός. Στο σχεδιασμό των Καλαούζη-ELECTROWATT-Μαρίνου-Κουτσογιάννη (Κουτσογιάννης, 1996) των έργων εκτροπής Αχελώου, οι σταθμοί Πευκοφύτου και Μουζακίου σχεδιάστηκαν ως αντιστρεπτοί (με τελικούς συντελεστές απόδοσης, παίρνοντας υπόψη το σύνολο των ενεργειακών απωλειών, 80% και 71%, αντίστοιχα). Με δεδομένη την παροδική λειτουργία των υπόψη σταθμών για την εκτροπή (μόνο το καλοκαίρι) υπάρχει μεγάλο χρονικό περιθώριο αξιοποίησής τους αποκλειστικά για αποθήκευση ενέργειας, οπότε το ενεργειακό και οικονομικό όφελος θα είναι ιδιαίτερα σημαντικό.

5. Κατανάλωση ενέργειας

Ορισμένες δραστηριότητες που σχετίζονται με το νερό έχουν αποτέλεσμα την κατανάλωση ενέργειας, αντί την παραγωγή ή αποθήκευση. Η μεταφορά νερού από χαμηλότερα υψόμετρα ή η άντλησή του από γεωτρήσεις είναι η πιο τυπική από αυτές. Στην Ελλάδα, μια από τις πλέον ενεργοβόρες δραστηριότητες (η δεύτερη μετά τις διεργασίες της βιομηχανίας αλουμινίου) είναι η άντληση νερού από την Υλίκη και η μεταφορά του στη Αθήνα. Το αντλιοστάσιο της ΕΥΔΑΠ στην Υλίκη είναι το μεγαλύτερο των Βαλκανίων. Εκτός από τις σημειακές καταναλώσεις, διάσπαρτες είναι χιλιάδες γεωτρήσεις που καταναλώνουν σημαντικά ποσά ενέργειας. Όσο και αν είναι αιτιολογημένη η άντληση για υδρευτικό νερό, η άντληση για αρδευτικό νερό από μεγάλα βάθη (που σε μερικές περιπτώσεις έχουν φτάσει τα 200 ή ακόμη και τα 300 m) αντιβαίνει στις αρχές της βιωσιμότητας, της προστασίας του περιβάλλοντος, της οικονομικότητας και αποδοτικότητας στη χρήση ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας, όπως μπορεί να τεκμηριωθεί με απλούς υπολογισμούς*.

Κατά συνέπεια, όπου είναι εφικτή η υποκατάσταση των υπόγειων νερών από επιφανειακά, μέσω της κατασκευής ταμιευτήρων αντί γεωτρήσεων (π.χ. στη Θεσσαλία) τα οφέλη θα είναι πολλαπλά, ενεργειακά (παραγωγή ενέργειας αντί κατανάλωση), οικονομικά και περιβαλλοντικά.

Άλλη ενεργοβόρα δραστηριότητα σχετική με το νερό είναι η αφαλάτωση. Στην Ελλάδα η αφαλάτωση ορθώς έχει θεωρηθεί ως λύση ανάγκης (π.χ. για άνυδρα νησιά) και μόνο για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών όταν δεν υπάρχουν άλλες λύσεις. Προβάλλοντας το πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων στο μελλοντικό ενεργειακό τοπίο που προαναφέρθηκε, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να επιμείνουμε και στο μέλλον στην αποφυγή της λύσης της αφαλάτωσης, εκτός από ειδικές περιπτώσεις.

* Για άντληση 1 m³ νερού από βάθος 300 m με συντελεστή απόδοσης $n = 0.80$ χρειάζεται ενέργεια $E = mgh/n = 1000 \times 9.81 \times 300/0.8 = 3.7 \times 10^6 \text{ J} \approx 1 \text{ kWh}$. Για την άρδευση 1 ha καλλιέργειας (με 1 m ύψος νερού, μαζί με τις απώλειες) χρειάζονται 10 000 kWh = 36 000 MJ. Το κόστος, χωρίς να ληφθούν υπόψη τυχόν επιδοτήσεις, με τιμή μονάδας 0.05 €/kWh (οικιακή τιμή 0.07 €/kWh – αντίστοιχη της μοναδιαίας τιμής γεωργικού οφέλους από άρδευση, 0.06 €/m³), είναι 500 €/ha. Για την παραγωγή αυτής της ενέργειας απαιτείται 36 000 MJ / 14 MJ/kg = 2 500 kg λιγνίτης (Smil, 2006, σ. 16). Ως συνέπεια εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα 10 000 kWh × (1.0-1.6 kg/kWh) = 10 000-16 000 ισοδύναμα kg CO₂.

Αναφορές

- Grabtree, G. W. and N. S. Lewis, Solar energy conversion, *Physics Today*, 60(3), 37-42, 2007 (<http://link.aip.org/link/PHTOAD/v60/i3/p37/s1/pdf>).
- Crabtree, G., N. Lewis, A. Nozik, M. Wasielewski, and P. Alivisatos, Solar Energy: Challenges and Opportunities, *BES Workshop on Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*. April 21-24, 2005 (www.msdl.gov/events/colloquium/docs/GWC_Solar2_1-06.ppt)
- Campbell, C, The end of the first half of the age of oil, *IV International workshop on oil and gas depletion*. Lisbon, Portugal, 2005 (<http://www.cge.uevora.pt/asp2005/abstracts.php>).
- Hubbert, M.K., Nuclear Energy and the Fossil Fuels, Presented before the Spring Meeting of the Southern District, *American Petroleum Institute*, San Antonio, Texas, March 7-9, 1956.
- Kerr, R.A. and Service, R.F., What Can Replace Cheap Oil--and When?, *Science*, 309, 101, 2005.
- Larson, R., The Future is Renewable Energy, *Solar Today*, 20(2), 4, 2006.
- Lewis, N. S., and G. Crabtree, Basic research needs for solar energy utilization, *Report on the Basic Energy Sciences Workshop*, Office of Basic Energy Science, US Department of Energy, 2005 (http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SEU_rpt.pdf).
- Vernon, C., Will Nuclear Fusion Fill the Gap Left by Peak Oil?, 2007 (<http://europe.theoil.com/node/2164>)
- Δουρίδας, Χ., *Ανάπτυξη συστήματος πληροφοριών για τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα στην Ελληνική επικράτεια*, Μεταπτυχιακή εργασία, 85 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2006.
- Θεοδωράκης, Μ., Ν. Σ. Μάργαρης και Η. Καϊνάδας, *Υδροβιότοποι της ΔΕΗ*, Καστανιώτης, Αθήνα, 2000.
- Κουτσογιάννης, Δ., Μελέτη λειτουργίας ταμιευτήρων, *Γενική διάταξη έργων εκτροπής Αχελώου προς Θεσσαλία*, Ανάδοχος: Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Αχελώου - Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων - Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Συνεργαζόμενοι: Γ. Καλαούζης, ELECTROWATT, Π. Μαρίνος, Δ. Κουτσογιάννης, 420 σελίδες, 1996.
- Ξανθόπουλος, Θ., Διαχείριση των υδατικών πόρων: θεωρητικές ελπίδες και ρεαλιστική προσέγγιση, *Συνέδριο ΤΕΕ – Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας*, Λάρισα, 13–16 Νοεμβρίου 1996.
- Παπαβρανούσης, Σ., Υδροηλεκτρικά, *Ενημερωτικό δελτίο ΤΕΕ*, 19 Μαρτίου 2002.
- Παπαντώνης, Δ., Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα (ΥΗΕ) στον ελληνικό χώρο, *Πυρφόρος*, Τεύχος 5, Ιούνιος 2002.
- Στεφανάκος, Ι. Το Υδροδυναμικό της Ελλάδας. Προοπτικές για παραπέρα ανάπτυξη και αξιοποίηση στην παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, *Επιστημονικό συνέδριο Ενέργεια 2002*, ΕΜΠ, Χαλκίδα, 2002.
- Υπουργείο Ανάπτυξης, 3η Εθνική Έκθεση για το Επίπεδο Διεύθυνσης της Ανανεώσιμης Ενέργειας το 2010, Αθήνα, 2005.