

BEDLOAD TRANSPORT AND DEPOSITION IN THE RIVER STRYMON ARTIFICIAL CHANNEL BEFORE ITS REACH TO THE KERKINI RESERVOIR

A. Psilovikos, E. Papaphilippou-Pennou,
K. Albanakis and K. Vouvalidis

ABSTRACT

Through the artificial channel of the Strymon river, made in 1984, discharged into the lake Kerkini reservoir $2.0-2.6 \cdot 10^6$ m³/y of water, $1 \cdot 10^6$ m³/y suspended load and $130-170 \cdot 10^3$ /y bed load (sand). The bedload retained in the 165 m wide channel, forms islands, point bars, large dunes and a great variety of ripples. The sand is texturally submature and mineralogically immature due to the short distance of transport from the source area in SW Bulgaria.

The deposition of sand in the artificial channel reduces drastically its flow capacity and threatens the Serres plain with floodings.

It is impressive that within a period of 6 years, the river Strymon became a typical braided river in its artificial channel.

ΕΥΝΟΨΗ

Μέσα από την τεχνητή κοίτη του Στρυμόνα ανάντη της λίμνης Κερκίνης, κατασκευής 1984, παροχετεύονται $2.0-2.6 \cdot 10^6$ m³/y νερό, $1 \cdot 10^6$ m³/y αιωρούμενα (ιλύ-άργιλος) και $130-170 \cdot 10^3$ /y πυθμένα (άμμος) υλικά. Η άμμος κατακρατείται στον 165 m πλάτους πυθμένα της κοίτης και σχηματίζει κεντρικά (νησίδες) και πλευρικά φράγματα (bars), μεγάλων διαστάσεων θίνες (dunes) και ποικίλων διαστάσεων και σχημάτων ρυτιδώσεις (ripples).

Από πλευράς υψής είναι υποώριμη, ενώ από πλευράς ορυκτολογίας είναι ανώριμη, λόγω της μικρής απόστασης μεταφοράς της από τη μητρική πηγή βορείως του Ρούπελ (ΝΔ Βουλγαρία). Ως υλικό ενδείκνυται για εκμετάλλευση. Η απόθεση της άμμου στον πυθμένα της τεχνητής κοίτης του Στρυμόνα μειώνει την παροχετευτική της ικανότητα και δημιουργεί κινδύνους πλημμυρών. Είναι εντυπωσιακό ότι ο Στρυμόνας σε χρονικό διάστημα 6 ετών αποκατέστησε όλα τα γνωρίσματα και τις λειτουργίες του ως πλεξοειδής ποταμός μέσα στην τεχνητή του κοίτη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ποταμός Στρυμόνας εισερχόμενος στο Ελληνικό έδαφος από τη Βουλγαρία διασχίζει την κοιλάδα (φαράγγι) του Ρούπελ επί μήκους 8.5 km περίπου. Η φυσική του κοίτη έχει πλάτος 100-220m, ελαφρά κυματοειδή πορεία, μικρή κλίση 0.9-1.1 ‰ και χαρακτηριστές πλεξοειδούς ποταμού.

Μετά την έξοδο του Στρυμόνα από το Ρούπελ και την είσοδό του στη λεκάνη των Σερρών, ο ποταμός διοχετεύεται σε μια τεχνητή κοίτη, κατασκευής 1982/84, μέχρι την είσοδό του στη λίμνη Κερκίνη. Η τεχνητή αυτή κοίτη από τη γέφυρα

Σιδηροκάστρου, μέχρι την Κερκίνη έχει μήκος 15.5 km περίπου, μέσο πλάτος 165 m, μέση κλίση 0.82 ‰ και γραμμική πορεία με κάμψη 120° περίπου προς τα δυτικά. Εκατέρωθεν της κοίτης έχει αφεθεί σημαντική ζώνη υπερχειλίσης (όχθη) η οποία οριοθετείται από υψηλά αναχώματα (σχ. 1) (Δασούλας, κ.ά., 1989).

Η τεχνητή κοίτη του Στρυμόνα κατασκευάστηκε με παροχετευτική ικανότητα 3000 m³/s, έτσι ώστε σε συνδυασμό και με την ανακατασκευή του ταμιευτήρα της Κερκίνης, να απορροφούν τα πλημμυρικά φαινόμενα του ποταμού (Αλιηγός, 1962, Δασούλας, κ.ά., 1989).

Η ερευνητική μας ομάδα προσπάθησε να μελετήσει τη ροή του Στρυμόνα μέσα στην τεχνητή του κοίτη, τη μεταφορά και την απόθεση του πυθμένου φορτίου των φερτών υλών του ποταμού, τους μορφολογικούς σχηματισμούς της κοίτης, την ποιότητα του υλικού, την κατανομή του κατά τη διεύθυνση ροής και τα προβλήματα που δημιουργούνται από τη λειτουργία του συστήματος (Ψιλοβίκος, κ.ά., 1992). Ο τελικός στόχος βέβαια είναι η διαμόρφωση προτάσεων αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών, έτσι ώστε και η εκμετάλλευση του υλικού να επιτυγχάνεται και η αποτροπή των πλημμυρών να εξασφαλίζεται.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για να συλλέξει όλα τα απαραίτητα στοιχεία η ερευνητική μας ομάδα ακολούθησε την εξής μεθοδολογία:

- Παρακολούθησε τη ροή και την παροχή του Στρυμόνα για 2 1/2 έτη.
- Παρακολούθησε τη μεταφορά και την απόθεση φερτών υλών και μελέτησε τους μορφολογικούς σχηματισμούς της κοίτης, όπως τις νησίδες, τα φράγματα, τις θίνες και τις ρυτιδώσεις.
- Αποτύπωσε 18 διατομές το 1990 και τις συνέκρινε με τις αντίστοιχες αρχικές διατομές του 1984, προκειμένου να μελετήσει την απόθεση των φερτών στον πυθμένα της κοίτης.
- Πήρε δείγματα υλικού από καθορισμένες θέσεις των 18 διατομών και τα μελέτησε ως προς τις παραμέτρους μεγέθους, μορφολογίας και ορυκτολογίας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

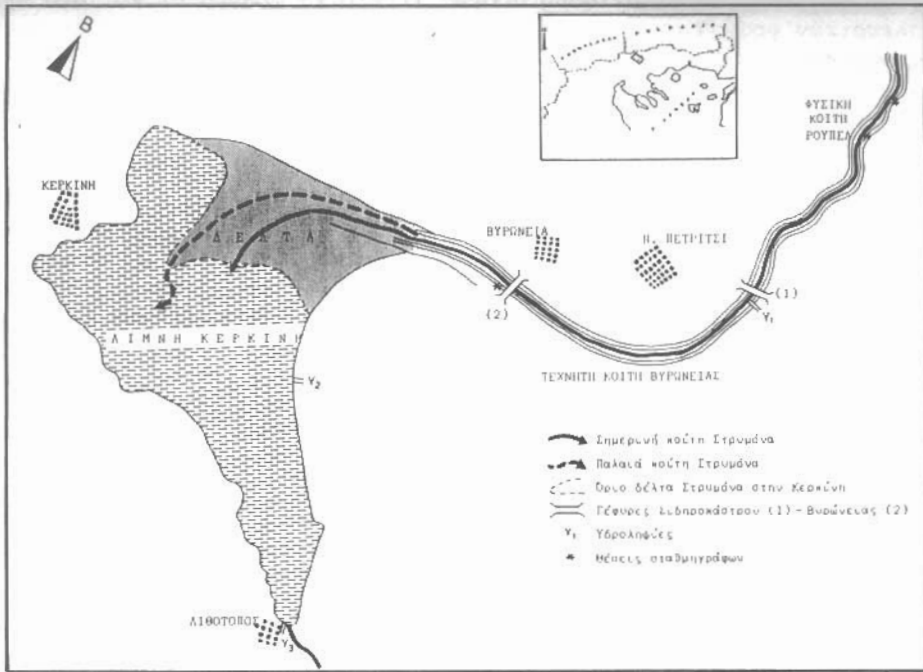
Σχετικά με τη ροή του Στρυμόνα διαπιστώθηκε ότι αυτή έχει σαφή χειμαρρικό χαρακτήρα, ενώ μέσα στην κοίτη ακολουθεί πλεξοειδή πορεία. Οι ταχύτητες ροής του ποταμού κυμαίνονται από 0.4-0.7 m/s για παροχές 20-50 m³/s, από 0.6-0.9 m/s για παροχές 50-100 m³/s, από 0.8-1.2 για παροχές 100-200 m³/s και μεγαλύτερες από 1.5 m/s για πλημμυρικές παροχές.

Έχει υπολογιστεί ότι η παροχή του Στρυμόνα παρουσιάζει διπλή κύμανση, με ένα κύριο μέγιστο την άνοιξη (Από μέσα Μαρτίου μέχρι μέσα Ιουνίου) και ένα δευτερεύον μέγιστο κατά το Νοέμβριο-Δεκέμβριο. Κατά το θέρος η παροχή του ποταμού σχεδόν μηδενίζεται (< 10m³/s), αφού το νερό διοχετεύεται διά της υδροληψίας Υ1 στο αρδευτικό δίκτυο και η τεχνητή κοίτη του ποταμού παραμένει στεγνή.

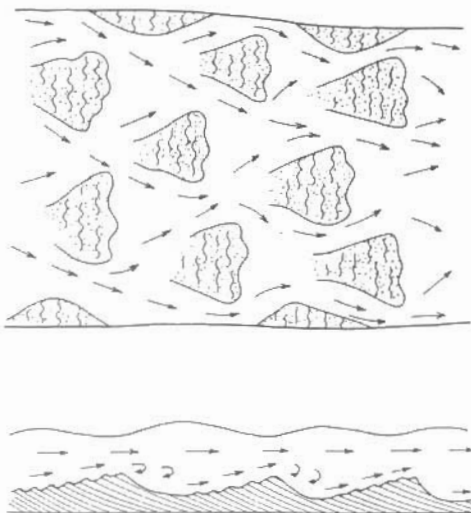
Η συνολική απορροφή του Στρυμόνα είναι 2.0-2.6*10⁹ m³ ανά έτος, ενώ κατά τα ξηρά έτη (1990) μπορεί να φθάσει το 1.5*10⁹ m³ ανά έτος.

Σχετικά με τη μεταφορά φερτών υλών, οι καθημερινές μετρήσεις σε δύο σταθμούς (Φάρο και γέφυρα Βυρώνειας) έδειξαν ότι:

Το εν αιωρήσει φορτίο του Στρυμόνα αποτελείται κυρίως από ιλύ και άργιλο, σε ποσότητα περίπου 10⁶ m³ ανά έτος, και καταλήγει ολόκληρο στον ταμιευτήρα της Κερκίνης. Το πυθμένο φορτίο του Στρυμόνα αποτελείται από καθαρή άμμο, κινείται αργά με κυματοειδή πορεία στον πυθμένα και αποτίθεται υπό μορφή φραγμάτων, θινών, νησίδων και ρυτιδώσεων. Το συνολικό ετήσιο φορτίο για την τεχνητή κοίτη



Σχ.1: Κάτοψη του συστήματος Στρυμόνα - Κερκίνη από το Ρούπελ.



Σχ. 2: Σχηματισμός θινών και πλευρικών φραγμάτων στην τεχνητή κοιτή του Στρυμόνα ανάντη της Κερκίνης. Άνω σε κάτοψη, κάτω σε επιμήκη διατομή. Τα βέλη δείχνουν την πορεία της ροής.

του Στρυμόνα υπολογίζεται σε $130-170 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

Οι κόκκοι της άμμου κινούνται στην επιφάνεια του πυθμένα με σύρση, κύλιση και πήδηση (traction carpet) και σχηματίζουν ρυτίδες απλές και σύνθετες, με μέγεθος από λίγα εκατοστά μέχρι 1.5 m. Οι πιο χαρακτηριστικές μορφές είναι οι θίνες, των οποίων το μήκος είναι 50-200 m, το πλάτος είναι 20-150 m και το ύψος είναι 0.4-0.9 m (σχήμα 2). Το νερό κινείται με μικρή ταχύτητα μεταφέροντας τους κόκκους της άμμου στις ράχες των θινών και αποθέτοντας αυτούς στα μέτωπα των θινών σε διασταυρούμενες στρώσεις.

Μεταξύ των θινών σχηματίζονται αυλακώσεις, μέσα στις οποίες κινείται το νερό, με μεγάλη ταχύτητα. Όταν η παροχή του Στρυμόνα ελαττωθεί, οι ράχες των θινών εξέχουν πάνω από την επιφάνεια του νερού, το οποίο κινείται μόνο μέσα στις αυλακώσεις.

Η απόθεση του πυθμένου φορτίου

αμέσως μετά από πλημμυρικές παροχές στην κοίτη του Στρυμόνα καταλήγει στο σχηματισμό νησίδων, ατρακτοειδούς μορφής (κεντρικά φράγματα) και στο σχηματισμό πλευρικών φραγμάτων κατά μήκος των τοιχωμάτων της όχθης. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση φραγμάτων εντοπίζεται στο χώρο της κάμψης της κοίτης και μάλιστα στο εσωτερικό-κοίλο μέρος της κοίτης, όπου η ροή αλλάζει διεύθυνση και ανακόπτεται προσωρινά η ταχύτητά της (σχήμα 3).

Πίν. 1: Στοιχεία της αποτύπωσης του 1990 σε σχέση με τα αντίστοιχα στοιχεία του 1984 που δείχνουν την απόθεση υλικού στον πυθμένα της κοίτης.

Διατομές 1984		Διατομές 1990				Όγκος απόθεσης V(m ³)
Θέσεις-Εμβαδά		Θέσεις	Εμβαδά	Διαφορά	Απόσταση	
Δ	E ₁ (m ²)	T	E ₂ (m ²)	E ₁ -E ₂ (m ²)	L(m)	
A ₁	251	T ₀	178	96	980	94.080
A ₅	274					
A ₇	116					
A ₈	126	T ₁	251	75	705	60.277
A ₁₀	181	T ₂	257	124	475	47.262
A ₁₂	150	T ₃	305	45	510	41.095
A ₁₄	388					
A ₁₅	414	T ₄	339	75	815	48.900
A ₁₈	361	T ₅	284	77	780	59.280
A ₂₁	343	T ₆	128	15	775	15.650
A ₂₅	184	T ₇	334	50	1.025	13.312
A ₂₉	173	T ₈	138	35	1.040	44.200
A ₃₂	401	T ₉	311	90	790	49.375
A ₃₃	397					
A ₃₅	349	T ₁₀	335	14	800	41.600
A ₃₇	353	T ₁₁	262	91	525	27.562
A ₃₉	285	T ₁₂	182	103	510	49.470
A ₄₂	622	T ₁₃	470	152	755	96.262
A ₄₆	348	T ₁₄	337	11	990	80.685
A ₄₈	312	T ₁₅	294	18	525	7.612
A ₄₉	265					
A ₅₁	203	T ₁₆	232	-29	1.230	-6.765
A ₅₆	202	T ₁₇	271	-69	710	-34.790
ΣΥΝΟΛΑ					13.940	777.067

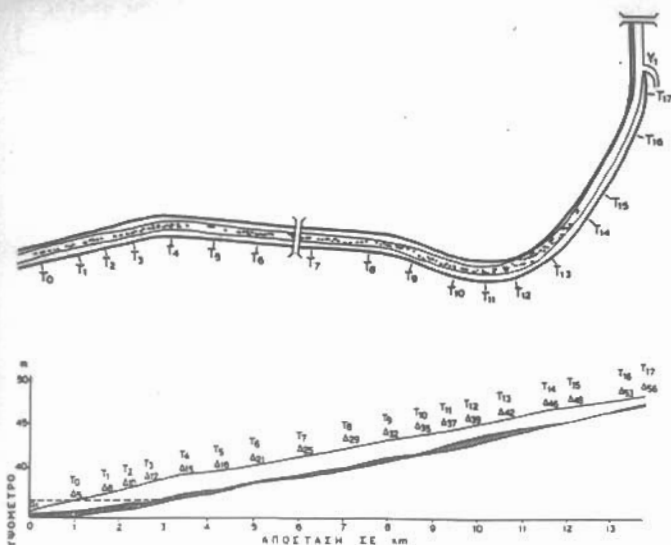
Πίν. 2: Γενική ορυκτολογική σύσταση υλικού της τεχνητής κοίτης της Βυρώνειας του ποταμού Στρυμόνα (Ποσοστό %).

Δείγμα	Χαλαζίας	Αστραυί	Φερίσι	Ασβεστολικό υλικό
T ₂ /102	17.6	39.0	21.5	1.9
T ₃ /103	17.4	43.2	17.4	2.0
T ₅ /103	19.8	37.6	20.2	2.3
T ₇ /101	12.9	35.0	28.8	4.2
T ₁₁ /101	18.3	44.4	14.6	2.7
T ₁₃ /101	17.7	37.7	22.8	1.8
T ₁₅ /101	37.4	39.8	20.8	2.0
T ₁₇ /102	28.0	29.0	38.3	4.5

του υλικού έχει προσωρινό χαρακτήρα και η κίνησή του γίνεται κατά κυματοειδή τρόπο σε χρονικό διάστημα (κύμα) ορισμένων ετών (μεγάλα πλημμυρικά κύματα).

- Είναι γεγονός ότι κατά τις πλημμυρικές παροχές του Στρυμόνα το πυθμένιο υλικό κινείται με μεγάλη ταχύτητα, οι μορφές (νησίδες, θίνες, φράγματα) καταστρέφονται προσωρινά και ποσότητες από άμμο προωθούνται προς τις εκβολές του Στρυμόνα και αποτίθενται στο χώρο δελταικής ανάπτυξης στη λίμνη Κερκίνη (σχ. 1).

- Επειδή η τροφοδοσία της τεχνητής κοίτης του Στρυμόνα είναι μια συνεχής Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



Σχ. 3: Τεχνητή κοίτη του Στρυμόνα ανάντη της Κερκίνης σε κάτοψη (άνω) και σε επιμήκη διατομή (κάτω). T0-T17 εγκάρσιες διατομές 1991, Δ5-Δ56 εγκάρσιες διατομές 1984.

σεως εξετάστηκε η επιφανειακή μορφολογία των χαλαζιακών κόκκων. Από τη συγκριτική μελέτη των παραμέτρων προέκυψαν τα ακόλουθα:

Το υλικό στο σύνολό του αποτελείται από άμμο, κυρίως χονδρόκοκκη έως μεσόκοκκη, με μέτρια ταξινόμηση και αρνητική λοξότητα (σχ. 4).

Παρατηρείται μια μικρή μείωση στο μέγεθος του υλικού και μικρή βελτίωση της ταξινόμησης του από το ψηλότερο προς το χαμηλότερο τμήμα της τεχνητής κοίτης του Στρυμόνα.

Η ομογένεια του υλικού, σε συνδυασμό με την αρνητική λοξότητα, δείχνουν ότι οι συνθήκες ροής του Στρυμόνα επιτρέπουν την απομάκρυνση του λεπτόκοκκου υλικού (ιλύος και αργίλου) με τη διαδικασία της απόπλυσης.

Μορφολογικά οι χαλαζιακοί κόκκοι της άμμου έχουν καλή σχετικά σφαιρικότητα (0.73) και κακή στρογγυλότητα (0.23), χωρίς διαφοροποιήσεις κατά μήκος της κοίτης.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε την άμμο της τεχνητής κοίτης του Στρυμόνα ως υποώριμο ίζημα.

Ορυκτολογικά η άμμος αποτελείται από αστρίους και χαλαζία σε ίσες περίπου αναλογίες (35-40%) και φερικά ορυκτά σε αναλογία περίπου 20%. Ελάχιστη είναι η συμμετοχή ασβεστιτικού υλικού (πίνακας 2). Από πλευράς ωριμότητας η άμμος αυτή χαρακτηρίζεται ως ανώριμο ίζημα. Είναι επίσης σημαντική η ορυκτολογική ομοιομορφία της άμμου κατά μήκος της τεχνητής κοίτης του Στρυμόνα. Η εξέταση της επιφανειακής μορφολογίας των χαλαζιακών κόκκων με Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σαρώσεως, έδειξε ότι, όλες σχεδόν οι επιφάνειες είναι ανώμαλες, βαθιά χαραγμένες, χωρίς εξομαλισμένα ή λειασμένα τμήματα λόγω τριβών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

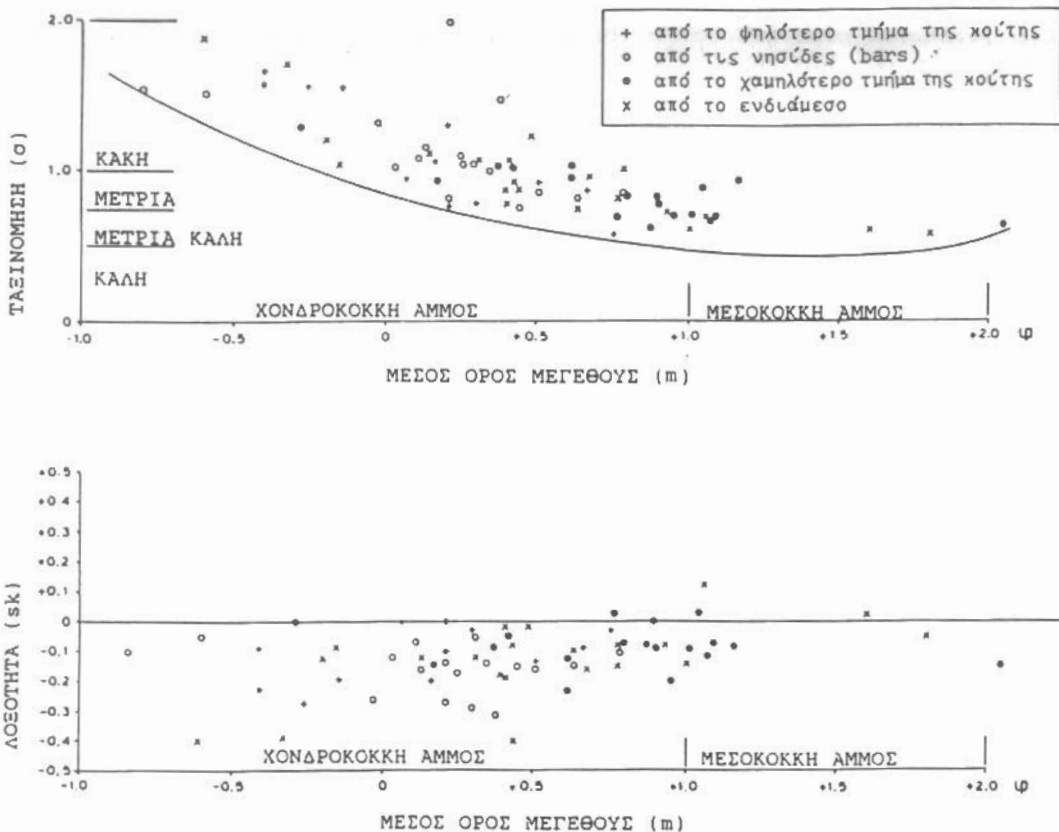
Από τη σύντομη αναφορά των αποτελεσμάτων μπορούν να προκύψουν τα ακόλουθα

διεργασίας, νέες ποσότητες φερτών υλών τροφοδοτούν τον πυθμένα.

- Τα αρχικά χαρακτηριστικά της τεχνητής κοίτης έχουν αλλοιωθεί σημαντικά, η παροχευτική της ικανότητα έχει μειωθεί σημαντικά, οι κλίσεις επίσης έχουν μεταβληθεί και γενικά μπορούμε να πούμε ότι έχουν δημιουργηθεί συνθήκες ανάλογες με αυτές της φυσικής κοίτης του Στρυμόνα στο Ρούπελ.

- Σχετικά με την ποιότητα και το είδος των υλικών που έχουν αποτεθεί στην τεχνητή κοίτη του Στρυμόνα, ελήφθησαν δείγματα υλικού από τις 18 διατομές (67 δείγματα).

Στο εργαστήριο έγινε η κοκκομετρική, η μορφομετρική και ορυκτολογική ανάλυση του υλικού, ενώ στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώ-



Σχ. 4: Συσχέτιση των παραμέτρων του μεγέθους των υλικών που έχουν αποθεθεί στην τεχνητή κοίτη του Στρυμόνα (Βυρώνειας) μεταξύ της διάρρυγας Y_1 και των εκβολών του ποταμού στη λίμνη Κερκίνη.

συμπεράσματα:

- Ο ποταμός Στρυμόνας διασχίζει σήμερα την τεχνητή κοίτη του ανάντη της Κερκίνης ως ένας πλεξοειδής ποταμός, με τους ίδιους μορφολογικούς χαρακτήρες και αποθέσεις, όπως και στη φυσική του κοίτη (Ρούπελ και Βουλγαρία).

- Ακόμα και οι μηχανισμοί ροής, μεταφοράς και απόθεσης των φερτών υλών παραμένουν οι ίδιοι με αυτούς της φυσικής κοίτης του ποταμού.

- Μεγάλες ποσότητες άμμου χονδροκόκκης-μεσόκοκκης, με σημαντική ομοιομορφία και καθαρότητα (χωρίς ιλύ-άργιλο) αποτίθενται στον πυθμένα της τεχνητής κοίτης υπό μορφή θινών και φραγμάτων κυρίως. Η απόθεση αυτή προκαλεί πρόσκωση της κοίτης, μείωση της παροχευτικής της ικανότητας και αλλοίωση των χαρακτήρων ροής του Στρυμόνα.

- Η άμμος αυτή είναι αποτέλεσμα εκλεκτικής ταξινόμησης, ορυκτολογικά και μορφολογικά ανώριμη και προήλθε από την αποσάθρωση των μεταμορφωμένων και περιγενών κυρίως πετρωμάτων και των Νεογενών ιζημάτων της περιοχής βορείως του Ρούπελ. Η μικρή απόσταση μεταφοράς δεν επέτρεψε την ωρίμανσή της.

- Η απόθεση της άμμου στην κοίτη του Στρυμόνα εξουδετερώνει το σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε και δημιουργεί κινδύνους πλημμυρών για τη Σερραϊκή πεδιάδα, εφόσον μειώνεται η παροχευτική ικανότητα της τεχνητής κοίτης.

- Επειδή οι χαρακτήρες του μεγέθους και της ορυκτολογικής σύστασης της

άμμου δείχνουν ότι πρόκειται για υλικό καλής ποιότητας, είναι δυνατή η άμεση απόληψή της και η χρήση της για πολλαπλούς σκοπούς. Ίσως μάλιστα περιέχει και σημαντικά ποσοστά χρήσιμων ορυκτών, στο κλάσμα των φεμικών, τα οποία την καθιστούν οικονομικά ενδιαφέρουσα.

- Είναι απαραίτητο να γίνεται η απόληψη της άμμου από την τεχνητή κοίτη του Στρυμόνα σε ποσότητες περίπου 150000 m³ ανά έτος, έτσι ώστε αυτή να διατηρεί τις συνθήκες λειτουργίας για τις οποίες κατασκευάστηκε.

- Ίσως, είναι προτιμότερη η παγίδευση της άμμου βορειότερα στη φυσική κοίτη του Στρυμόνα στο Ρούπελ, με την κατασκευή αναβαθμών και την εν συνεχεία απόληψή της, έτσι ώστε να μη φθάνει στην τεχνητή κοίτη.

- Η κατασκευή τεχνικών έργων στην κοίτη του Στρυμόνα δεν μπορεί να αλλοιώσει τους χαρακτήρες ροής του ποταμού και μεταφοράς-απόθεσης φερτών υλών. Σε βάθος χρόνου, ο ποταμός αποκαθιστά τις φυσικές του λειτουργίες και εξουδετερώνει τα ανθρώπινα έργα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΛΤΗΓΟΣ, Ν., (1962). Προμελέτη πεδιάδος Σερρών. υδρολογία. Υπηρ. Υδρ. Έργων, Υπουργ. Δημ. Έργων. Αθήνα, τ. Α', 108 p.
- ΔΑΟΥΛΑΣ, Ε. και ΣΙΑ (1989). Μελέτη αναθεώρησης υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Κερκίνης. Δ/νση Υδρ. Έργων τέως 14ης ΠΥΔΕ, Αθήνα, 57 p.
- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α., ΑΛΜΠΑΝΑΚΗΣ, Κ., ΠΑΠΑΦΙΛΙΠΠΟΥ-ΠΕΝΝΟΥ, Ε. (1992). Έρευνα του προβλήματος της πρόσχωσης της λίμνης Κερκίνης και της κοίτης του ποταμού Στρυμόνα και προτάσεις αντιμετώπισης αυτού. Ερευνητικό πρόγραμμα Επιτροπής Ερευνών Α.Π.Θ. Νο 2343, Θεσσαλονίκη.