

Ανάλυση Κύκλου Ζωής των φραγμάτων

Κίμων Χατζημπίρος

Αναπληρωτής καθηγητής, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος ΕΜΠ

Λέξεις κλειδιά: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κύκλος ζωής, αποξήλωση φράγματος, κίνηση ιχθυοπληθυσμών, αέρια φαινομένου θερμοκηπίου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Τα φράγματα, ιδίως τα μεγάλα, έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η μελέτη τους απαιτεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις των φαινομένων της λεκάνης απορροής και συνυπολογισμό κοινωνικών και πολιτιστικών ζητημάτων. Ορισμένες σοβαρές επιπτώσεις, όπως η παρεμπόδιση της μετακίνησης των ιχθυοπληθυσμών ή η εκπομπή αερίων φαινομένου θερμοκηπίου διαρκούν καθ' όλη την διάρκεια ύπαρξης του φράγματος. Η εκτίμησή τους χρειάζεται να βασιστεί σε Ανάλυση Κύκλου Ζωής του φράγματος, με συνυπολογισμό όλων των βασικών παραμέτρων από την κατασκευή έως την αποξήλωση.

1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τα μεγάλα φράγματα έχουν συχνά επικριθεί για τις αρνητικές περιβαλλοντικές ή και κοινωνικές επιπτώσεις τους. Πράγματι, τόσο κατά την φάση κατασκευής όσο και κατά την φάση λειτουργίας, προκαλούν σημαντικές αλλοιώσεις στο περιβάλλον.

Οι περιβαλλοντικές συνέπειες των μεγάλων φραγμάτων εξαρτώνται {9} από το καθεστώς ροής του ποταμού, τη μεταφορά φερτών και θρεπτικών, το σχήμα του καναλιού, την θερμοκρασία και την χημική κατάσταση του νερού, τα οικολογικά ενδιαιτήματα, την ποικιλία υδατικών πληθυσμών αλγών, ασπονδύλων ή σπονδυλωτών κ.λπ. Τα υλικά κατασκευής του φράγματος επίσης επηρεάζουν την περιβαλλοντική του συμπεριφορά {6}. Το είδος και η βαρύτητα των επιπτώσεων συνδέονται με το μέγεθος των φραγμάτων, καθώς και με άλλα χαρακτηριστικά του ποταμού και της λεκάνης. Υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις επιπτώσεις μεταξύ μεγάλων και μικρών φραγμάτων ή μεταξύ φραγμάτων με ταμιευτήρα και χωρίς. Δεν είναι σαφές σε ποιο βαθμό μπορεί η υπάρχουσα εκτεταμένη γνώση για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεγάλων φραγμάτων να αξιοποιηθεί για την εκτίμηση των επιπτώσεων μικρών φραγμάτων.

Ειδικότερα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεγάλων φραγμάτων συνδέονται κυρίως {18} με:

- Την κατάκλιση φυσικών και αγροτικών συστημάτων, οικισμών και ανθρώπινων κατασκευών από το νερό των ταμιευτήρων
- Την συγκράτηση φερτών και θρεπτικών υλικών, με συνέπεια την αφαίρεσή τους από την κατάντη λεκάνη απορροής ή από την ακτή
- Αλλαγές στο καθεστώς διάβρωσης, στις πλημμύρες και στα χειμαρρικά φαινόμενα της λεκάνης απορροής
- Μειωμένη οξυγόνωση του νερού
- Αλλαγές στην στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, στην ποσότητα και στην ποιότητα του υπόγειου νερού
- Αλλαγές στο μικροκλίμα της περιοχής
- Παρεμπόδιση της κίνησης των ιχθύων κατά μήκος του ποταμού

- Αλλαγές στα υδατικά οικοσυστήματα και σε φυσικοχημικές ή βιολογικές διεργασίες, ενδεχόμενη ανάπτυξη παθογόνων οργανισμών
- Υποβάθμιση του φυσικού τοπίου λόγω εκσκαφών, δανειοθαλάμων, αποθέσεων μπάζων κ.λπ.
- Αλλαγή του φυσικού τοπίου λόγω της παρουσίας του ταμιευτήρα.

Η ουσιαστική προσέγγιση των επιπτώσεων επιβάλλει την κατανόηση της λειτουργίας των οικοσυστημάτων στα οποία γίνεται επέμβαση. Χρειάζεται ανάπτυξη στρατηγικής για μια ολοκληρωμένη διαχείριση της λεκάνης απορροής. Απαιτείται επιστημονική γνώση, αλλά επίσης και συνεργασία με τους τοπικούς παράγοντες της διοίκησης, της παραγωγής και των κοινωνικών οργανώσεων {8}. Μερικές φορές η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων επιφέρει σημαντικές πολιτιστικές επιπτώσεις. Ο εντοπισμός τους απαιτεί διαβούλευση με τις τοπικές κοινωνίες, ιδιαίτερα με το θηλυκό τμήμα του πληθυσμού, η οποία ενίοτε δεν είναι ικανοποιητική {12}.

Μια ευρεία προσέγγιση του θέματος της υγείας είναι αναγκαία κατά την εκτίμηση περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων από μεγάλα έργα κατασκευής φραγμάτων {4}. Η μέριμνα για την δημόσια υγεία έχει εστιαστεί κυρίως στη νοσηρότητα από φορείς ασθενειών, όπως η σχιστοσωμίαση, που συνδέονται με αρδευτικούς και υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες. Τα μεγάλα φράγματα επηρεάζουν επίσης θετικά ή αρνητικά την υγεία μέσω αλλαγών στην εξασφάλιση επαρκούς νερού και τροφής, μέσω αύξησης των μεταδοτικών ασθενειών ή μέσω διάρρηξης της κοινωνικής συνοχής εξ αιτίας κυρίως της αναγκαστικής μετεγκατάστασης πληθυσμών. Εξ άλλου, κοινότητες που ζουν σε μικρή απόσταση από μεγάλα φράγματα συχνά δεν επωφελούνται αρκετά από την διαθεσιμότητα νερού ή το εισόδημα της ηλεκτρικής παραγωγής.

Η μεγάλη πλειοψηφία των σχετικών μελετών αφορά σε φράγματα διαχείρισης νερού. Ειδική περίπτωση, με συχνά πολύ σοβαρές επιπτώσεις, είναι τα φράγματα που κατασκευάζονται για τον σχηματισμό ταμιευτήρων τοξικών αποβλήτων. Σε αυτούς αποθηκεύονται ρευστά απόβλητα μεταλλείων (λίμνες τελμάτων) ή και άλλων δραστηριοτήτων. Η ρήξη ενός τέτοιου φράγματος δυνητικά συνεπάγεται εκτεταμένη ρύπανση της κατάντη λεκάνης απορροής, ενώ σοβαροί κίνδυνοι προκαλούνται και από μικρότερης κλίμακας διαρροές {17}.

Σε κάθε περίπτωση, μια ολοκληρωμένη προσέγγιση απαιτεί την θεώρηση του φράγματος καθ' όλο τον κύκλο ζωής του. Η ανάγκη αυτή έχει αναδειχθεί ιδιαίτερα για ορισμένες πλευρές των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως τα δύο παραδείγματα που παρουσιάζονται διεξοδικότερα στη συνέχεια.

2 Η ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΙΧΘΥΟΠΛΗΘΥΣΜΩΝ ΚΑΙ Η ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

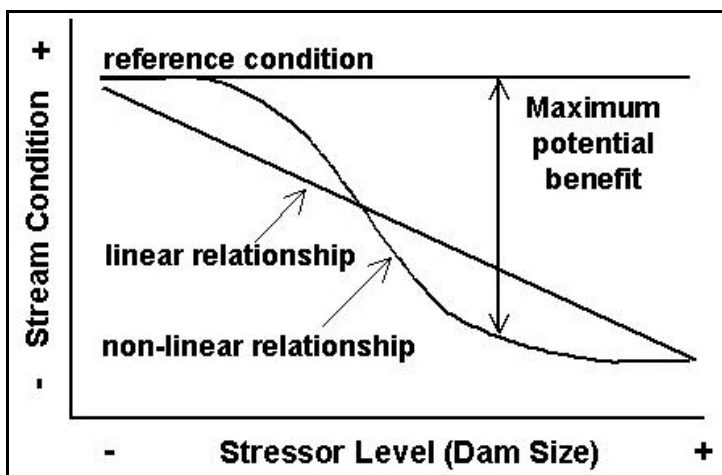
Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η ερευνητική δραστηριότητα έδειξε ότι τα φράγματα είναι ο βασικός υπεύθυνος για την πορεία προς εξαφάνιση πολλών ειδών σολωμού και άλλων ιχθύων. Τα φράγματα εμποδίζουν την κίνηση των ανάδρομων ιχθύων και προκαλούν θνησιμότητα στους κατάδρομους ιχθείς που εμπλέκονται στους υδροστροβίλους. Η αντιμετώπιση αυτών των επιπτώσεων έχει επιχειρηθεί με την κατασκευή ιχθυοδρόμων διαφόρων τύπων. Ειδική επιτροπή στις ΗΠΑ {1} μελέτησε 147 περιπτώσεις ιχθυοδρόμων σε υδροηλεκτρικά φράγματα. Τα συμπεράσματα αναφέρουν ότι τα οικολογικά αποτελέσματα των ιχθυοδρόμων δεν είναι τόσο ικανοποιητικά, ειδικά στην περίπτωση των κατάδρομων ιχθύων. Πάντως, χρειάζονται πολύ περισσότερα δεδομένα παρακολούθησης των ιχθύων για μια αξιόπιστη εκτίμηση.

Από την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης, οι ποταμοί με ελεύθερη ροή χωρίς φραγμούς θεωρήθηκαν σαν αχρησιμοποίητες δυνάμεις που πρέπει να «δαμαστούν» ή να «τιθασευτούν» {3}. Με μια δραματική ανατροπή των συνήθων πρακτικών της, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση των ΗΠΑ αποφάσισε ότι ένα εν ενεργεία υδροηλεκτρικό φράγμα είναι δυνατόν να αποξηλωθεί με στόχο την αποκατάσταση του ποταμού. Στις 25 Νοεμβρίου 1997, η Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας FERC, η οποία χορηγεί τις άδειες περίπου 2000 υδροηλεκτρικών φραγμάτων της χώρας που ανήκουν σε ιδιώτες, διέταξε την αφαίρεση από τον ποταμό Kennebec του Edwards Dam, ενός φράγματος ηλικίας 160 ετών, ύψους περίπου 8 και μήκους 300 m. Ο ποταμός έχει μήκος 264 km, πηγάζει από την λίμνη Moosehead στα ΒΔ του Maine και κατευθύνεται Ν προς τον Ατλαντικό. Τα στελέχη της FERC έκριναν ότι η απομάκρυνση του φράγματος ήταν ο καλύτερος και φθηνότερος τρόπος για να μπορέσουν τα 9 είδη μεταναστευτικών ψαριών, συμπεριλαμβανομένου του ατλαντικού σολωμού, να αξιοποιήσουν 27 km υδάτινου ενδιαιτήματος αναπαραγωγής τους, στα ανάντη του φράγματος. Εκτιμάται ότι η κατεδάφιση ενός φράγματος κοστίζει περίπου 1,7 φορές λιγότερο από την διατήρησή του με παράλληλη εκ των υστέρων εγκατάσταση ιχθυοδρόμου. Λίγα χρόνια πριν, μια προκαταρκτική περιβαλλοντική μελέτη είχε εκτιμήσει ότι ο ιδιοκτήτης του φράγματος, η εταιρία Edwards Manufacturing Company, μπορούσε να το διατηρήσει, αν κατασκεύαζε ένα δαπανηρό ιχθυόδρομο. Ωστόσο, η FERC ανέτρεψε αυτή την θέση, όταν νεώτερες μελέτες έδειξαν ότι η εγκατάσταση ιχθυοδρόμων δεν θα βοηθούσε αρκετά τα 4 από τα 9 είδη μεταναστευτικών ψαριών, ενώ θα κόστιζε περίπου 10 εκατομμύρια δολάρια, δηλαδή το διπλάσιο από το κόστος αποξήλωσης. Οι μελέτες έδειξαν επίσης ότι η αφαίρεση του φράγματος θα είχε μικρή επίδραση στην προμήθεια της χώρας με ηλεκτρισμό, αφού παρήγαγε μόλις 3.5 megawatts, δηλαδή λιγότερο από 0,1% των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του Maine. Τελικά, η αποξήλωση του Edwards Dam ξεκίνησε την 1/7/1999 και ολοκληρώθηκε σε μερικές εβδομάδες.

Επί πολλά χρόνια και μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '70, ο ποταμός Kennebec ήταν ένας υποβαθμισμένος αποδέκτης σημαντικών ρυπαντικών φορτίων. Δεχόταν ακατέργαστα αστικά λύματα, καθώς επίσης απόβλητα από βιομηχανίες χαρτοπολτού και χαρτιού που περιείχαν τοξικά μέταλλα, όπως υδράργυρο και αρσενικό. Η κατάσταση άρχισε να αλλάζει με έργα υγειονομικής τεχνολογίας που βελτίωσαν την ποιότητα του νερού, καθώς και με την απαγόρευση μεταφοράς ξυλείας που δυσκόλευε τη ναυσιπλοΐα. Ο ποταμός Kennebec έγινε σταδιακά ένας από τους πιο δημοφιλείς προορισμούς αλιείας. Η πίεση από τους πολυάριθμους ερασιτέχνες ψαράδες έπεισε τους πολιτικούς του Maine να ενώσουν τις δυνάμεις τους με τις περιβαλλοντικές οργανώσεις για την οικολογική αποκατάσταση του ποταμού.

Γενικά θεωρείται ότι η αποξήλωση ενός φράγματος αίρει πολλές από τις αρνητικές του επιπτώσεις. Η εκ νέου κίνηση των ιχθυοπληθυσμών με την επαναφορά της ελεύθερης ροής αποτελεί κλασικό παράδειγμα αποκατάστασης. Επιστημονικές έρευνες αρχίζουν να εξετάζουν {11} την ενδεδειγμένη διαδικασία κατεδάφισης, την αποκατάσταση των οχθών και την παρακολούθηση των φυσικών, χημικών και βιολογικών αλλαγών στην κατάντη λεκάνη, ώστε να εκτιμηθούν οι συνέπειες της επέμβασης και η αποτελεσματικότητα της αφαίρεσης φράγματος ως μεθόδου οικολογικής αποκατάστασης μιας λεκάνης απορροής.

Η πραγματοποίηση εκτιμήσεων, σύμφωνα με το Σχήμα 1, επιτρέπει αξιολόγηση του δυνητικού οφέλους από την απομάκρυνση του φράγματος, συναρτήσει μιας σειράς παραμέτρων του φράγματος και της λεκάνης απορροής, καθώς και των ειδικών στόχων διαχείρισης της λεκάνης.



Εικόνα 1. Απεικόνιση της επίπτωσης στο ποτάμι και του οφέλους από την αποξήλωση συναρτήσει του μεγέθους του φράγματος {10}

Από το 1986, στις ΗΠΑ απαιτείται αυστηρή ανταπόκριση σε περιβαλλοντικές προδιαγραφές για την ανανέωση της άδειας λειτουργίας των φραγμάτων. Είναι απαραίτητη η στάθμιση της περιβαλλοντικής βλάβης που προκαλεί το φράγμα σε συνάρτηση με την αξία της παραγωγής που προσφέρει. Η χώρα διαθέτει περισσότερα από 100.000 φράγματα, τα περισσότερα από τα οποία είναι μικρά. Πολλά από αυτά είναι άχρηστα ή δεν συντηρούνται και σε αρκετές περιπτώσεις έχει διαταχθεί η κατεδάφιση για λόγους ασφαλείας και αφού τα φράγματα έχουν εγκαταλειφθεί από τους ιδιοκτήτες τους. Η αποξήλωση των φραγμάτων συχνά περιορίζεται στην απομάκρυνση ενός μόνον μέρους από το δομικό υλικό τους, ώστε να αποκατασταθεί η ελεύθερη ροή. Τα τιμωμένα μέρη του φράγματος, όπως και ο μηχανικός εξοπλισμός ενίοτε αφήνονται εκκρεμή και σκουριασμένα, σαν παρατημένα άχρηστα εργοστάσια. Πάντως, η περίπτωση του Edwards Dam δημιούργησε ένα νέο παράδειγμα και σηματοδότησε το τέλος της παραδεδομένης αρχής ότι «τα φράγματα αποτελούν ένα μόνιμο χαρακτηριστικό του τοπίου» {5}. Κάτω από την πίεση περιβαλλοντικών ή άλλων κοινωνικών οργανώσεων, κατά την περίοδο 1999-2006 αφαιρέθηκαν 253 φράγματα {16}. Δημιουργείται έτσι μια ενδιαφέρουσα δυνατότητα άρσης κάποιων από τις πιο θεαματικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομηχανικής επανάστασης. Τα φράγματα έχουν πλέον μια αρχή και ένα τέλος, δηλαδή ένα κύκλο ζωής.

3 ΟΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Οι εκπομπές αερίων φαινομένου θερμοκηπίου (ΑΦΘ) από ταμειντήρες είχαν επί πολύ χρόνο θεωρηθεί ανύπαρκτες και έχουν αγνοηθεί κατά τις συγκρίσεις των διαφόρων πηγών παραγωγής ηλεκτρισμού. Ωστόσο η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) μιας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης ή άλλου ταμειντήρα δείχνει ότι σε διάφορες φάσεις υπάρχουν εκπομπές ΑΦΘ. Π.χ. κατά την αποξήλωση ενός φράγματος μπορεί να προκύψουν σημαντικές εκπομπές, διότι συσσωρευμένα ιζήματα στον ταμειντήρα περιέχουν δεσμευμένες ποσότητες άνθρακα, που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Σε σχετική έρευνα {7} μετρήθηκαν ο ρυθμός της συσσώρευσης και ο όγκος των ιζημάτων για έξι από τα δέκα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά φράγματα στις ΗΠΑ. Εκτιμήθηκαν η ποσότητα των ιζημάτων και το αντίστοιχο περιεχόμενο σε άνθρακα για ένα συμβατικό χρόνο αποξήλωσης του φράγματος 100 έτη μετά την κατασκευή του. Η αναμενόμενη εκπομπή άνθρακα κατανεμήθηκε σε εκπομπές CO₂ και CH₄ και

μετατράπηκε σε ισοδύναμες εκπομπές CO₂, με χρήση της μεθόδου Global Warming Potential (GWP). Το Global Warming Effect (GWE) λόγω αποξήλωσης του φράγματος κατανεμήθηκε στη συνολική ποσότητα ηλεκτρισμού που θα έχει παραχθεί κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου. Το εκτιμηθέν GWE των υδροηλεκτρικών εργοστασίων κυμαίνεται από 128–380g CO₂eq./kWh, όταν έχει ανοργανοποιηθεί το 11% του συνολικού διαθέσιμου οργανικού άνθρακα στο ίζημα και από 35-104g CO₂eq./kWh, όταν έχει ανοργανοποιηθεί το 3% του συνολικού διαθέσιμου οργανικού άνθρακα στο ίζημα. Οι τιμές αυτές δείχνουν ότι οι εκπομπές από τα ιζήματα κατά την αποξήλωση των φραγμάτων δεν είναι αμελητέες, αν και πολύ χαμηλότερες από τις εκπομπές των θερμοηλεκτρικών εργοστασίων που καίνε άνθρακα (890g CO₂eq./kWh). Αποτελούν επομένως ένα σημαντικό παράγοντα που δεν πρέπει να αγνοείται όταν αδειοδοτείται ένα υδροηλεκτρικό φράγμα. Φυσικά, οι εκπομπές κατά την αποξήλωση δεν είναι παρά μόνο ένα μέρος των συνολικών εκπομπών ΑΦΘ που παράγει η υδροηλεκτρική εγκατάσταση στον κύκλο ζωής της.

Η World Commission on Dams σημειώνει {14} ότι το επίπεδο των εκπομπών ΑΦΘ, ειδικότερα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, πρέπει αναμφισβήτητα να επηρεάζει την λήψη αποφάσεων. Αποτελεί ένα από τα κριτήρια για τον καθορισμό της συνολικής οικονομικής, κοινωνικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των ενεργειακών και αναπτυξιακών επιλογών. Με βάση εμπειριστάτωμένες έρευνες {15}, συμπεραίνει ότι 30 μεγάλοι ταμιευτήρες καθώς και φυσικές λίμνες, που εξετάστηκαν σε βόρειες και σε τροπικές περιοχές (Βραζιλία, Γαλλική Γουιάνα, Καναδάς και Φινλανδία) εκπέμπουν ΑΦΘ. Μερικές φορές οι ακαθάριστες εκπομπές ΑΦΘ που μετρήθηκαν είναι πολύ χαμηλές, περίπου 10 φορές μικρότερες από τις αντίστοιχες των θερμικών εγκαταστάσεων. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις, οι ακαθάριστες εκπομπές μπορεί να είναι σημαντικές, μέχρι και υψηλότερες από τις θερμικές εναλλακτικές λύσεις παραγωγής ενέργειας.

Χρειάζεται αναλυτική εκτίμηση των μελλοντικών καθαρών εκπομπών ΑΦΘ από ένα ταμιευτήρα, μέσω μιας πλήρους ΑΚΖ, ώστε να συγκρίνονται επιστημονικά οι διαθέσιμες ενεργειακές επιλογές. Οι εκπομπές κάθε ταμιευτήρα παρουσιάζουν μεγάλο εύρος ανάλογα με την γεωγραφική θέση, το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος, τη θερμοκρασία, το μέγεθος, το βάθος, το σημείο απόληξης νερού για τους στροβίλους, τον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας του φράγματος. Η εκτίμηση των καθαρών εκπομπών ΑΦΘ μετά την πλήρωση των ταμιευτήρων απαιτεί σύγκριση με τις εκπομπές που υπήρχαν πριν. Χρειάζεται να εκτιμηθούν τα επίπεδα εκπομπών που παράγονται από μια δεδομένη ποτάμια λεκάνη πριν από την εισαγωγή του φράγματος στο σύστημα, καθώς και να μετρηθούν οι εκπομπές από τον ταμιευτήρα. Έτσι θα εκτιμηθεί η διαφορά ανάμεσα στις ακαθάριστες εκπομπές μετά την λειτουργία και στις εκπομπές από την λεκάνη προ της κατασκευής του φράγματος. Η ποσοτικοποίηση των αλλαγών είναι περίπλοκη, διότι απαιτεί κατανόηση του κύκλου του άνθρακα στο επίπεδο ολόκληρης της λεκάνης απορροής.

Πάντως, οι ποσότητες εκπομπών ΑΦΘ που έχουν μετρηθεί μέχρι τώρα είναι αρκετά σημαντικές ώστε να επιβάλουν την ανάγκη σοβαρών εκτιμήσεων, όταν μελετάται η δημιουργία νέων ταμιευτήρων. Ιδιαίτερα σε υγρές τροπικές ζώνες, τόσο τα υδροηλεκτρικά φράγματα όσο και οι υπόλοιποι ταμιευτήρες που χρησιμεύουν για άρδευση, αποθήκευση νερού ή έλεγχο πλημμυρών είναι αναγκαίο να μελετηθούν για να εξεταστεί η δυναμική τους επίδραση στις μεταβολές των εκπομπών ΑΦΘ. Χρειάζονται επίσης συνολικές απογραφές των ανθρωπογενών μεταβολών στις πηγές και καταβόθρες CO₂ και CH₄. Σε κλιματικές συνθήκες του βορρά, όπως στον Καναδά ή την Σκανδιναβία, οι μέχρι τώρα διαθέσιμες μελέτες δείχνουν ότι οι εκπομπές ΑΦΘ από υδροηλεκτρικά φράγματα είναι χαμηλές. Στην Βραζιλία όπου μελετήθηκαν 10 φράγματα {2}, οι εκπομπές φαίνεται να διαφέρουν πολύ από ταμιευτήρα σε ταμιευτήρα, αφού οι υψηλότερες είναι 500 φορές μεγαλύτερες από τις χαμηλότερες. Οι χαμηλότερες ακαθάριστες εκπομπές κυμαίνονται στο επίπεδο των λιμνών και ταμιευτήρων του

Καναδά, ενώ οι υψηλότερες φθάνουν στα επίπεδα θερμοηλεκτρικών εργοστασίων {15}. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να γίνει προσδιορισμός των καθαρών εκπομπών και Ανάλυση Κύκλου Ζωής πριν να προβεί κανείς σε τελικές συγκρίσεις. Οι καθарές εκπομπές μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα πρέπει να υπολογίζονται ως ένα συνολικό «ισοδύναμο CO₂» ώστε να γίνεται κατάλληλη σύγκριση με τις εκπομπές CO₂ ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού. Οι καθарές εκπομπές δεν μπορούν να εκτιμηθούν παρά μόνο κατά περίπτωση, αλλά είναι οι μόνες που δείχνουν την συμβολή του ταμειυτήρα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ποσότητα της βιομάζας που έχει εγκλωβιστεί από την κατάκλυση δεν φτάνει για να εξηγήσει τις παρατηρούμενες εκπομπές. Άνθρακας εισρέει στους ταμειυτήρες από ολόκληρη την ανάντη λεκάνη απορροής και οι διάφορες αναπτυξιακές δραστηριότητες ή η διαχείριση φυσικών πόρων στη λεκάνη μπορούν να αυξήσουν ή να μειώσουν τις μελλοντικές εισροές άνθρακα στον ταμειυτήρα.

Οι καθарές αλλαγές που έχουν προκληθεί στις εκπομπές πρέπει να συγκριθούν με την επίπτωση στην παγκόσμια θέρμανση από άλλες εναλλακτικές επιλογές για παραγωγή ενέργειας, άρδευση ή προμήθεια νερού. Χρειάζεται επίσης να σταθμιστεί η ανάγκη αποφυγής των επιπτώσεων στο κλίμα, σε σύγκριση με άλλες κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές προτεραιότητες. Το να αποφαινεται κανείς με απλουστευτική προσέγγιση περί μιας γενικώς ισχύουσας επίπτωσης των φραγμάτων στην κλιματική αλλαγή, με όρους «καλό/κακό», «καθαρό/ρυπογόνο» κ.λπ. δεν έχει νόημα. Η προσέγγιση δεν θα είναι αξιόπιστη αν δεν διατεθούν πόροι, χρόνος και επιστημονικό ενδιαφέρον για την εμπειριστατωμένη εκτίμηση όλων των σημαντικών μεταβλητών.

Η World Commission on Dams επισημαίνει ότι ενώ οι ταμειυτήρες μπορεί να παράγουν καθарές εκπομπές ΑΦΘ, αυτή η διαπίστωση δεν πρέπει να απομονώνεται από το όλο πλαίσιο, την κλίμακα, τον χρόνο ή τις άλλες διαθέσιμες επιλογές κάθε χώρας. Επιπλέον, η επιστημονική ανάλυση αυτού του ζητήματος είναι ακόμη ατελής. Χρειάζεται πρόσθετη έρευνα προτού οριστικοποιηθεί η κατάταξη ενός προτεινόμενου νέου υδροηλεκτρικού έργου ως «καθαρότερο» σε όρους ΑΦΘ σε σχέση με ένα θερμοηλεκτρικό ισοδύναμο. Άρα δεν μπορεί να τεκμηριωθεί επαρκώς αν ένα υδροηλεκτρικό έργο δικαιούται πιστωτικές μονάδες του συστήματος δικαιωμάτων εκπομπών ΑΦΘ. Ορισμένοι ειδικοί ζητούν να εξαιρεθούν τα φράγματα από το σύστημα, λόγω αβεβαιότητας στις εκτιμήσεις για την εκπομπή ΑΦΘ από αυτά. Ένας τρόπος συμμόρφωσης με το Πρωτόκολλο του Κυότο είναι το Clean Development Mechanism (CDM), όπου οι χώρες μπορούν να συμβάλουν στη γενική μείωση των εκπομπών ΑΦΘ αγοράζοντας δικαιώματα εκπομπών από άλλες χώρες που επενδύουν σε «καθαρά» αναπτυξιακά προγράμματα, άρα αποφεύγουν την εκπομπή ΑΦΘ. Η αποτελεσματικότητα του μηχανισμού εξαρτάται από την ικανότητα να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι εκπομπές ΑΦΘ που αποφεύγονται, ώστε η καθарή μείωση να μπορεί να επαληθευτεί και να αξιολογηθεί {15}.

Περισσότερη μελέτη χρειάζεται κυρίως στις περιπτώσεις φραγμάτων σε αναπτυσσόμενες τροπικές χώρες. Είναι σημαντικό ότι οι ίδιες αυτές χώρες έχουν αυξημένες υποχρεώσεις να μειώσουν την επίπτωση στην κλιματική αλλαγή από την οικονομική τους ανάπτυξη κατά τις επόμενες δεκαετίες. Εκεί εξ άλλου αναμένεται να κατασκευαστούν τα περισσότερα φράγματα για να καλυφθούν οι αναδυόμενες ανάγκες σε ενέργεια και νερό. Η προώθηση υδροηλεκτρικών έργων σε τροπικές περιοχές για την απόκτηση δικαιωμάτων εκπομπών ΑΦΘ είναι μια αμφισβητήσιμη πρακτική, που η αξιοπιστία της μπορεί να πιστοποιηθεί μόνο με σοβαρές Αναλύσεις Κύκλου Ζωής των φραγμάτων και των άλλων εναλλακτικών επιλογών.

4 ΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) περιλαμβάνει μια σειρά μεθόδων για τον εντοπισμό, την εκτίμηση και, όπου είναι δυνατόν, την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών συνεπειών ενός προϊόντος, μιας δραστηριότητας ή ενός τεχνικού έργου, καθ' όλη την διάρκεια της ζωής τους. Η ανάλυση χωρίζεται σε δύο φάσεις: α) τον εντοπισμό των σημαντικών συνιστωσών του έργου και β) την εκτίμηση των επιπτώσεών τους. Προκύπτει ένας κατάλογος από ρύπους ή άλλες δυνητικές περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που συχνά δεν είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους. Στο μέτρο του δυνατού επιδιώκεται η ομαδοποίηση και αξιολόγηση, με ποσοτικοποίηση ή με ποιοτική εκτίμηση, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Συνήθως ο συνυπολογισμός των διαφορετικών επιπτώσεων δεν είναι προφανής, οπότε πρέπει να τεθούν αντίστοιχες τιμές ποσοτικού ή ποιοτικού χαρακτήρα, ανάλογα με τη σχετική σημασία τους. Οι διάφορες μεθοδολογίες αξιολόγησης, που προς το παρόν δεν είναι κοινά αποδεκτές, μπορούν να συνδεθούν με στόχους ή με εκτιμήσεις κόστους.

Η ΑΚΖ είναι ένα εργαλείο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών αποτελεσμάτων το οποίο μπορεί να υποδείξει την βέλτιστη από περιβαλλοντική άποψη λύση, λαμβάνοντας υπ' όψη το σύνολο των εμπλεκόμενων φαινομένων, ανεξάρτητα από το τί είναι περιβαλλοντικά βέλτιστο για κάθε επιμέρους διεργασία. Ειδικότερα στοχεύει:

- Να δώσει την πληρέστερη δυνατή εικόνα των αλληλεπιδράσεων μιας δραστηριότητας με το περιβάλλον
- Να συνεισφέρει στην κατανόηση των συνολικών και αλληλεξαρτώμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων της δραστηριότητας
- Να εφοδιάσει την διαδικασία λήψης απόφασης με πληροφορίες για τις διαχρονικές περιβαλλοντικές επιδράσεις των δραστηριοτήτων και τις δυνατότητες και ευκαιρίες για περιβαλλοντική βελτίωση.

Η ΑΚΖ μπορεί ως εργαλείο να είναι χρήσιμη στον πολιτικό μηχανικό {13}. Τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιηθεί πρόοδος τόσο σε μικρή κλίμακα, όπως τα κατασκευαστικά υλικά, όσο και σε μεγάλη κλίμακα, όπως οδοποιία, σήραγγες, υδραυλικά έργα. Δεδομένου όμως ότι η μεθοδολογία ΑΚΖ έχει προέλθει από τον χώρο του χημικού μηχανικού (κατασκευή προϊόντων), σε ποιο βαθμό είναι εφαρμόσιμη στον τομέα των έργων πολιτικού μηχανικού; Η απάντηση δεν είναι απλή, αλλά το πέρασμα από την κλασική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην ΑΚΖ ενός έργου πολιτικού μηχανικού φαίνεται να είναι μονόδρομος. Η προτεραιότητα του περιβάλλοντος βαίνει αυξανόμενη, όχι μόνο στις χώρες με υψηλό ΑΕΠ, αλλά και στο σύνολο του πλανήτη, η δε αναπτυσσόμενη μεθοδολογία ΑΚΖ οδηγεί σε ακριβέστερες, δικαιότερες και τελικά πιο ωφέλιμες εκτιμήσεις από περιβαλλοντική, οικονομική, αλλά και κοινωνική άποψη.

Ωστόσο, η πολυπλοκότητα των έργων πολιτικού μηχανικού προκαλεί σημαντικές δυσκολίες, όπως:

- Η ΑΚΖ είναι αρκετά χρονοβόρος. Χρειάζεται εξοικονόμηση χρόνου από άλλες περιττές γραφειοκρατικές διαδικασίες και καλύτερη οργάνωση ώστε να της αφιερωθεί ο αναγκαίος χρόνος.
- Οι συγκριτικές ΑΚΖ παρουσιάζουν δυσκολίες: πρόσβαση στα δεδομένα, διαφορετικές μεθοδολογίες εκτίμησης επιπτώσεων, αβεβαιότητες των μοντέλων, τοπικές επιπτώσεις π.χ. απορροή, θόρυβος, οσμές κ.λπ.
- Χρειάζεται να μελετηθούν επιπτώσεις από: φάσεις κατασκευής και λειτουργίας, παραγωγή υλικών, αποξήλωση, απόβλητα, κατανάλωση ενέργειας, υποκατάσταση υλικών ή ενέργειας κ.λπ.
- Χρειάζεται ανάπτυξη βάσεων δεδομένων του τομέα ΑΚΖ
- Χρειάζεται κοινωνική ευαισθητοποίηση για την χρησιμότητα της ΑΚΖ.

5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα φράγματα παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα επιπτώσεων, κατά την φάση κατασκευής, την φάση λειτουργίας και μέχρι το τέλος της ζωής τους. Είναι πλέον παραδεδομένο ότι δεν αποτελούν αιώνιες κατασκευές, αλλά κάποτε μπορεί να αχρηστευθούν, να εγκαταλειφθούν ή να κριθεί ότι το περιβαλλοντικό τους κόστος υπερβαίνει το όποιο όφελος προσφέρουν. Το ενδεχόμενο αποξήλωσης του κάθε φράγματος είναι ανοικτό και η πιθανότητα υλοποίησής της είναι μακροπρόθεσμα υψηλή. Εξ άλλου, η αξιολόγηση ενός σχεδίου δημιουργίας νέου φράγματος απαιτεί μια κατάλληλη μεθοδολογία που θα αναλύσει και θα συνυπολογίσει τις θετικές και αρνητικές συνέπειες καθ' όλη την ζωή του.

Στην περίπτωση υδροηλεκτρικών ή άλλων φραγμάτων, η ΑΚΖ θα εξετάσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξη υλικών, την κατανάλωση άλλων φυσικών πόρων, τις διεργασίες κατασκευής, την παραγωγή αποβλήτων και ΑΦΘ, την επίδραση στις μετακινήσεις των ιχθύων, την διαδικασία αποξήλωσης του φράγματος στο τέλος της χρήσιμης ζωής του κ.λπ. Θα εξετάσει ακόμα τη μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων, η οποία ενδεχομένως θα οφείλεται στην παραγωγική δυνατότητα του φράγματος σε σύγκριση με άλλους τρόπους παραγωγής του ίδιου προϊόντος, π.χ. της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η εργασία αυτή, ανάμεσα από τις πολλαπλές θετικές και αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φραγμάτων, ξεχωρίζει και εστιάζει σε δύο ζητήματα τα οποία συνδέονται καθοριστικά με τον χρόνο ζωής τους. Πράγματι, πολλές από τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φραγμάτων είτε εκδηλώνονται εφ' άπαξ (π.χ. κατάκλυση περιοχών, υποβάθμιση του τοπίου) είτε αμβλύνονται σταδιακά με τη δημιουργία νέων ισοροπιών (π.χ. αλλαγές στα οικοσυστήματα, καθεστώσ της διάβρωσης και των θρεπτικών). Αντίθετα, η επίπτωση στην παρεμπόδιση της μετακίνησης ιχθύων είναι μόνιμη και ανάλογη με την διάρκεια ζωής του φράγματος, ενώ αίρεται με την αποξήλωση. Ομοίως, υπάρχει αναλογία μεταξύ της διάρκειας ζωής και της εκπομπής ΑΦΘ από τον ταμιευτήρα, έστω και αν οι εκπομπές μπορεί να είναι σημαντικότερες στην αρχή ή να επιδεινωθούν προσωρινά με την αποξήλωση. Επομένως, τουλάχιστον στα δύο αυτά ζητήματα, ο κύκλος ζωής του έργου έχει βαρύνουσα σημασία και η ΑΚΖ μπορεί να βελτιώσει ουσιαστικά την εκτίμηση των επιπτώσεων, δίνοντας μια δίκαιη αποτίμηση της χρησιμότητας ενός νέου ή της ανάγκης αφαίρεσης ενός παλιού φράγματος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. DHAC. 2004. Evaluation of mitigation effectiveness at hydropower projects: fish passage. Division of Hydropower Administration and Compliance, Office of Energy Projects, Federal Energy Regulatory Commission, www.ferc.gov
2. Fearnside, P. 2002. Greenhouse Gas Emissions from a Hydroelectric Reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the Energy Policy Implications. *Water, air and soil pollution*, v. 133, 1-4, 69-96.
3. Harden, B. 1997. For first time, fish habitat takes priority over a hydroelectric dam. *Washington Post*, November 26, 1997.
4. Lerer, L.B. & T. Scudder. 1999. Health impacts of large dams - Public priorities in a global epidemic. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 19, 2, 113-123.
5. Malakoff, D. 1998. Damning the dam - reduction of a hydroelectric dam into a river. *The Environmental Magazine*, <http://findarticles.com>
6. Miansong H., Z. Hu, A. Xuehui & J. Feng 2006. The environmental impact assessment of rock-filled concrete technology in dam construction. *Hydropower*, 1188-1197.

7. Pacca, S. 2007. Impacts from decommissioning of hydroelectric dams: a life cycle perspective. *Climatic Change*, v. 84, 3-4, 281-294.
8. PCER. 2008a. Understanding, protecting and restoring the health of watersheds since 1947. Patrick Center for Environmental Research, www.ansp.org/research/pcer
9. PCER. 2008b. Ecological Effects of Small Dams. Patrick Center for Environmental Research, www.ansp.org/research/pcer
10. PCER. 2008c. Small Dams: Ecological Risk Assessment. Patrick Center for Environmental Research. www.ansp.org/research/pcer
11. PCER. 2008d. Manatawny Creek Dam Removal. Patrick Center for Environmental Research, www.ansp.org/research/pcer
12. Ronayne, M. 2005. The cultural and environmental impact of large dams in Southeast Turkey. National University of Ireland, Galway.
13. Smith, S. 2008. Life Cycle Assessment of Civil Engineering Projects, www.sustain.co.uk
14. WCD. 2000a. A New Framework for Decision-making to the Framework Convention on Climate Change. World Commission on Dams, www.dams.org
15. WCD. 2000b. Does Hydropower Reduce Greenhouse Gas Emissions? Press Releases & Announcements, The World Commission on Dams, www.dams.org
16. www.americanrivers.org
17. www.e-ecorisk.info
18. Χατζημπίρος, Κ. 2007. Οικολογία. Οικοσυστήματα και Προστασία του Περιβάλλοντος, Γ' έκδοση, Συμμετρία, Αθήνα, 360 σελ.

Life Cycle Analysis of Dams.

Kimon Hadjibiros

Assoc. Professor, Department of Water Resources and Environmental Engineering, NTUA

Abstract

Dams, especially the large ones, have significant environmental impacts. To study them, it is necessary to make integrated assessments of the water basin and to also consider social and cultural aspects. Important impacts like those on the movement of the river fish or on the greenhouse gas emissions last for the whole dam's life. Their assessment needs a Life Cycle Analysis, considering all important parameters, from the construction of the dam to its final reduction.