



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ
ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

Εκπόνηση: Ματθαίος Καπατσούλιας

Επίβλεψη: Ηλίας Παπακωνσταντής, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η ροή σε ανοικτούς αγωγούς σύνθετης διατομής. Συγκεκριμένα, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων της βιβλιογραφίας στην εκτίμηση της παροχής σε κανάλια σύνθετης διατομής. Εξετάζονται συμμετρικές διατομές που αποτελούνται από ένα κύριο κανάλι και δύο όμοιες πλημμυρικές κοίτες.

Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια και σκοπό έχει την αξιολόγηση των εξεταζόμενων μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της παροχής σε κανάλια σύνθετης διατομής και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων τόσο για την αποτελεσματικότητα τους, όσο και γενικά για την ροή σε ανοικτούς αγωγούς σύνθετης διατομής.

Οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα της εργασίας κ. Ηλία Παπακωνσταντή, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, καθώς και στον κ. Παναγιώτη Δημητριάδη, Διδάκτορα Μηχανικό ΕΜΠ, για την άψογη συνεργασία τους και την υποστήριξή τους καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
SUMMARY.....	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	11
1.1 Εισαγωγή.....	11
1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	12
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	14
2.1 Συμβατικές μέθοδοι υπολογισμού.....	14
2.2 Μεθοδολογία διόρθωσης παροχής.....	16
2.3 Σχέσεις εκτίμησης διατμητικής τάσης στην ιδεατή διεπιφάνεια	19
2.4 Επίδραση βασικών παραμέτρων στον υπολογισμό της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια	23
3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	29
3.1 Πειραματικά δεδομένα.....	29
3.2 Εκτίμηση διατμητικών τάσεων.....	33
3.3 Εκτίμηση συνολικής παροχής.....	36
3.4 Εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων	44
3.5 Εκτίμηση συνολικής παροχής σε διατομές με διαφορετική τραχύτητα κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων	54
4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ	59
4.1 Αποκλίσεις μεθόδων.....	59
4.2 Σχολιασμός.....	62
5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	67
5.1 Σχετικό βάθος γ/H	67
5.2 Λόγος πλατών ευρείας και κύριας κοίτης B/b	67
5.3 Σχετική τραχύτητα nr	70
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1 – Συμμετρική σύνθετη διατομή τραπεζοειδούς κύριου καναλιού (πηγή: P. R. Wormleaton & D. J. Merrett 1990)	11
Σχήμα 2 – Συμμετρική σύνθετη διατομή ορθογωνικού κύριου καναλιού	14
Σχήμα 3 – Δυνάμεις που δρουν στο κύριο κανάλι και στα πλημμυρικά τμήματα	17
Σχήμα 4 – Τιμές του συντελεστή τριβής συναρτήσει του σχετικού βάθους ροής για διάφορους λόγους B/b (πηγή: G.C. Christodoulou 1992)	21
Σχήμα 5 – Μεταβολή συντελεστή C_{fa} συναρτήσει του σχετικού βάθους για τα πειράματα του SERC	24
Σχήμα 6 - Μεταβολή συντελεστή C_{fa} συναρτήσει του σχετικού βάθους για τα πειράματα των Prinos and Townsend (1984) για $n_r=1$	25
Σχήμα 7 – Μεταβολή του συντελεστή C_{fa} για διάφορα n_r συναρτήσει του σχετικού βάθους για τα πειράματα των Prinos and Townsend(1984) στην διατομή με λόγο B/b=5.26.....	26
Σχήμα 8 - Μεταβολή του συντελεστή C_{fa} για διαφορετικά n_r συναρτήσει του σχετικού βάθους για τα πειράματα των Prinos and Townsend (1984) στην διατομή με λόγο B/b=3.83	27
Σχήμα 9 - Μεταβολή του συντελεστή C_{fa} (όπως προκύπτει με θεώρηση εξάρτησης της τάσης από την διαφορά των τετραγώνων των ταχυτήτων) για διαφορετικά n_r για τα πειράματα των Prinos and Townsend στην διατομή με λόγο B/b=5.26	28
Σχήμα 10 - Μεταβολή του συντελεστή C_{fa} (όπως προκύπτει με θεώρηση εξάρτησης της τάσης από την διαφορά των τετραγώνων των ταχυτήτων) για διαφορετικά n_r για τα πειράματα των Prinos and Townsend στην διατομή με λόγο B/b=3.83	28
Σχήμα 11 – Διάγραμμα εκτίμησης διατμητικών τάσεων στην διεπιφάνεια για τα πειράματα του SERC	33
Σχήμα 12 - Διάγραμμα εκτίμησης διατμητικών τάσεων στην διεπιφάνεια για τα πειράματα των Prinos and Townsend με $n_r=1$	34
Σχήμα 13 - Διάγραμμα εκτίμησης διατμητικών τάσεων στην διεπιφάνεια για τα πειράματα των Prinos and Townsend με $n_r=1.27, 1.64$ και 2	34
Σχήμα 14 – Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 1 των πειραμάτων του SERC (B/b =6.67)	37
Σχήμα 15 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 2 των πειραμάτων του SERC (B/b =4.20)	38
.....	38
Σχήμα 16 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 3 των πειραμάτων του SERC (B/b =2.20)	38
Σχήμα 17 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 8 των πειραμάτων του SERC (B/b =4.00).....	39
Σχήμα 18 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 10 των πειραμάτων του SERC (B/b =4.40)	39

Σχήμα 19 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα της 1 ^{ης} σειράς των Knight and Demetriou ($B/b=2.00$)	41
Σχήμα 20 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα της 2 ^{ης} σειράς των Knight and Demetriou ($B/b=3.00$)	41
Σχήμα 21 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα της 3 ^{ης} σειράς των Knight and Demetriou ($B/b=4.00$)	42
Σχήμα 22 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα των Prinios and Townsend με $B/b=5.26$ και $n_r=1$	42
Σχήμα 23 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα των Prinios and Townsend με $B/b=3.83$ και $n_r=1$	43
Σχήμα 24 – Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 1 των πειραμάτων του SERC ($B/b=6.67$)	46
Σχήμα 25 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 1 των πειραμάτων του SERC ($B/b=6.67$)	46
Σχήμα 26 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 2 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.20$)	47
Σχήμα 27 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 2 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.20$)	47
Σχήμα 28 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 3 των πειραμάτων του SERC ($B/b=2.20$)	48
Σχήμα 29 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 3 των πειραμάτων του SERC ($B/b=2.20$)	48
Σχήμα 30 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 8 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.00$)	49
Σχήμα 31 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 8 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.00$)	49
Σχήμα 32 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 10 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.40$)	50
Σχήμα 33 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 10 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.40$)	50
Σχήμα 34 – Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την 1 ^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou	51
Σχήμα 35 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την 1 ^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou	52
Σχήμα 36 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την 2 ^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou	52
Σχήμα 37 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την 2 ^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou	53
Σχήμα 38 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την 3 ^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou	53

Σχήμα 39 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την 3 ^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou	54
Σχήμα 40 – Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=5.26$ και $n_r=1.27$	56
Σχήμα 41 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=5.26$ και $n_r=1.64$	56
Σχήμα 42 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=5.26$ και $n_r=2.00$	57
Σχήμα 43 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=3.83$ και $n_r=1.27$	57
Σχήμα 44 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=3.83$ και $n_r=1.64$	58
Σχήμα 45 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=3.83$ και $n_r=2.00$	58
Σχήμα 46 – Αποκλίσεις της μεθόδου DCM στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσεως του λόγου B/b για τις τραπεζοειδείς διατομές των πειραμάτων του SERC.	68
Σχήμα 47 - Αποκλίσεις της μεθόδου Moreta and Martin-vide στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσεως του λόγου B/b για τις τραπεζοειδείς διατομές των πειραμάτων του SERC.....	68
Σχήμα 48 - Αποκλίσεις της μεθόδου Wormleaton and Merrett στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσεως του λόγου B/b για τις τραπεζοειδείς διατομές των πειραμάτων του SERC.....	69
Σχήμα 49 - Αποκλίσεις της μεθόδου DCM στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσεως του λόγου n_r για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=5.26$	70
Σχήμα 50 - Αποκλίσεις της μεθόδου Moreta and Martin-Vide στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσεως του λόγου n_r για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=5.26$	71
Σχήμα 51 - Αποκλίσεις της μεθόδου Wormleaton and Merrett στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσεως του λόγου n_r για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=5.26$	72
Σχήμα 52 - Αποκλίσεις της μεθόδου DCM στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσεως του λόγου n_r για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=3.83$	72
Σχήμα 53 - Αποκλίσεις της μεθόδου Moreta and Martin-Vide στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσεως του λόγου n_r για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=3.83$	73
Σχήμα 54 - Αποκλίσεις της μεθόδου Wormleaton and Merrett στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσεως του λόγου n_r για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=3.83$	73

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1 – Σχέσεις υπολογισμού διατμητικής τάσης στην ιδεατή διεπιφάνεια	23
Πίνακας 2 – Πειραματικά αποτελέσματα SERC.....	30
Πίνακας 3 – Πειραματικά αποτελέσματα Knight and Demetriou (1983).....	31
Πίνακας 4 – Πειραματικά αποτελέσματα Prinios and Townsend (1984).....	32
Πίνακας 5 – Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειράματα του SERC	59
Πίνακας 6 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειράματα των Knight and Demetriou	60
Πίνακας 7 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειράματα των Prinios and Townsend	60
Πίνακας 8 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για τα πειράματα του SERC	61
Πίνακας 9 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για τα πειράματα του SERC	61
Πίνακας 10 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για τα πειράματα των Knight and Demetriou	62
Πίνακας 11 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για τα πειράματα των Knight and Demetriou	62
Πίνακας 12 – Μέσες και μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων στον υπολογισμό της συνολικής παροχής για όλα τα πειράματα με $n_r=1$	65
Πίνακας 13 - Μέσες και μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων στον υπολογισμό της συνολικής παροχής για όλα πειράματα με $n_r>1$	65
Πίνακας 14 - Μέσες και μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων στον υπολογισμό της παροχής κύριου καναλιού για όλα τα πειράματα.....	66
Πίνακας 15 - Μέσες και μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων στον υπολογισμό της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για όλα τα πειράματα.....	66

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ροής σε ανοικτούς αγωγούς σύνθετης διατομής και η συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων υπολογισμού της παροχής. Ροή σε ανοικτούς αγωγούς σύνθετης διατομής εμφανίζεται τόσο σε φυσικούς ποταμούς όσο και σε τεχνητούς αγωγούς, σχεδιασμένους για να μεταφέρουν μεγάλο εύρος παροχών. Μια σύνθετη διατομή καναλιού αποτελείται από το κύριο κανάλι και τις πλημμυρικές κοίτες. Για πολύ μεγάλες παροχές το νερό υπερχειλίζει από το κύριο κανάλι και ρέει στις πλημμυρικές κοίτες. Επομένως σε αυτές τις περιπτώσεις είναι πολύ σημαντικό να μπορούμε να γνωρίζουμε με ακρίβεια την σχέση στάθμης-παροχής και την κατανομή της παροχής στην διατομή, ώστε να μπορούμε να εκτιμήσουμε την κατάκλυση των πλημμυρικών τμημάτων και να λάβουμε τα αναγκαία αντιπλημμυρικά μέτρα.

Από παλιά έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές μέθοδοι για την εκτίμηση της παροχής σε σύνθετες διατομές. Οι κυριότερες από τις συμβατικές μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι η μέθοδος Single Channel Method (SCM) που θεωρεί την διατομή ως απλή και η μέθοδος Divided Channel Method (DCM) που υπολογίζει την παροχή χωριστά στα επιμέρους τμήματα τα οποία χωρίζονται με διεπιφάνειες. Οι δύο αυτές μέθοδοι εμφανίζουν όμως σημαντικά σφάλματα καθώς η SCM υποεκτιμά την παροχή ενώ η DCM, που είναι και η πιο διαδεδομένη, την υπερεκτιμά. Η αποτυχία των μεθόδων να προσεγγίσουν ικανοποιητικά την πραγματική παροχή έγκειται στο γεγονός ότι αμελούν την αλληλεπίδραση μεταξύ του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών τμημάτων. Στην ροή σε σύνθετες διατομές το βάθος ροής των πλημμυρικών τμημάτων είναι μικρότερο από αυτό του κύριου καναλιού κάτι που έχει ως αποτέλεσμα στα πλημμυρικά τμήματα να παρατηρούνται και μικρότερες ταχύτητες. Η διαφορά αυτή των ταχυτήτων οδηγεί στην ανάπτυξη διατμητικής τάσης στην ιδεατή διεπιφάνεια που χωρίζει το κύριο κανάλι από τα πλημμυρικά τμήματα, η οποία προκαλεί σημαντική μεταφορά ποσότητας κίνησης (ορμής) από το κύριο κανάλι προς τα πλημμυρικά τμήματα. Έτσι στο κύριο κανάλι μεταφέρεται μικρότερη παροχή από αυτήν που υπολογίζεται από την μέθοδο DCM που αμελεί αυτήν την αλληλεπίδραση.

Για τον καλύτερο προσδιορισμό της παροχής πραγματοποιήθηκαν τα προηγούμενα χρόνια πολλά πειράματα μικρής και μεγάλης κλίμακας σε σύνθετα κανάλια. Στα πειραματικά αυτά δεδομένα βασίστηκαν πολλοί ερευνητές για την παραγωγή μιας σχέσης που θα εκτιμάει με καλή ακρίβεια την διατμητική τάση στην διεπιφάνεια και κατ' επέκταση θα προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική παροχή και την κατανομή της σε κύριο κανάλι και πλημμυρικά τμήματα. Στην αρχή δημιουργήθηκαν κάποιες εντελώς εμπειρικές σχέσεις με προσαρμογή στα

πειραματικά δεδομένα ενώ στην συνέχεια έγιναν προσπάθειες να παραχθούν σχέσεις διαστατικά ορθές. Οι κυριότεροι παράμετροι που έλαβαν υπόψη οι διάφοροι ερευνητές και θα μελετηθούν και στην παρούσα εργασία είναι το σχετικό βάθος ροής γ/H , δηλαδή ο λόγος του βάθους στα πλημμυρικά τμήματα προς το συνολικό βάθος ροής, ο λόγος των πλατών ολόκληρης της διατομής προς το πλάτος του κύριου καναλιού B/b και η σχετική τραχύτητα της διατομής, δηλαδή ο λόγος των συντελεστών τραχύτητας (Manning).

Οι μέθοδοι που θα συγκριθούν και θα αξιολογηθούν στην παρούσα εργασία είναι οι συμβατικές μέθοδοι SCM και DCM και πέντε ακόμα μέθοδοι από την βιβλιογραφία που υπολογίζουν εμπειρικά ή ημιεμπειρικά τη διατμητική τάση στη διεπιφάνεια και στη συνέχεια η παροχή υπολογίζεται μέσω μιας ευρέως χρησιμοποιούμενης μεθοδολογίας που έχει προταθεί στην βιβλιογραφία, που εκφράζει διορθωτικούς συντελεστές στις παροχές που υπολογίζονται με τη μέθοδο DCM.

Συγκεκριμένα η εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Περιγράφεται ο λόγος για τον οποίο είναι η σημαντική η ακριβής πρόβλεψη της παροχής σε σύνθετες διατομές και γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των σημαντικότερων ερευνών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση των συμβατικών μεθόδων, της μεθοδολογίας διόρθωσης της παροχής με βάση την διατμητική τάση στην διεπιφάνεια και των σχέσεων για τον υπολογισμό της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια. Επιπλέον διερευνάται και η επίδραση των βασικών παραμέτρων της διατομής στον υπολογισμό της διατμητικής τάσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της διατμητικής τάσης, της συνολικής παροχής και της κατανομής της παροχής με βάση διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα. Παρουσιάζονται τα διαγράμματα των αποκλίσεων των μεθόδων για κάθε εξεταζόμενη διατομή συναρτήσει του σχετικού βάθους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέσες, οι ελάχιστες και οι μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων για όλα τα εξεταζόμενα πειραματικά δεδομένα και αξιολογούνται τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες της κάθε μεθόδου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζεται η επίδραση των βασικών παραμέτρων, του σχετικού βάθους γ/H , του λόγου B/b και της σχετικής τραχύτητας στην αποτελεσματικότητα των μεθόδων.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία για τις εξεταζόμενες μεθόδους και γενικότερα για την ροή σε αγωγούς σύνθετης διατομής.

SUMMARY

The object of this Thesis is the study of flow in compound open channels and the comparative evaluation of discharge calculation methods. Flow in compound open channels occurs both in natural rivers and in artificial channels designed to carry a wide range of flows. A compound cross-section consists of the main channel and the floodplains. For high discharges, water overflows from the main channel and flows into the floodplains. Therefore, in these cases accurate prediction of the stage/discharge relationship and the flow distribution in the cross-section is very important, so that we can estimate the inundation of the floodway sections and take the necessary flood protection measures.

Many methods have been used to estimate the flow in compound open channels. The main conventional methods that have been used are the Single Channel Method (SCM), which considers the cross-section as a simple one, and the Divided Channel Method (DCM) which calculates the flow rate separately in the individual sections which are separated by interfaces. However, these two methods introduce significant errors as the SCM underestimates the flow rate whereas the DCM, which is commonly used, overestimates it. The failure of the conventional methods to accurately predict the actual flow lies in the fact that they neglect the interaction between the main channel and the flood plains.

In compound open channel flows, the flow depth of the flooding sections is less than that of the main channel, resulting in lower velocities in the flooding sections. This difference in velocities leads to the development of a shear stress at the ideal interface separating the main channel from the flood plains, which causes a significant amount of momentum transfer between the main channel and the floodplains. Thus, the discharge capacity of the main channel is lower than that calculated by the DCM method which neglects this interaction.

To improve the flow rate estimation, many small-scale and large-scale experiments have been carried out in compound channels and have been presented in the literature. These experimental data have been used by many investigators to produce a relationship that will estimate with good accuracy the shear stress at the interface and thus satisfactorily approximate the actual discharge and its distribution in the main channel and the floodplains. Initially, some completely empirical relations were generated by fitting experimental data, and then attempts were made to produce dimensionally correct relations. The main parameters taken into account by several investigators, which are studied in this Thesis are the relative flow depth y/H , i.e. the ratio of the depth in the floodplain to the total flow depth, the width ratio B/b , i.e. the ratio of the whole cross-section width to the width of the

main channel and the relative roughness of the cross-section, i.e. the ratio of the roughness coefficients (Manning).

The methods that will be compared and evaluated in this paper are the conventional SCM and DCM methods and five other methods from the literature that empirically or semi-empirically calculate the apparent shear stress on the interface and then the discharge is calculated through a widely used methodology proposed in the literature, which applies correction factors to the flow rates calculated by the DCM method.

In particular, the thesis consists of six chapters.

The first chapter provides an introduction to the scope of this paper. The importance of predicting accurately the discharge in compound cross-sections is described and a literature review of the most important studies is presented.

The second chapter provides a detailed presentation of the conventional methods, the methodology for correcting the calculated discharge based on the shear stress at the interface and the relationships for calculating the shear stress at the interface. In addition, the influence of key cross-sectional parameters on the calculation of shear stress is also investigated.

The third chapter compares the methods in the estimation of apparent shear stress, total discharge and discharge distribution based on available experimental data. Plots for the deviations of the methods from the experimental data as a function of the relative depth are presented.

The fourth chapter presents the mean, minimum and maximum deviations of each method from the experimental data considered and includes evaluation of each method.

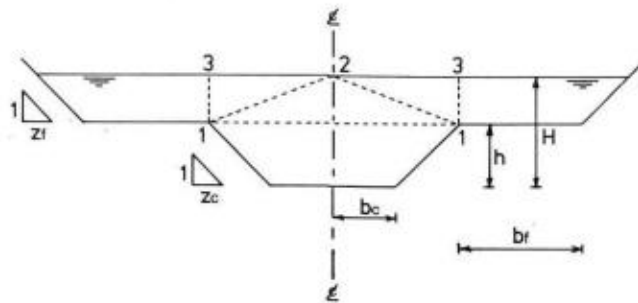
Chapter five examines the effect of the key parameters, relative depth y/H , ratio B/b and relative roughness on the effectiveness of the methods.

Chapter six presents the most important conclusions drawn from this work for the methods considered and generally for the flow in compound open channels.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ροής σε ανοικτούς αγωγούς σύνθετης διατομής και η συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων υπολογισμού της παροχής. Ροή σε αγωγούς σύνθετης διατομής εμφανίζεται τόσο σε φυσικούς ποταμούς όσο και σε τεχνητούς αγωγούς, σχεδιασμένους για να μεταφέρουν μεγάλο εύρος παροχών. Μια σύνθετη διατομή καναλιού αποτελείται από το κύριο κανάλι και τις πλημμυρικές κοίτες. Στο Σχήμα 1 φαίνεται η τυπική συμμετρική διατομή με κύριο κανάλι τραπεζοειδούς διατομής. Οι διατομές που θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία είναι συμμετρικές με κύριο κανάλι τραπεζοειδούς ή ορθογωνικής διατομής, που αποτελούν και τις πιο συνηθισμένες διατομές.



Σχήμα 1 – Συμμετρική σύνθετη διατομή τραπεζοειδούς κύριου καναλιού (πηγή: P. R. Wormleaton & D. J. Merrett 1990)

Κατά την εμφάνιση πλημμυρικών παροχών, δηλαδή μεγάλων παροχών που σημειώνονται λίγες φορές τον χρόνο, το νερό υπερχειλίζει από το κύριο κανάλι και ρέει στις πλημμυρικές κοίτες. Επομένως, η ακριβής πρόβλεψη της σχέσης στάθμης-παροχής, καθώς και της κατανομής της παροχής στα επιμέρους τμήματα της διατομής, έχει μεγάλη σημασία τόσο θεωρητικά, όσο και πρακτικά για την εκτίμηση της κατάκλυσης των πλημμυρικών τμημάτων και την λήψη των αναγκαίων αντιπλημμυρικών μέτρων.

Το παραπάνω ζήτημα απασχόλησε από τα παλαιά χρόνια τους μηχανικούς με αποτέλεσμα να εφαρμοστούν αρκετές μέθοδοι για την επίλυσή του, οι οποίες όμως φαίνεται να εμφανίζουν σημαντικά σφάλματα. Συγκεκριμένα οι πιο διαδεδομένες συμβατικές μέθοδοι υπολογισμού της παροχής σε σύνθετες διατομές είναι οι Single Channel Method (SCM) και Divided Channel Method (DCM) οι οποίες φαίνεται να αποτυγχάνουν στον ακριβή προσδιορισμό της παροχής. Η SCM που θεωρεί την διατομή ως ενιαία και εφαρμόζει σε αυτήν εξίσωση ομοιόμορφης ροής (π.χ. εξίσωση Manning) φαίνεται πως υποεκτιμάει την παροχή. Η DCM, που είναι και πιο

διαδεδομένη, χωρίζει την διατομή σε επιμέρους τμήματα με νοητές διεπιφάνειες, οι οποίες μπορεί να είναι οριζόντιες, διαγώνιες ή κατακόρυφες και υπολογίζει την παροχή σε κάθε τμήμα ξεχωριστά θεωρώντας ομοιόμορφη ροή και μηδενική διατμητική τάση στις διεπιφάνειες. (Chow V.T. 1959, Νουτσόπουλος κ.α. 2010). Η μέθοδος αυτή συνήθως υπερεκτιμά σημαντικά την παροχή. Αυτό συμβαίνει διότι η θεώρηση μηδενικής διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια αμελεί την αλληλεπίδραση μεταξύ του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών τμημάτων που έχει σαν αποτέλεσμα το κύριο κανάλι να μεταφέρει στην πραγματικότητα μικρότερη παροχή από αυτήν που υπολογίζεται.

Στην πραγματικότητα, επειδή τα βάθη ροής των πλημμυρικών τμημάτων είναι μικρά, η ταχύτητα σε αυτά είναι μικρότερη από αυτήν του κύριου καναλιού. Η διαφορά αυτή της ταχύτητας έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια η οποία προκαλεί σημαντική μεταφορά ποσότητας κίνησης από το κύριο κανάλι προς τα πλημμυρικά τμήματα. Η αγνόηση αυτής της μεταφοράς οδηγεί σε εσφαλμένη εκτίμηση της παροχής.

1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Αρκετές προσπάθειες έγιναν τα προηγούμενα χρόνια για την εκτίμηση της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια και κατ' επέκταση τον ακριβέστερο υπολογισμό της παροχής. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλά πειράματα από διάφορους ερευνητές, κάτι που δείχνει και την ανάγκη για καλύτερη κατανόηση και επίλυση του προβλήματος. Κάποια από αυτά είναι τα πειράματα των Wormleaton et al (1982), Noutsopoulos and Hadjipanous (1983), Knight and Demetriou (1983), Prinios and Townsend (1984), Radojkovic and Djordjevic (1985), Myers (1987), καθώς και τα πειράματα από το Science and Engineering Research Council (SERC) σε ένα μεγάλο αγωγό το Flood Channel Facility (FCF) με σκοπό τον καλύτερο προσδιορισμό της ροής σε κανάλια σύνθετης διατομής. Στα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν βασίστηκαν πολλοί ερευνητές και προσπάθησαν να δημιουργήσουν μια σχέση για τη καλύτερη δυνατή εκτίμηση της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια.

Αρχικά έγιναν προσπάθειες να παραχθούν κάποιες σχέσεις με προσαρμογή στα δεδομένα των πειραμάτων, όπως αυτή των Prinios and Townsend (1984) ο οποίος από μετρήσεις των διατμητικών τάσεων στα στερεά όρια υπολόγισαν τη διατμητική τάση στην διεπιφάνεια και με προσαρμογή σε αυτά τα αποτελέσματα έφτιαξαν μια σχέση για τον υπολογισμό της διατμητικής τάσης. Στην συνέχεια οι Wormleaton and Merrett (1990) βασίστηκαν στην μεθοδολογία του Radojkovic and Djordjevic (1985) για την διόρθωση της παροχής λόγω της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια και στα εργαστηριακά δεδομένα του SERC για την παραγωγή μιας σχέσης που να υπολογίζει την τάση αυτή. Με την αξιοποίηση της σχέσης αυτής προσεγγίζεται

καλύτερα η πραγματική παροχή, είναι όμως και αυτή μια εντελώς εμπειρική σχέση που δεν είναι διαστατικά ορθή.

Αργότερα, ο Christodoulou (1992), εισήγαγε στην ανάλυση τον συντελεστή τριβής και αξιοποιώντας τα δεδομένα των πειραμάτων των Knight and Demetriou (1983) έδειξε πως εξαρτάται από τον λόγο των πλατών B/b της διατομής και πρότεινε μια νέα σχέση για τον υπολογισμό της διατμητικής τάσης, η οποία είναι διαστατικά σωστή. Την προσπάθεια δημιουργίας μιας διαστατικά ορθής σχέσης συνέχισαν και άλλοι μελετητές, όπως οι Moreta and Martin-Vide (2010) οι οποίοι εκτός από τον λόγο B/b έλαβαν υπόψη και την επίδραση του λόγου h/b και της διαφοράς τραχύτητας μεταξύ του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών τμημάτων της διατομής και έφτιαξαν μια σχέση με προσαρμογή σε πειράματα τόσο μικρής όσο και μεγάλης κλίμακας. Στην συνέχεια, οι Chen et al. (2016) χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο εύρος εργαστηριακών δεδομένων και βασιζόμενος στην σχέση των Huthoff et al. (2008) πρότειναν μια νέα σχέση για την διατμητική τάση θεωρώντας πως αυτή εξαρτάται από την διαφορά των τετραγώνων των ταχυτήτων και όχι από το τετράγωνο της διαφοράς των ταχυτήτων όπως στην σχέση του Christodoulou (1992).

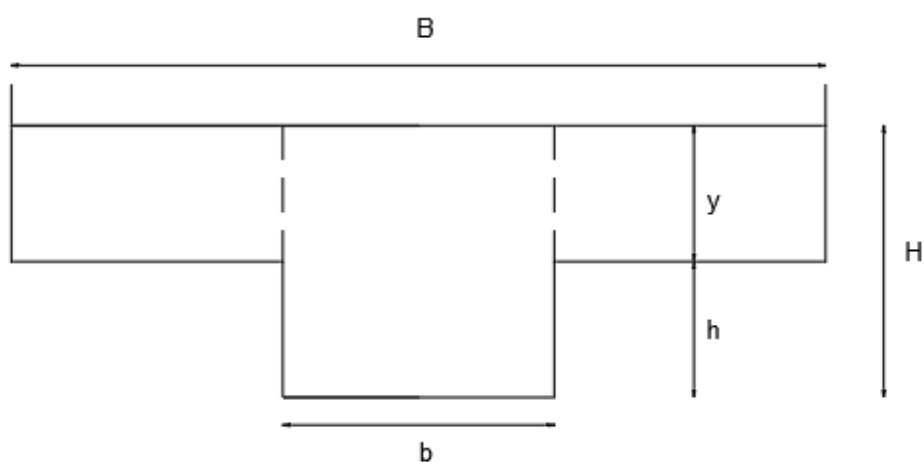
Ο Παπακωνσταντής (2003) πραγματοποίησε υπολογιστική μελέτη της ροής σε ανοικτούς αγωγούς σύνθετης διατομής και αποτελέσματα για την επίδραση των γεωμετρικών παραμέτρων της διατομής στην εκτίμηση της παροχής παρουσίασαν οι Παπακωνσταντής και Χριστοδούλου (2003).

Στην παρούσα εργασία θα γίνει αναλυτική παρουσίαση όλων αυτών των μεθόδων και σύγκριση μεταξύ τους και με πειραματικές μετρήσεις.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

2.1 Συμβατικές μέθοδοι υπολογισμού

Οι κλασικές μέθοδοι υπολογισμού Single Channel Method (SCM) και Divided Method Channel (DCM) αγνοούν την διατμητική τάση που αναπτύσσεται στην ιδεατή διεπιφάνεια μεταξύ του κύριου καναλιού και της πλημμυρικής κοίτης (Σχήμα 2). Αυτό τις καθιστά εύχρηστες και απλές υπολογιστικά, τα αποτελέσματα που δίνουν όμως, δεν προσεγγίζουν ικανοποιητικά την πραγματική παροχή.



Σχήμα 2 – Συμμετρική σύνθετη διατομή ορθογωνικού κύριου καναλιού

Η SCM θεωρεί την διατομή ως ενιαία απλή διατομή και εφαρμόζει σε αυτήν μια εξίσωση ομοιόμορφης ροής. Η πιο συνηθισμένη εξίσωση, που θα χρησιμοποιηθεί και για τους υπολογισμούς στην παρούσα εργασία, είναι η εξίσωση Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{S_o} \quad (2.1)$$

όπου:

Q : Η συνολική παροχή της διατομής

A : Το συνολικό εμβαδόν της υγρής διατομής

R : Η υδραυλική ακτίνα της διατομής $R = A/P$, με P την βρεχόμενη περίμετρο

n : Ο συντελεστής τραχύτητας ή συντελεστής Manning

S_o : Η κλίση του πυθμένα

Πολλές φορές η τραχύτητα του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών τμημάτων μπορεί να διαφέρουν. Συνήθως η τραχύτητα είναι μεγαλύτερη σε πλημμυρικές

κοίτες που καλύπτονται από βλάστηση. Σε αυτήν την περίπτωση για την εφαρμογή της μεθόδου SCM πρέπει να υπολογιστεί ένας ισοδύναμος συντελεστής τραχύτητας n_e που να εκφράζει την τραχύτητα ολόκληρης της επιφάνειας της διατομής. Οι κυριότερες σχέσεις υπολογισμού είναι οι εξής :

$$n_e = \left(\sum_i \frac{P_i n_i^{3/2}}{P} \right)^{2/3} \quad (2.2)$$

$$n_e = \left(\frac{\sum_i P_i n_i^2}{P^{1/2}} \right)^{1/2} \quad (2.3)$$

$$n_e = \frac{PR^{5/3}}{\sum_i \frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i}} \quad (2.4)$$

όπου P, R η βρεχόμενη περίμετρος και η υδραυλική ακτίνα όλης της διατομής αντίστοιχα, ενώ P_i, R_i, n_i είναι η βρεχόμενη περίμετρος, η υδραυλική ακτίνα και ο συντελεστής τραχύτητας του κάθε τμήματος με διαφορετικό συντελεστή τραχύτητας.

Η σχέση (2.2) προκύπτει με την θεώρηση πως οι μέσες ταχύτητες στα διάφορα τμήματα με διαφορετική τραχύτητα στα οποία χωρίζεται η διατομή είναι ίσες. Η σχέση (2.3) προκύπτει με την θεώρηση πως η συνολική αντίσταση στην ροή είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεων των επιμέρους τμημάτων στα οποία χωρίζεται η διατομή. Η σχέση (2.4) προκύπτει με την παραδοχή πως η συνολική παροχή της διατομής είναι ίση με το άθροισμα των παροχών των επιμέρους τμημάτων. Η σχέση (2.4) μειονεκτεί σε σχέση με τις άλλες δύο στο ότι εξαρτάται από τα εμβαδά των τμημάτων στα οποία χωρίζεται η διατομή.

Στην συγκεκριμένη εργασία, για τους υπολογισμούς της SCM σε διατομές με διαφορετική τραχύτητα σε κύριο κανάλι και πλημμυρικές κοίτες, θα χρησιμοποιηθεί η σχέση (2.2).

Γενικότερα η μέθοδος SCM υποεκτιμάει σημαντικά την παροχή, ιδιαίτερα στα μικρά βάθη, καθώς για ροή στις πλημμυρικές κοίτες η βρεχόμενη περίμετρος που υπολογίζεται αυξάνεται σημαντικά ενώ η υγρή διατομή A παρουσιάζει μικρή αύξηση με αποτέλεσμα η υδραυλική ακτίνα R να μειώνεται σημαντικά και η παροχή που προκύπτει να είναι μικρότερη από την πραγματική. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την σύγκριση της SCM με τα πειραματικά αποτελέσματα που γίνεται στο κεφάλαιο 3.

Η DCM, που είναι και αυτή που χρησιμοποιείται περισσότερο, χωρίζει την διατομή σε επιμέρους τμήματα με ιδεατές διεπιφάνειες. Έτσι μπορούν να ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές τραχύτητες κάθε τμήματος. Ιδιαίτερα για τις συμμετρικές διατομές, η διατομή χωρίζεται στο κύριο κανάλι και στις δύο πλημμυρικές κοίτες εκατέρωθεν του κύριου καναλιού. Ο χωρισμός μπορεί να γίνει με κατακόρυφες, οριζόντιες ή διαγώνιες διεπιφάνειες (Σχήμα 1). Ο χωρισμός με κατακόρυφες διεπιφάνειες είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος και αυτός που θα εφαρμοστεί σε αυτή την εργασία.

Εφαρμόζεται η εξίσωση Manning σε κάθε τμήμα ξεχωριστά, θεωρώντας μηδενική διατμητική τάση στις διεπιφάνειες και αγνοώντας τις διεπιφάνειες στον υπολογισμό της βρεχόμενης περιμέτρου κάθε τμήματος. Η συνολική παροχή προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους παροχών που υπολογίστηκαν σε κύριο κανάλι και πλημμυρικά τμήματα. Συγκεκριμένα για μια συμμετρική σύνθετη διατομή καναλιού που αποτελείται από ένα κύριο κανάλι και δύο πλημμυρικές όμοιες κοίτες εκατέρωθεν η συνολική παροχή υπολογίζεται από την σχέση :

$$Q = Q_c + 2Q_f$$

όπου Q_c η παροχή που μεταφέρει το κύριο κανάλι και Q_f η παροχή που μεταφέρει η κάθε πλημμυρική κοίτη.

Το γεγονός πως αμελείται η διατμητική τάση και επομένως η αλληλεπίδραση μεταξύ κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων έχει ως αποτέλεσμα η DCM να υπερεκτιμάει την παροχή, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που παρουσιάζονται στην συνέχεια.

2.2 Μεθοδολογία διόρθωσης παροχής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην πραγματικότητα αναπτύσσεται διατμητική τάση μεταξύ του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών κοιτών.

Θεωρώντας μια διατομή ενός σύνθετου καναλιού, που το κύριο κανάλι διαχωρίζεται από τις πλημμυρικές κοίτες με κατακόρυφες διεπιφάνειες όπως στο Σχήμα 2, οι δυνάμεις που δρουν στο κάθε τμήμα της διατομής είναι οι εξής:

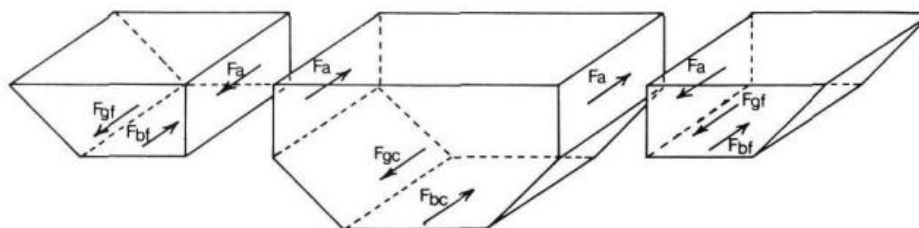
F_{g_c} = Η συνιστώσα δύναμη του βάρους του υγρού του κύριου καναλιού κατά την κατεύθυνση της ροής.

F_{g_f} = Η συνιστώσα δύναμη του βάρους του υγρού των πλημμυρικών κοιτών κατά την κατεύθυνση της ροής.

F_{b_c} = Η διατμητική δύναμη που δρα στα στερεά όρια του κύριου καναλιού.

F_{b_f} = Η διατμητική δύναμη που δρα στα στερεά όρια των πλημμυρικών κοιτών.

F_a = Η διατμητική δύναμη που δρα στις διεπιφάνειες.



Σχήμα 3 – Δυνάμεις που δρουν στο κύριο κανάλι και στα πλημμυρικά τμήματα

Αν εφαρμόσουμε την ισορροπία δυνάμεων στο κύριο κανάλι θα έχουμε (Wormleaton and Merrett 1990):

$$F_{gc} = F_{bc} + 2F_a \quad (2.5)$$

και σε όρους τάσεων :

$$wA_c S_0 = \tau_c P_c + \tau_a P_a \quad (2.6)$$

όπου:

τ_c και τ_a οι διατμητικές τάσεις που δρουν στην βρεχόμενη περίμετρο του κύριου καναλιού P_c και στην συνολική περίμετρο των διεπιφανειών P_a αντίστοιχα.

A_c το εμβαδόν της διατομής του κύριου καναλιού,

S_0 η κλίση πυθμένα του καναλιού,

w το ειδικό βάρος νερού ($w=\rho g$)

Από την εξίσωση (2.6) προκύπτει:

$$\tau_c = wR_c S_0 - \tau_a (P_a/P_c) \quad (2.7)$$

όπου: $R_c=A_c/P_c$ η υδραυλική ακτίνα του κύριου καναλιού.

Η τ_c μπορεί να γραφτεί και ως συνάρτηση της ταχύτητας του κύριου καναλιού V_c της πυκνότητας του νερού ρ και του συντελεστή τριβής C_f οπότε:

$$C_f \rho V_c^2 / 2 = wR_c S_0 - \tau_a (P_a/P_c) \quad (2.8)$$

οπότε προκύπτει:

$$V_c = \sqrt{2g/C_f\{R_c S_0 - (\tau_a P_a / w P_c)\}} \quad (2.9)$$

Ο συντελεστής τριβής C_f μπορεί να εκφραστεί σαν συνάρτηση του συντελεστή τραχύτητας Manning:

$$C_f = 2g/C^2 = 2g(n^2/R_c^{1/3}) \quad (2.10)$$

οπότε έχουμε:

$$\begin{aligned} V_c &= (R_c^{1/6}/n)\sqrt{\{R_c S_0 - (\tau_a P_a / w P_c)\}} \\ V_c &= (R_c^{2/3} S_0^{1/2}/n)\sqrt{\{1 - (\tau_a P_a / w A_c S_0)\}} \\ V_c &= V'_c \sqrt{\{1 - (\tau_a P_a / w A_c S_0)\}} \end{aligned} \quad (2.11)$$

όπου V'_c η ταχύτητα του κύριου καναλιού όπως υπολογίζεται από την εξίσωση Manning αγνοώντας τις διεπιφάνειες στον υπολογισμό της βρεχόμενης περιμέτρου.

Η εξίσωση (2.11) μπορεί να γραφεί και ως :

$$V_c = V'_c \sqrt{\{(w A_c S_0 - \tau_a P_a) / w A_c S_0\}} \quad (2.12)$$

Και με αντικατάσταση από την (2.5) και (2.6):

$$V_c = V'_c \{\tau_c P_c / w A_c S_0\}^{1/2} = V'_c (F_{b_c} / F_{g_c})^{1/2} \quad (2.13)$$

Ο λόγος $\phi_c = F_{b_c} / F_{g_c}$ προτάθηκε από τους Radojkovic and Djordjevic (1985) σαν συντελεστής που χαρακτηρίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών κοιτών.

Οπότε αν η εξίσωση (2.13) γραφεί σε όρους παροχής προκύπτει:

$$Q_c = Q'_c \phi_c^{1/2} \quad (2.14)$$

Κάνοντας τη ίδια ανάλυση για τα πλημμυρικά τμήματα προκύπτει η συνολική παροχή:

$$Q_t = Q_c + Q_f = Q'_c \phi_c^{1/2} + Q'_f \phi_f^{1/2} \quad (2.15)$$

όπου Q'_c και Q'_f οι παροχές του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών κοιτών αντίστοιχα, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή της εξίσωσης Manning σε κάθε τμήμα ξεχωριστά, αγνοώντας τις διεπιφάνειες στον υπολογισμό της βρεχόμενης περιμέτρου.

Η χρήση των συντελεστών ϕ για τον χαρακτηρισμό της αλληλεπίδρασης μεταξύ του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών τμημάτων έχει το πλεονέκτημα ότι δείχνει

τον βαθμό και την κατεύθυνση της μεταφοράς ποσότητας κίνησης. Αν ο συντελεστής φ είναι μικρότερος της μονάδας η δύναμη τριβής των στερεών ορίων είναι μικρότερη από την δύναμη βαρύτητας του υγρού, οπότε για να ικανοποιείται η ισορροπία μεταξύ των δυνάμεων η δύναμη τριβής στην διεπιφάνεια θα είναι αντίθετη με την κατεύθυνση της ροής και επομένως θα υπάρχει μεταφορά κίνησης από το εξεταζόμενο τμήμα. Αντίθετα, αν ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος από την μονάδα η τριβή στην διεπιφάνεια θα έχει την κατεύθυνση της ροής και επομένως θα υπάρχει μεταφορά κίνησης προς το τμήμα αυτό.

Επομένως, όταν ο συντελεστής του κύριου καναλιού φ_c είναι μεγαλύτερος της μονάδας ο συντελεστής της πλημμυρικής κοίτης θα είναι μικρότερος της μονάδας και αντίστροφα.

Εφαρμόζοντας την ισορροπία των δυνάμεων όπως στην εξίσωση (2.5) για το πλημμυρικό τμήμα προκύπτει:

$F_{g_f} = F_{b_f} - F_a$ και απαλείφοντας την τριβή στην διεπιφάνεια:

$$F_{g_c} + 2F_{g_f} = F_{b_c} + 2F_{b_f} \quad (2.16)$$

Με τροποποίηση της παραπάνω σχέσης προκύπτει:

$$A_c(1 - \varphi_c) = A_f(\varphi_f - 1) \quad (2.17)$$

όπου A_c και A_f είναι οι υγρές διατομές του κύριου καναλιού και της πλημμυρικής κοίτης αντίστοιχα.

Η σχέση που συνδέει τον συντελεστή φ με την διατμητική τάση στην διεπιφάνεια τ_a είναι η εξής:

$$\varphi_c = 1 - (\tau_a P_a / w A_c S_0) \quad (2.18)$$

Όπου P_a το μήκος της διεπιφάνειας.

Είναι λοιπόν φανερό πως για τον υπολογισμό του φ_c και επομένως και της παροχής είναι αναγκαίος ο υπολογισμός της τ_a . Για την εκτίμηση της διατμητικής τάσης τ_a , που είναι γνωστή και ως φαινόμενη διατμητική τάση, έχουν διαμορφωθεί πολλές σχέσεις προερχόμενες από την αξιοποίηση των διαθέσιμων πειραματικών δεδομένων, βάσει των οποίων θα γίνει και η αξιολόγηση της κάθε σχέσης.

2.3 Σχέσεις εκτίμησης διατμητικής τάσης στην ιδεατή διεπιφάνεια

Αρχικά, οι Prinos and Townsend (1984) εκτέλεσαν πειράματα σε ένα μικρής κλίμακας κανάλι για διαφορετικά πλάτη του κύριου καναλιού και διαφορετικούς συντελεστές τραχύτητας πλημμυρικών τμημάτων. Μέτρησαν τις τάσεις που

αναπτύχθηκαν στα στερεά όρια και με εφαρμογή της ισορροπίας των δυνάμεων υπολόγισαν την διατμητική τάση στην ιδεατή διεπιφάνεια. Για την παραγωγή της σχέσης θεώρησαν πως η διατμητική τάση στην διεπιφάνεια εξαρτάται από τον λόγο y/H , με y το βάθος ροής στις πλημμυρικές κοίτες, τον λόγο των πλατών B/b και την διαφορά της ταχύτητας μεταξύ κύριου καναλιού και πλημμυρικής κοίτης ΔV . Έτσι εφαρμόζοντας πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση κατέληξαν στην εξής εμπειρική σχέση :

$$\tau_a = 0.874 \left(\frac{H-h}{H}\right)^{-1.129} \left(\frac{B}{b}\right)^{-0.514} \Delta V^{0.92} \quad (2.19)$$

όπου ΔV η διαφορά ταχυτήτων όπως αυτές υπολογίζονται από την εξίσωση Manning θεωρώντας μηδενική διατμητική τάση στην ιδεατή διεπιφάνεια.

Οι Wormleaton and Merrett (1990) βασίστηκαν στα πειράματα μεγάλης κλίμακας του SERC. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν 4 διαφορετικές γεωμετρίες, με διαφορετικούς λόγους πλατών B/b , σταθερή κλίση καναλιού και σταθερό συντελεστή τραχύτητας, ενώ μετρήθηκαν αποτελέσματα για λόγους y/h από 0.05 έως 0.5. Ως παράμετροι για τον υπολογισμό της διατμητικής τάσης στην ιδεατή διεπιφάνεια επιλέχθηκαν το βάθος ροής στην πλημμυρική κοίτη, το πλάτος της πλημμυρικής κοίτης b_f και η διαφορά των ταχυτήτων ΔV . Μετά από μέτρηση των τάσεων στα στερεά όρια και υπολογισμό της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια εφαρμόστηκε ανάλυση παλινδρόμησης και προέκυψε η εξής εμπειρική σχέση :

$$\tau_a = 3.325(H - h)^{-0.354}(B - b)^{0.519} \Delta V^{1.451} \quad (2.20)$$

με $R^2 = 0.986$ κάτι που δείχνει πως η σχέση αυτή αν και απλή, προσεγγίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό τις υπολογισμένες από τα πειραματικά δεδομένα τάσεις.

Οι δύο αυτές σχέσεις των Prinos and Townsend (1984) και Wormleaton and Merrett (1990) είναι εντελώς εμπειρικές και δεν είναι διαστατικά ορθές, οπότε είναι δύσκολο να γενικευτεί η εφαρμογή τους.

Ο Christodoulou (1992) επιχείρησε να φτιάξει μια σχέση που να είναι διαστατικά σωστή σε αντίθεση με τις προηγούμενες. Έτσι πρότεινε μια σχέση η οποία θα είχε την γενική μορφή:

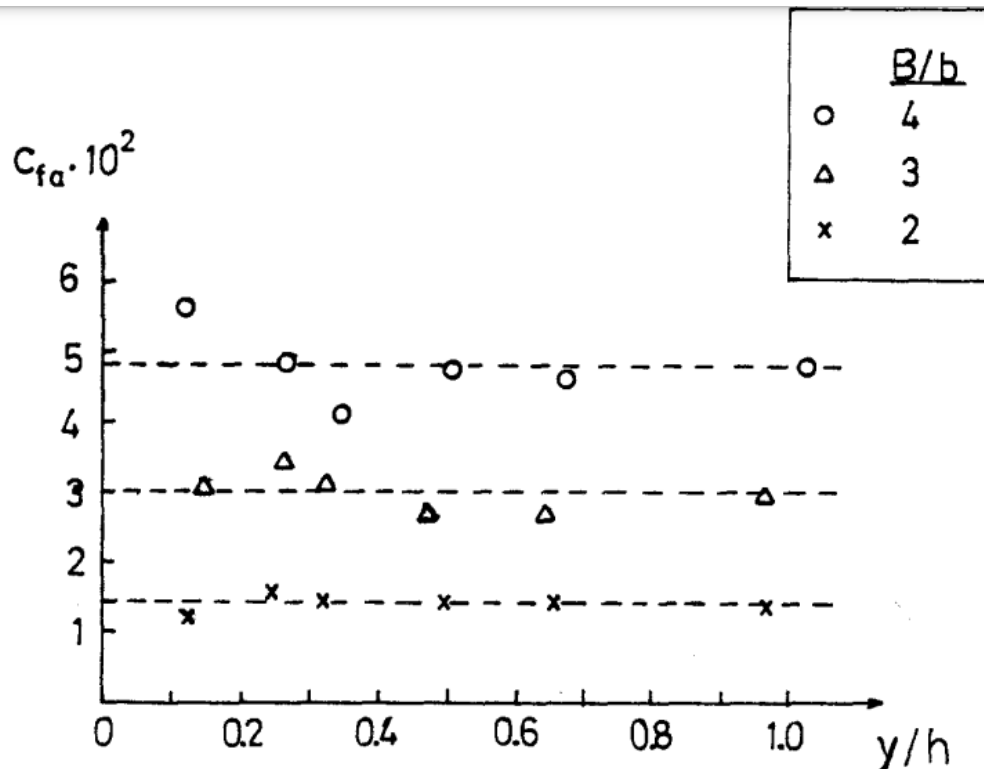
$$\tau_a = \frac{1}{2} \rho C_{fa} \Delta V^2 \quad (2.21)$$

όπου C_{fa} θεωρείται ο συντελεστής τριβής για την διεπιφάνεια που εξαρτάται κυρίως από το σχήμα της διατομής. Η γεωμετρία της σύνθετης διατομής καθορίζεται από τις παραμέτρους B , b , y , h και επομένως από τους λόγους B/b , h/b , y/h και επομένως για τον συντελεστή C_{fa} θα ισχύει:

$$C_{fa} = C_{fa}(B/b, h/b, y/H,) \quad (2.22)$$

Τα πειράματα στα οποία βασίστηκε ο Christodoulou (1992) είχαν όλα λόγο h/b κοντά στο 0.5 οπότε δεν μπορούσε να καθοριστεί η επίδραση αυτού του λόγου με τα συγκεκριμένα δεδομένα. Επομένως η σχέση που προέκυψε έχει κυρίως εφαρμογή σε κανάλια που ο λόγος αυτός είναι κοντά στο 0.5.

Για την εκτίμηση της επίδρασης των B/b και y/h υπολογίστηκε η τιμή του C_{fa} για διαφορετικά B/b σε όλο το εύρος των τιμών y/h . Η τιμή αυτή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3, δεν παρουσίαζε μεγάλες μεταβολές για το ίδιο B/b σε διαφορετικά y/h . Έτσι, προέκυψε το συμπέρασμα πως για τιμές y/h μέχρι την μονάδα (που είναι και οι τιμές που πρακτικά έχουν ενδιαφέρον, καθώς μεγαλύτερες τιμές δεν συνηθίζονται στην πραγματικότητα) ο συντελεστής C_{fa} είναι ανεξάρτητος του λόγου y/h και εξαρτάται μόνο από το B/b .



Σχήμα 4 – Τιμές του συντελεστή τριβής συναρτήσει του σχετικού βάθους ροής για διάφορους λόγους B/b (πηγή: G.C. Christodoulou 1992)

Έτσι υπολογίζοντας στην συνέχεια τον συντελεστή C_{fa} για διάφορες τιμές του B/b και εφαρμόζοντας γραμμική παλινδρόμηση ο Christodoulou (1992) κατέληξε στην σχέση:

$$C_{fa} = 0.01 \frac{B}{b}$$

Και έτσι η σχέση για την διατμητική τάση στην διεπιφάνεια προκύπτει:

$$\tau_a = \frac{1}{2}\rho \left(0.01 \frac{B}{b}\right) \Delta V^2 = 0,005\rho \frac{B}{b} \Delta V^2 \quad (2.23)$$

Οι Moreta and Martin-vide (2010) βασίστηκαν στην γενική σχέση $\tau_a = \frac{1}{2}\rho C_{fa} \Delta V^2$ που είχε προτείνει ο Christodoulou (1992), έδειξαν όμως πως ο συντελεστής C_{fa} δεν εξαρτάται μόνο από τον λόγο B/b αλλά και από το σχετικό βάθος $\left(\frac{H-h}{H}\right)$, τον λόγο τραχύτητας n_r και τον λόγο h/b . Επομένως για τον συντελεστή C_{fa} θα ισχύει:

$$C_{fa} = C_{fa}(B/b, h/b, y/H, n_r) \quad (2.24)$$

Χρησιμοποίησαν μεγάλο εύρος εργαστηριακών δεδομένων και κατέληξαν σε δύο διαφορετικές σχέσεις για τα κανάλια μικρής και μεγάλης κλίμακας αντίστοιχα:

$$\tau_a = \frac{1}{2}\rho \left[0.004 \frac{B}{b} \left(\frac{h}{b}\right)^{-1/3} \left[\frac{(H-h)}{H}\right]^{-1/3} - 0.018 \left[\frac{(H-h)}{H}\right]^{-1/3} \left(\frac{n_f - n_c}{n_c}\right)^{0.2}\right] \Delta V^2 \quad (2.25)$$

Με $R^2 = 0.846$, για τα κανάλια μικρής κλίμακας και

$$\tau_a = \frac{1}{2}\rho \left[0.003 \frac{B}{b} \left(\frac{h}{b}\right)^{-1/3} \left[\frac{(H-h)}{H}\right]^{-1/3} - 0.002 \left[\frac{(H-h)}{H}\right]^{-1/3} \left(\frac{n_f - n_c}{n_c}\right)^2\right] \Delta V^2 \quad (2.26)$$

Με $R^2 = 0.915$, για τα κανάλια μεγάλης κλίμακας.

Ο Chen et al. (2016) θεώρησε και αυτός ως παραμέτρους για τον υπολογισμό της διατμητικής τάσης τους λόγους B/b , $\left(\frac{H-h}{H}\right)$, και n_r , εισήγαγε όμως στην ανάλυση εκτός από το τετράγωνο της διαφοράς των ταχυτήτων ΔV^2 και την διαφορά των τετραγώνων τους $(V_c^2 - V_f^2)$.

Έτσι πρότεινε αρχικά τις δύο γενικές σχέσεις :

$$\tau_a = \frac{1}{2} K_1 \rho \left(\frac{B}{b}\right)^\alpha D_r^\beta \left(\frac{h}{b}\right)^\gamma \left(\frac{n_f}{n_c}\right)^\kappa (V_c^2 - V_f^2) \quad (2.27)$$

$$\tau_a = \frac{1}{2} K_1 \rho \left(\frac{B}{b}\right)^\alpha D_r^\beta \left(\frac{h}{b}\right)^\gamma \left(\frac{n_f}{n_c}\right)^\kappa (V_c - V_f)^2 \quad (2.28)$$

Εφαρμόζοντας ανάλυση παλινδρόμησης και για τις δύο σχέσεις, αρχικά σε πειράματα μικρής κλίμακας, προκύπτει πως η 1^η σχέση έχει μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης και έτσι κατέληξε στην εξής σχέση:

$$\tau_a = 0.00023\rho \left(\frac{B}{b}\right) D_r^{-1.128} \left(\frac{h}{b}\right)^{-0.396} \left(\frac{n_f}{n_c}\right)^{0.355} (V_c^2 - V_f^2) \quad (2.29)$$

Με $R^2 = 0.942$

Στην συνέχεια προστίθενται στην ανάλυση παλινδρόμησης και τα αποτελέσματα από τα πειράματα μεγάλης κλίμακας του SERC και προκύπτει η σχέση:

$$\tau_a = 0.00025\rho \left(\frac{B}{b}\right) D_r^{-1.043} \left(\frac{h}{b}\right)^{-0.542} \left(\frac{n_f}{n_c}\right)^{0.363} (V_c^2 - V_f^2) \quad (2.30)$$

Με $R^2 = 0.941$

Ως τελικοί συντελεστές κρατούνται οι $\beta=-1$, $\gamma=-0.5$, $\kappa=1/3$ και επομένως η τελική σχέση που διαμορφώνεται είναι η εξής:

$$\tau_a = 0.00025\rho \left(\frac{B}{b}\right) D_r^{-1} \left(\frac{h}{b}\right)^{-0.5} \left(\frac{n_f}{n_c}\right)^{1/3} (V_c^2 - V_f^2) \quad (2.31)$$

Με $R^2 = 0.928$

Οι εξισώσεις παρουσιάζονται συγκεντρωμένες στον παρακάτω πίνακα:

Σχέσεις υπολογισμού διατμητικής τάσης στην ιδεατή διεπιφάνεια	
Prinos and Townsend (1984)	$\tau_a = 0.874 \left(\frac{H-h}{H}\right)^{-1.129} \left(\frac{B}{b}\right)^{-0.514} \Delta V^{0.92}$
Wormleaton and Merrett (1990)	$\tau_a = 3.325(H-h)^{-0.354}(B-b)^{0.519}\Delta V^{1.451}$
Christodoulou (1992)	$\tau_a = 0,005\rho \frac{B}{b} \Delta V^2$
Moreta and Martin-Vide (2010)	$\tau_a = \frac{1}{2}\rho \left[0.004 \frac{B}{b} \left(\frac{h}{b}\right)^{-1/3} \left[\frac{(H-h)}{H}\right]^{-1/3} - 0.018 \left[\frac{(H-h)}{H}\right]^{-1/3} \left(\frac{n_f - n_c}{n_c}\right)^{0.2} \right] \Delta V^2$
Chen et al. (2016)	$\tau_a = 0.00025\rho \left(\frac{B}{b}\right) D_r^{-1} \left(\frac{h}{b}\right)^{-0.5} \left(\frac{n_f}{n_c}\right)^{1/3} (V_c^2 - V_f^2)$

Πίνακας 1 – Σχέσεις υπολογισμού διατμητικής τάσης στην ιδεατή διεπιφάνεια

2.4 Επίδραση βασικών παραμέτρων στον υπολογισμό της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια

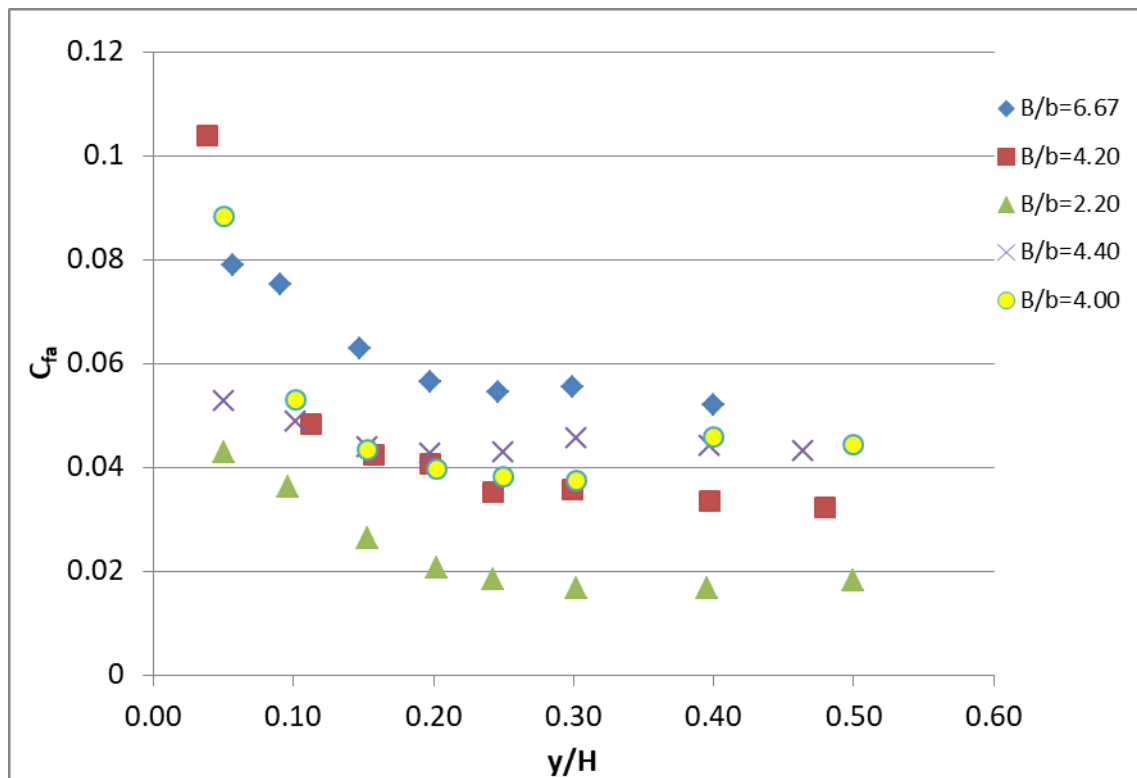
Από τις εξισώσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω η φαινόμενη διατμητική τάση φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από τον λόγο B/b , το σχετικό βάθος γ/H και την σχετική τραχύτητα n_r .

Η γενική μορφή της έκφρασης της διατμητικής τάσης είναι η εξής: $\tau_a = \frac{1}{2}\rho C_{fa} \Delta V^2$. Λύνοντας ως προς τον συντελεστή C_{fa} προκύπτει ότι:

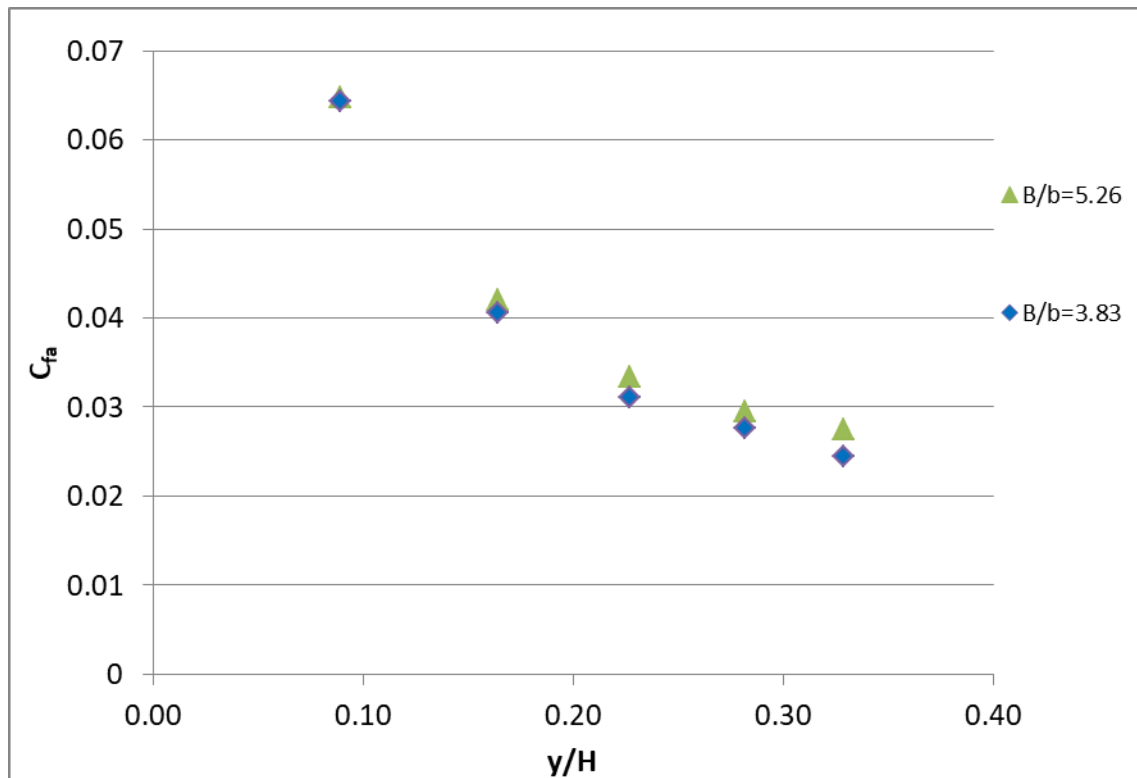
$$C_{fa} = 2\tau_a / \rho \Delta V^2 \quad (2.32)$$

Αντικαθιστώντας την τ_a με τις μετρήσεις που προέκυψαν από τα πειράματα και υπολογίζοντας το ΔV ως την διαφορά των ταχυτήτων κύριου καναλιού και πλημμυρικής κοίτης που προκύπτουν από την εξίσωση Manning μπορούμε να υπολογίσουμε τους συντελεστές κάθε διατομής για κάθε βάθος γ/H .

Αρχικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα των τιμών του συντελεστή C_{fa} συναρτήσει του γ/H για τους διάφορους λόγους B/b στα πειράματα του SERC και των Prinos and Townsend (1984).



Σχήμα 5 – Μεταβολή συντελεστή C_{fa} συναρτήσει του σχετικού βάθους για τα πειράματα του SERC



Σχήμα 6 - Μεταβολή συντελεστή C_{fa} συναρτήσει του σχετικού βάθους για τα πειράματα των Prinos and Townsend (1984) για $n_r=1$

Παρατηρούμε στο σχήμα 4 πως ο συντελεστής C_{fa} μεταβάλλεται με το σχετικό βάθος γ/H για σχετικά βάθη μέχρι 0.2, ενώ στα μεγαλύτερα βάθη φαίνεται να παραμένει σταθερός. Στο σχήμα 5 για τα πειράματα των Prinos and Townsend (1984) βλέπουμε επίσης μεγάλη μείωση του συντελεστή με την αύξηση του γ/H για τα μικρά βάθη ($\gamma/H < 0.2$), η οποία φαίνεται να μειώνεται σημαντικά στα μεγαλύτερα βάθη.

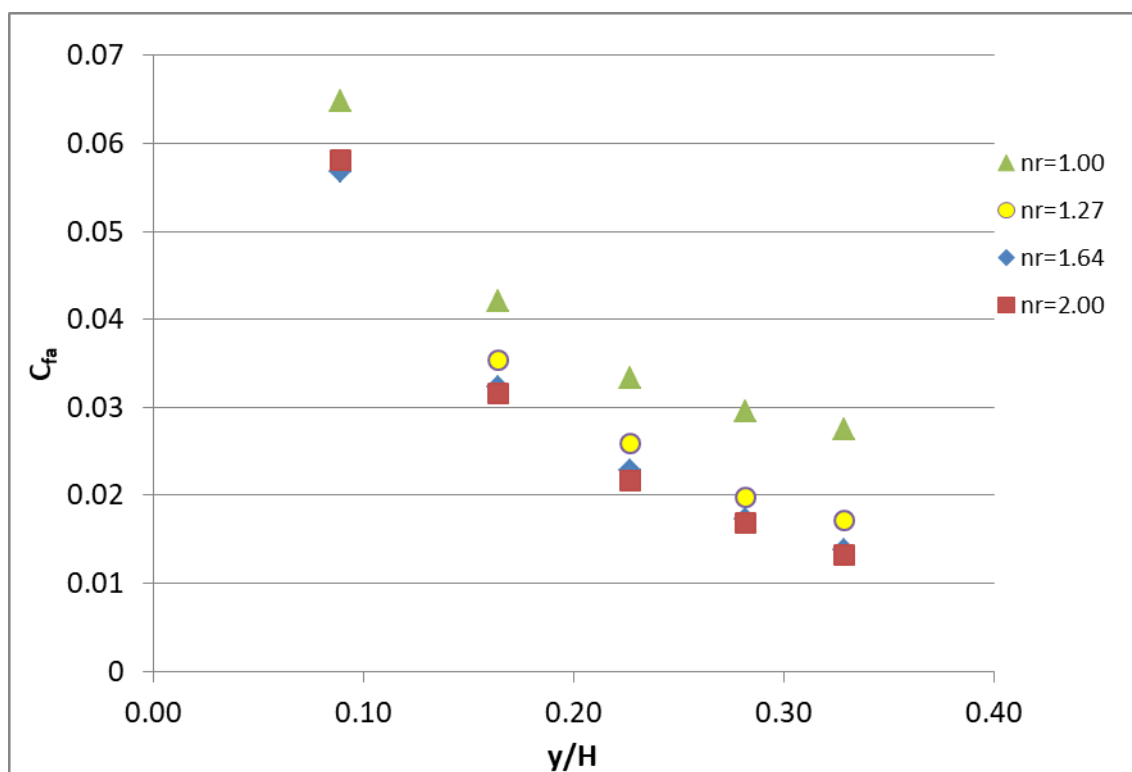
Από τα Σχήματα 4 και 5 είναι επίσης εμφανής η εξάρτηση του συντελεστή από τον λόγο B/b . Βλέπουμε πως για τα ίδια γ/H οι συντελεστές C_{fa} είναι μεγαλύτεροι για μεγαλύτερους λόγους B/b , με την διαφορά να είναι μικρή στα πειράματα των Prinos and Townsend (1984).

Οι σχέσεις υπολογισμού της διατμητικής τάσης (Πίνακας 1) έχουν διαφορετικούς εκθέτες για τις παραμέτρους γ/H και B/b , φανερώνουν όλες όμως παρόμοια συσχέτιση του συντελεστή C_{fa} με τις παραμέτρους αυτές. Οι εκθέτες για το σχετικό βάθος είναι σε όλες τις σχέσεις αρνητικοί φανερώνοντας την μείωση του συντελεστή με την αύξηση του σχετικού βάθους. Οι εκθέτες για τον λόγο B/b δείχνουν αύξηση του συντελεστή για αύξηση του B/b σε όλες τις σχέσεις εκτός από την εμπειρική σχέση των Prinos and Townsend. Η σχέση των Wormleaton and Merrett έχει σαν παράμετρο το πλάτος της πλημμυρικής κοίτης με θετικό εκθέτη

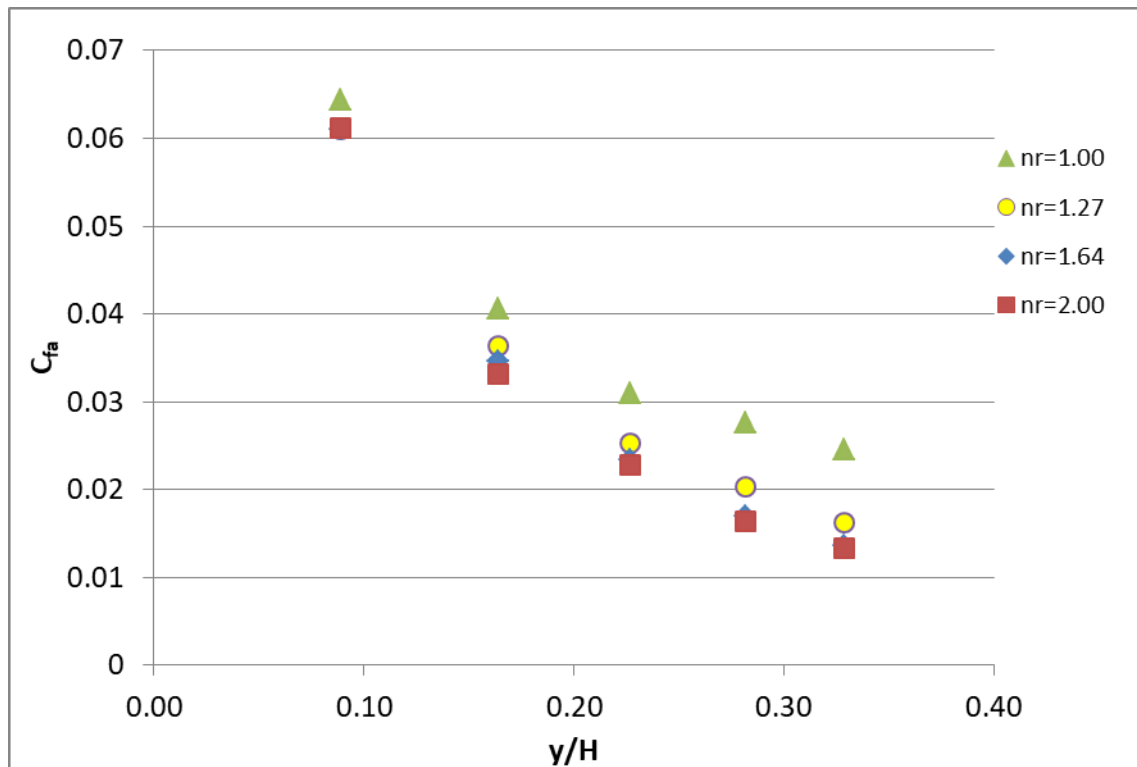
που δείχνει την ίδια συσχέτιση καθώς αύξηση του b_f συνεπάγεται σε αύξηση του λόγου B/b .

Άλλη μια παράμετρος που φαίνεται να επηρεάζει τον συντελεστή C_{fa} είναι η σχετική τραχύτητα n_r . Η σχετική τραχύτητα έχει επιλεγεί ως παράμετρος μόνο στις σχέσεις των Moreta and Martin-vide και των Chen et al. Παρόλα αυτά στα πειραματικά δεδομένα από τα οποία προέκυψαν οι σχέσεις των Prinos and Townsend και των Wormleaton and Merrett υπήρχαν και διατομές με διαφορετική τραχύτητα πλημμυρικής κοίτης και κύριου καναλιού οπότε η όποια επίδραση της σχετικής τραχύτητας έχει πιθανόν συνυπολογιστεί στους εκθέτες της διαφοράς της ταχύτητας μεταξύ κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων. Εξάλλου πρόκειται για δύο εντελώς εμπειρικές σχέσεις.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα των τιμών του συντελεστή C_{fa} συναρτήσει του σχετικού βάρους για διαφορετικές τιμές της σχετικής τραχύτητας στην ίδια διατομή, όπως προκύπτουν από τα πειράματα των Prinos and Townsend.



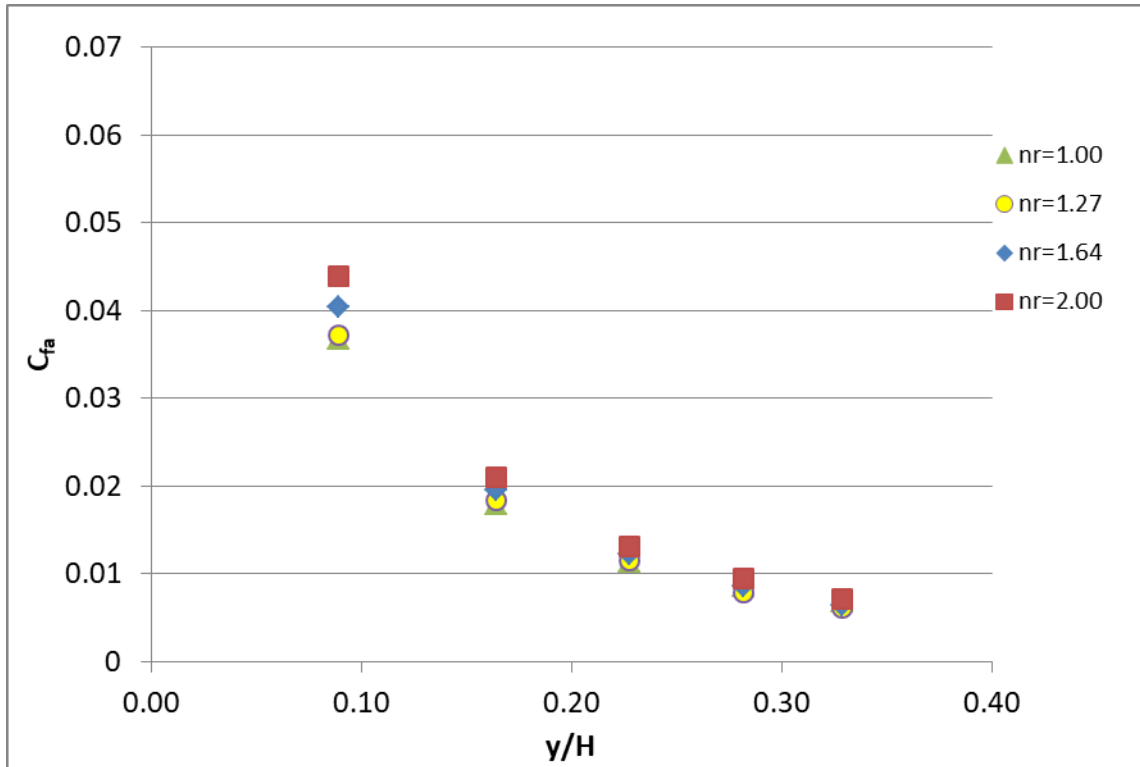
Σχήμα 7 – Μεταβολή του συντελεστή C_{fa} για διάφορα n_r συναρτήσει του σχετικού βάρους για τα πειράματα των Prinos and Townsend(1984) στην διατομή με λόγο $B/b=5.26$



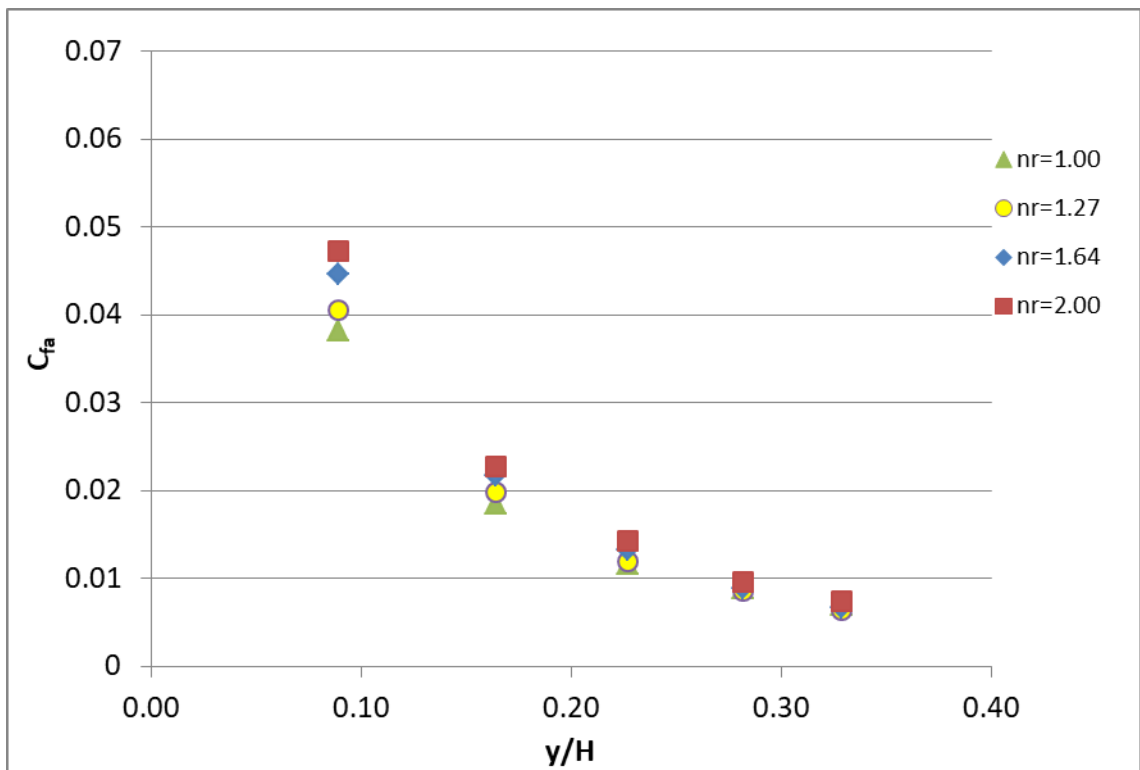
Σχήμα 8 - Μεταβολή του συντελεστή C_{fa} για διαφορετικά n_r συναρτήσει του σχετικού βάθους για τα πειράματα των Prinos and Townsend (1984) στην διατομή με λόγο $B/b=3.83$

Στα σχήματα 6 και 7 παρατηρούμε πως η αύξηση της σχετικής τραχύτητας οδηγεί σε μείωση του συντελεστή C_{fa} . Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται και από τα πειραματικά δεδομένα (Πίνακας 4) η διατμητική τάση στην διεπιφάνεια αυξάνεται με την αύξηση της σχετικής τραχύτητας για το ίδιο σχετικό βάθος γ/H . Ο λόγος για τον οποίο ο συντελεστής C_{fa} μειώνεται είναι πως υπάρχει μεγάλη αύξηση στο τετράγωνο της διαφοράς ταχύτητας μεταξύ πλημμυρικών τμημάτων και κύριου καναλιού. Η μεγάλη αύξηση του όρου ΔV^2 , όπως αυτός υπολογίζεται από την εξίσωση Manning, φαίνεται πως οδηγεί στην αρνητική αυτή συσχέτιση του C_{fa} με την σχετική τραχύτητα.

Στις σχέσεις του Πίνακα 1 βλέπουμε πως η σχέση του Moreta and Martin-Vide δείχνει αυτήν την συσχέτιση καθώς ο όρος $\frac{n_f - n_c}{n_c}$ έχει θετικό εκθέτη και αρνητικό πρόσημο, άρα φθίνουσα συνάρτηση ως προς την σχετική τραχύτητα ενώ η σχέση των Chen et al. είναι αύξουσα ως προς τον λόγο n_f/n_c , καθώς έχει θετικό εκθέτη. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην διαφορετική έκφραση των δυο μεθόδων της διατμητικής τάσης, αφού οι Chen et al. εισάγει στην σχέση την διαφορά των τετραγώνων των ταχυτήτων και όχι το τετράγωνο της διαφοράς τους. Ο όρος ΔV^2 εμφανίζει μεγαλύτερη αύξηση με την αύξηση της σχετικής τραχύτητας και έτσι οι συντελεστές μειώνονται, ενώ αντίθετα για την έκφραση που χρησιμοποιούν οι Chen et al. οι συντελεστές εμφανίζουν αύξηση για αύξηση της σχετικής τραχύτητας, όπως φαίνεται και στα σχήματα 8 και 9.



Σχήμα 9 - Μεταβολή του συντελεστή C_{fa} (όπως προκύπτει με θεώρηση εξάρτησης της τάσης από την διαφορά των τετραγώνων των ταχυτήτων) για διαφορετικά n_r για τα πειράματα των Prinos and Townsend στην διατομή με λόγο $B/b=5.26$



Σχήμα 10 - Μεταβολή του συντελεστή C_{fa} (όπως προκύπτει με θεώρηση εξάρτησης της τάσης από την διαφορά των τετραγώνων των ταχυτήτων) για διαφορετικά n_r για τα πειράματα των Prinos and Townsend στην διατομή με λόγο $B/b=3.83$

3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

3.1 Πειραματικά δεδομένα

Για την αξιολόγηση των μεθόδων και την σύγκριση μεταξύ τους χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά αποτελέσματα από τα κανάλια μικρής κλίμακας των Prinos and Townsend (1984) και των Knight and Demetriou (1983) καθώς και τα πειραματικά δεδομένα μεγάλης κλίμακας του SERC.

Τα πειράματα των Prinos and Townsend(1984) έγιναν σε ένα κανάλι που είχε μήκος 12.2 m με τραπεζοειδή διατομή κύριου καναλιού βάθους 10.2 cm, κλίσης $Z_c = 0.5$ και ρυθμιζόμενου πλάτους που έπαιρνε τις τιμές 20.3, 30.5, 40.6 και 50.8cm. Οι πλημμυρικές κοίτες που είχαν πλάτος 38.1cm η καθεμία τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν του κύριου καναλιού. Το κανάλι είχε κλίση πυθένα 0.0003. Εφαρμόστηκε ομοιόμορφη ροή και μετρήθηκαν οι τοπικές διατμητικές τάσεις στα στερεά όρια, από την ολοκλήρωση των οποίων στις αντίστοιχες υγρές περιμέτρους προέκυψαν οι μέσες διατμητικές τάσεις στα στερεά όρια του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών κοιτών. Ο συντελεστής τραχύτητας του κύριου καναλιού ήταν 0.011 για όλα τα πειράματα ενώ ο συντελεστής τραχύτητας της πλημμυρικής κοίτης πήρε τις τιμές 0.011, 0.014, 0.018 και 0.022.

Τα πειράματα των Knight and Demetriou (1983) έγιναν σε ένα κανάλι που είχε μήκος 15m, πλάτος 610mm και κλίση πυθμένα 9.66×10^{-4} . Δύο πλημμυρικές κοίτες ύψους 76 mm και πλάτους 229 mm προστέθηκαν και έτσι δημιουργήθηκε ένα κύριο κανάλι με ορθογωνική διατομή πλάτους 152 mm και βάθους 76 mm. Το πλάτος των πλημμυρικών κοιτών ρυθμιζόταν με την χρήση πλευρικών τοιχωμάτων, με τον μέγιστο λόγο B/b να είναι 4. Ο συντελεστής τραχύτητας του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών τμημάτων ήταν ίδιος και ίσος με 0.01. Εφαρμόστηκε ομοιόμορφη ροή και οι παροχές μετρήθηκαν με την βοήθεια σωλήνων Venturi σε συνδυασμό με μανόμετρα ενώ οι διατμητικές τάσεις με χρήση του σωλήνα Preston.

Τα πειράματα του SERC έγιναν σε ένα κανάλι μήκους 56 m και πλάτους 10 m. Εξετάστηκαν τόσο τραπεζοειδείς όσο και ορθογωνικές διατομές για διάφορους λόγους B/b , ενώ όλες οι διατομές είχαν πλάτος κύριου καναλιού $b=1.5m$ και βάθος $h= 0.15 m$. Η κλίση πυθμένα ήταν 1.027×10^{-3} σε όλα τα πειράματα και οι δοκιμές έγιναν για λόγους $(H - h)/H$ από 0.05 έως 0.5.

Τα κυριότερα αποτελέσματα των πειραμάτων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

Σειρά	B/b	(H-h)/H	Q(m ³ /s)	Q _c (m ³ /s)	Q _f (m ³ /s)	τ _a (N/m ²)
1	6.67	0.06	0.2082	0.1978	0.0104	20.07
1	6.67	0.09	0.2337	0.2081	0.0256	17.45
1	6.67	0.15	0.2852	0.2250	0.0602	12.73
1	6.67	0.20	0.3535	0.2473	0.1062	10.28
1	6.67	0.25	0.4511	0.2720	0.1791	9.02
1	6.67	0.30	0.6001	0.3147	0.2854	8.28
1	6.67	0.40	1.0145	0.4052	0.6093	6.40
2	4.20	0.04	0.2123	0.2080	0.0043	28.01
2	4.20	0.11	0.2483	0.2264	0.0219	10.63
2	4.20	0.16	0.2821	0.2422	0.0399	8.42
2	4.20	0.20	0.3237	0.2613	0.0624	7.44
2	4.20	0.24	0.3832	0.2851	0.0981	5.92
2	4.20	0.30	0.4800	0.3252	0.1548	5.40
2	4.20	0.40	0.7630	0.4282	0.3348	4.26
2	4.20	0.48	1.1142	0.5414	0.5728	3.59
3	2.20	0.05	0.2251	0.2227	0.0024	11.13
3	2.20	0.10	0.2412	0.2349	0.0063	8.35
3	2.20	0.15	0.2676	0.2527	0.0149	5.38
3	2.20	0.20	0.3031	0.2790	0.0241	3.81
3	2.20	0.24	0.3323	0.2983	0.0340	3.18
3	2.20	0.30	0.3922	0.3366	0.0556	2.65
3	2.20	0.40	0.5581	0.4415	0.1166	2.41
3	2.20	0.50	0.8349	0.6271	0.2078	2.45
8	4.00	0.05	0.1858	0.1783	0.0075	21.74
8	4.00	0.10	0.2064	0.1879	0.0185	11.21
8	4.00	0.15	0.2382	0.2028	0.0353	8.03
8	4.00	0.20	0.2841	0.2220	0.0621	6.53
8	4.00	0.25	0.3440	0.2431	0.1008	5.60
8	4.00	0.30	0.4273	0.2719	0.1554	4.87
8	4.00	0.40	0.6902	0.3502	0.3400	4.70
8	4.00	0.50	1.1034	0.4683	0.6351	3.56
10	4.40	0.05	0.2368	0.2273	0.0095	13.05
10	4.40	0.10	0.2627	0.2467	0.0160	10.51
10	4.40	0.15	0.3006	0.2656	0.0350	8.45
10	4.40	0.20	0.3514	0.2887	0.0627	7.51
10	4.40	0.25	0.4290	0.3232	0.1058	6.85
10	4.40	0.30	0.5220	0.3604	0.1616	6.64
10	4.40	0.40	0.8071	0.4722	0.3349	5.53
10	4.40	0.46	1.0939	0.5850	0.5089	4.90

Πίνακας 2 – Πειραματικά αποτελέσματα SERC

Σειρά	B/b	(H-h)/H	Q(m ³ /s)	Qc (m ³ /s)	Qf (m ³ /s)
1	2.00	0.11	0.0052	0.0050	0.0002
1	2.00	0.20	0.0064	0.0057	0.0007
1	2.00	0.24	0.0073	0.0063	0.0010
1	2.00	0.33	0.0095	0.0076	0.0019
1	2.00	0.40	0.0117	0.0088	0.0029
1	2.00	0.49	0.0171	0.0119	0.0053
2	3.00	0.13	0.0050	0.0044	0.0006
2	3.00	0.21	0.0067	0.0053	0.0014
2	3.00	0.25	0.0081	0.0060	0.0021
2	3.00	0.32	0.0112	0.0073	0.0038
2	3.00	0.39	0.0152	0.0091	0.0060
2	3.00	0.49	0.0234	0.0123	0.0111
3	4.00	0.11	0.0049	0.0043	0.0006
3	4.00	0.21	0.0075	0.0054	0.0021
3	4.00	0.26	0.0091	0.0058	0.0034
3	4.00	0.33	0.0135	0.0072	0.0063
3	4.00	0.40	0.0180	0.0086	0.0094
3	4.00	0.51	0.0294	0.0119	0.0175

Πίνακας 3 – Πειραματικά αποτελέσματα Knight and Demetriou (1983)

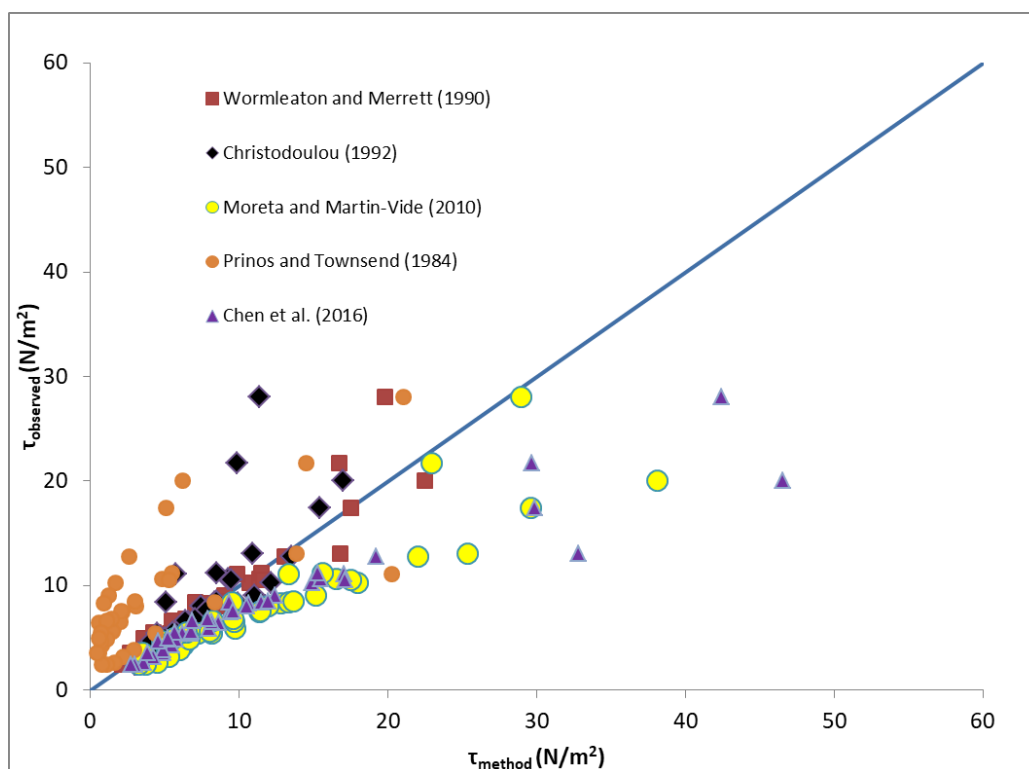
B/b	n_r	$(H-h)/H$	$Q(m^3/s)$	$\tau_a(N/m^2)$
5.26	1.00	0.09	0.0066	1.15
5.26	1.00	0.16	0.0090	0.58
5.26	1.00	0.23	0.0125	0.38
5.26	1.00	0.28	0.0165	0.29
5.26	1.00	0.33	0.0205	0.24
5.26	1.27	0.09	0.0061	1.20
5.26	1.27	0.16	0.0081	0.64
5.26	1.27	0.23	0.0110	0.43
5.26	1.27	0.28	0.0140	0.31
5.26	1.27	0.33	0.0180	0.26
5.26	1.64	0.09	0.0055	1.33
5.26	1.64	0.16	0.0070	0.71
5.26	1.64	0.23	0.0096	0.49
5.26	1.64	0.28	0.0120	0.37
5.26	1.64	0.33	0.0161	0.30
5.26	2.00	0.09	0.0048	1.46
5.26	2.00	0.16	0.0062	0.78
5.26	2.00	0.23	0.0090	0.54
5.26	2.00	0.28	0.0115	0.43
5.26	2.00	0.33	0.0140	0.35
3.83	1.00	0.09	0.0106	1.42
3.83	1.00	0.16	0.0134	0.72
3.83	1.00	0.23	0.0171	0.47
3.83	1.00	0.28	0.0210	0.37
3.83	1.00	0.33	0.0260	0.30
3.83	1.27	0.09	0.0096	1.55
3.83	1.27	0.16	0.0113	0.82
3.83	1.27	0.23	0.0156	0.53
3.83	1.27	0.28	0.0195	0.41
3.83	1.27	0.33	0.0245	0.32
3.83	1.64	0.09	0.0087	1.73
3.83	1.64	0.16	0.0110	0.93
3.83	1.64	0.23	0.0142	0.62
3.83	1.64	0.28	0.0183	0.45
3.83	1.64	0.33	0.0225	0.37
3.83	2.00	0.09	0.0082	1.85
3.83	2.00	0.16	0.0104	0.99
3.83	2.00	0.23	0.0132	0.69
3.83	2.00	0.28	0.0173	0.51
3.83	2.00	0.33	0.0204	0.43

Πίνακας 4 – Πειραματικά αποτελέσματα *Prinos and Townsend (1984)*

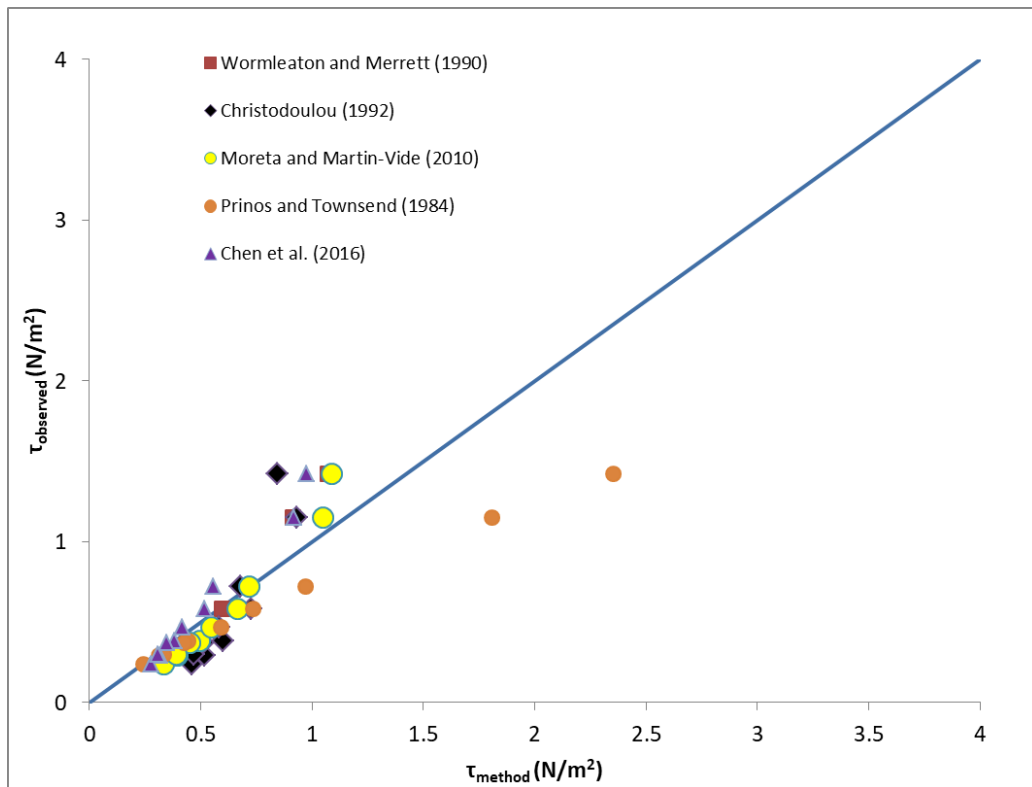
3.2 Εκτίμηση διατμητικών τάσεων

Όπως είδαμε προηγουμένως οι σχέσεις εκτίμησης της διατμητικής τάσης προέκυψαν από ανάλυση παλινδρόμησης πειραματικών δεδομένων τάσεων. Η διατμητική τάση στην διεπιφάνεια μας δείχνει την αλληλεπίδραση του κύριου καναλιού με τα πλημμυρικά τμήματα και επομένως καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την παροχетеυτικότητα της διατομής αλλά και την κατανομή της παροχής στα επιμέρους τμήματα. Έχει λοιπόν σημασία να δούμε σε τι βαθμό προσεγγίζουν οι διάφορες μέθοδοι τις τάσεις που προέκυψαν από τα πειραματικά δεδομένα για τις διάφορες περιπτώσεις διατομών που εξετάστηκαν.

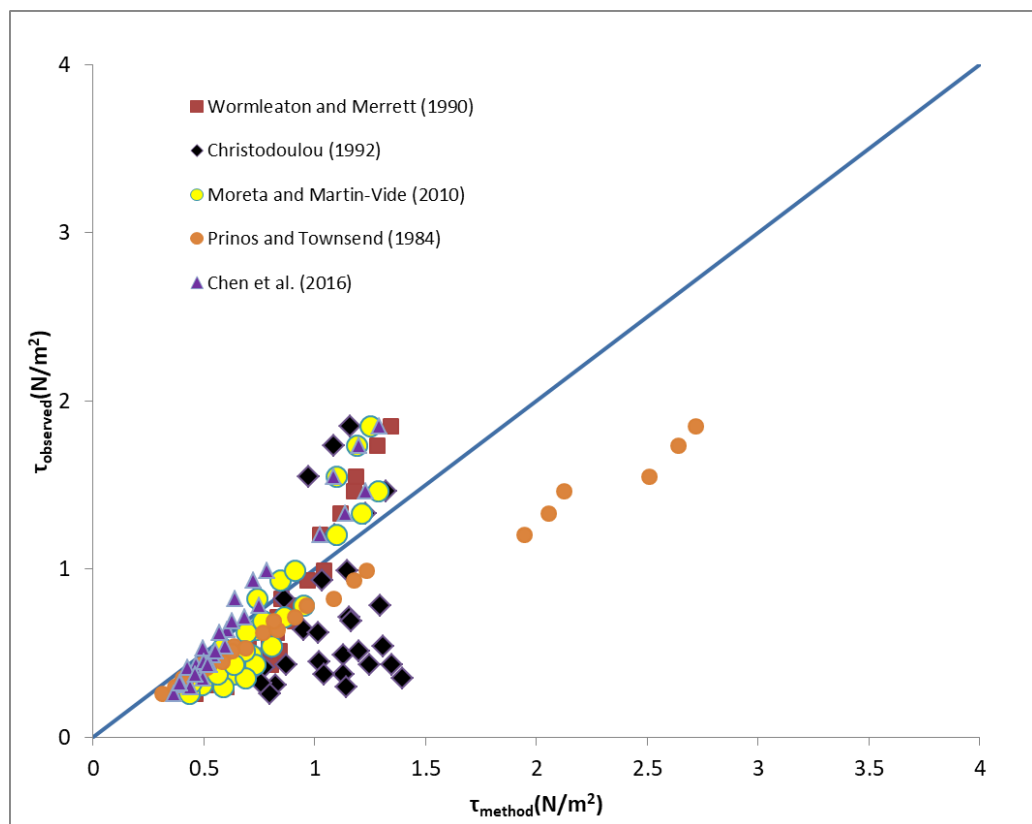
Για τα πειράματα του SERC και των Prinos and Townsend βλέπουμε στα παρακάτω διαγράμματα την σύγκριση των υπολογιζόμενων από κάθε μέθοδο τάσεων, με τις τάσεις που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις. Στον κατακόρυφο άξονα κάθε διαγράμματος είναι οι μετρημένες τάσεις, ενώ στον οριζόντιο αυτές που υπολογίζονται από τις διάφορες μεθόδους. Φαίνεται επίσης η ευθεία $y=x$ πάνω στην οποία οι τάσεις ταυτίζονται.



Σχήμα 11 – Διάγραμμα εκτίμησης διατμητικών τάσεων στην διεπιφάνεια για τα πειράματα του SERC



Σχήμα 12 - Διάγραμμα εκτίμησης διατμητικών τάσεων στην διεπιφάνεια για τα πειράματα των Prinos and Townsend με $n_r=1$



Σχήμα 13 - Διάγραμμα εκτίμησης διατμητικών τάσεων στην διεπιφάνεια για τα πειράματα των Prinos and Townsend με $n_r=1.27, 1.64$ και 2

Βλέπουμε πως στα πειράματα του SERC (Σχήμα 10) την καλύτερη προσέγγιση έχουν οι μέθοδοι των Wormleaton and Merrett και του Christodoulou. Η μέθοδος του Prinos and Townsend υποεκτιμά σημαντικά τις τάσεις ενώ οι μέθοδοι των Chen et al. και Moreta and Martin-Vide εμφανίζουν μια μικρή υπερεκτίμηση που μεγαλώνει στις μεγαλύτερες τάσεις, δηλαδή στα μικρά βάθη.

Στα πειράματα των Prinos and Townsend(1984) για την ίδια τραχύτητα κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων βλέπουμε μια μικρή υπερεκτίμηση των τάσεων στις μικρότερες τάσεις και άρα στα μεγαλύτερα βάθη, ενώ στα μικρά βάθη παρατηρείται υποεκτίμηση των τάσεων με εξαίρεση την μέθοδο των Prinos and Townsend που δίνει μεγαλύτερες τιμές από τις πειραματικές. Γενικότερα οι τάσεις προσεγγίζονται με καλή ακρίβεια από όλες τις μεθόδους.

Στις διατομές που η τραχύτητα της πλημμυρικής κοίτης είναι μεγαλύτερη από αυτήν του κύριου καναλιού, οι αποκλίσεις των μεθόδων είναι αρκετά μεγαλύτερες (Σχήμα 12). Στα μικρά βάθη (μεγάλες τάσεις) η τάση υποεκτιμάται από όλες τις μεθόδους εκτός από των Prinos and Townsend, ενώ στα μεγαλύτερα υπερεκτιμάται από τις περισσότερες μεθόδους. Η μέθοδος του Christodoulou εμφανίζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις ενώ οι αποκλίσεις των άλλων μεθόδων δεν διαφέρουν σημαντικά, ιδίως στα μεγαλύτερα βάθη. Αυτό οφείλεται στο ότι ο Christodoulou χρησιμοποίησε δεδομένα μόνο από πειράματα στα οποία το κύριο κανάλι και η πλημμυρική κοίτη είχαν ίδια τραχύτητα. Επομένως δεν έχει ληφθεί υπόψη η επίδραση του n_r .

Οι μεγάλες αποκλίσεις στην διατμητική τάση οδηγούν και σε σημαντικές αποκλίσεις στην εκτίμηση της παροχής, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα εκτίμησης της παροχής για τα πειράματα των Prinos and Townsend με διαφορετική τραχύτητα κύριου καναλιού και πλημμυρικής κοίτης τα οποία παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Στα Σχήματα 39 έως 44 φαίνεται πως η υπερεκτίμηση των τάσεων της μεθόδου του Christodoulou οδηγεί σε σημαντική υποεκτίμηση της παροχής στα μεγαλύτερα σχετικά βάθη, ενώ η υποεκτίμηση των τάσεων από τις περισσότερες μεθόδους στα μικρά σχετικά βάθη έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση της παροχής.

3.3 Εκτίμηση συνολικής παροχής

Για τα πειράματα μεγάλης κλίμακας παρουσιάζονται τα διαγράμματα σύγκρισης της υπολογιζόμενης από τις εξεταζόμενες μεθόδους συνολικής παροχής με την μετρημένη παροχή των πειραμάτων για τις σειρές 1, 2, 3, 8 και 10 του SERC. Οι πρώτες σειρές πειραμάτων περιλαμβάνουν διατομές που αποτελούνται από κύρια κανάλια τραπεζοειδούς διατομής με λόγους πλατών $B/b = 6.67, 4.2$ και 2.2 αντίστοιχα. Η διατομή της σειράς 1 έχει $Z_c = 1$ και $Z_f = 0$ (Σχήμα 1) ενώ των 2 και 3 έχουν $Z_c = 1$ και $Z_f = 1$. Στα πειράματα της σειράς 8 το κύριο κανάλι έχει ορθογωνική διατομή με λόγο $B/b=4$ και $Z_f = 1$, ενώ η σειρά 10 έχει κύριο κανάλι τραπεζοειδούς διατομής με λόγο $B/b=4.4$, $Z_c = 2$ και $Z_f = 1$. Οι διατομές όλων των πειραμάτων έχουν $b = 0.75$ m και $h = 0.15$ m. Ο συντελεστής Manning θεωρείται ίσος με 0.01 και η κλίση πυθμένα 1.027×10^{-4} για όλα τα πειράματα.

Στα διαγράμματα λοιπόν φαίνεται στον οριζόντιο άξονα ο λόγος της υπολογιζόμενης παροχής από τις διάφορες μεθόδους προς την παροχή που μετρήθηκε στα πειράματα και στον κατακόρυφο άξονα ο λόγος y/H .

Φαίνεται αρχικά πως η μέθοδος SCM αποτυγχάνει να εκτιμήσει την παροχή, ιδιαίτερα στα μικρά βάθη που η απόκλιση φτάνει μέχρι και 45%, ενώ στα μεγάλα βάθη βελτιώνεται αρκετά παρουσιάζοντας πολύ μικρότερα σφάλματα και τείνει προς την μετρημένη παροχή. Αυτό φαίνεται να οφείλεται στο γεγονός ότι για πολύ μικρή αύξηση (στα μικρά βάθη) της υγρής διατομής A έχουμε σημαντική αύξηση της βρεχόμενης περιμέτρου P λόγω των στερεών ορίων της πλημμυρικής κοίτης με αποτέλεσμα να μειώνεται η υδραυλική ακτίνα R και να υποεκτιμάται τελικά η παροχή.

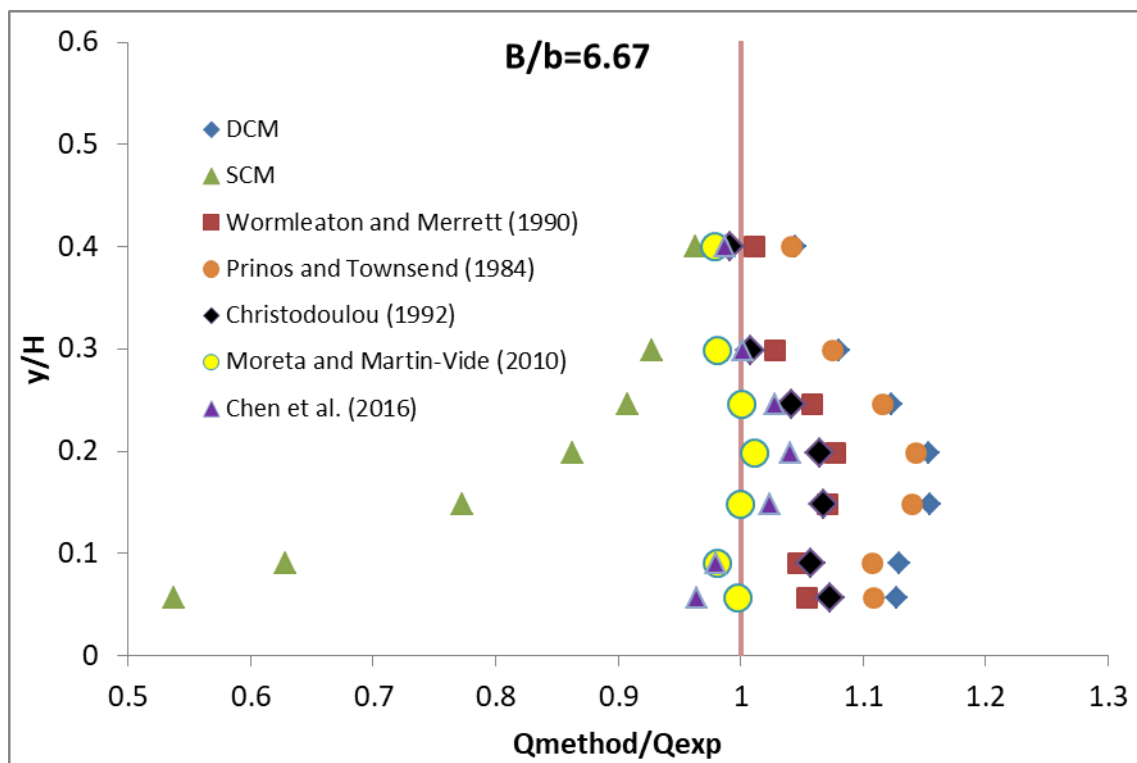
Η μέθοδος DCM δίνει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα από την SCM αλλά υπερεκτιμάει την παροχή με αποκλίσεις που φτάνουν ως και 15%, ενώ στα μεγάλα βάθη το σφάλμα αυτό είναι μικρότερο και η παροχή τείνει προς την πραγματική. Αυτό συμβαίνει διότι στα μικρά βάθη η διαφορά ταχύτητας μεταξύ των τμημάτων της διατομής είναι μεγαλύτερη, όπως και οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια, με αποτέλεσμα η μέθοδος DCM που δεν λαμβάνει υπ' όψιν την φαινόμενη διατμητική τάση να εμφανίζει σημαντικά σφάλματα. Στα μεγαλύτερα βάθη που οι διατμητικές τάσεις είναι μικρότερες υπάρχει και μικρότερη αλληλεπίδραση μεταξύ κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων και επομένως η προσέγγιση της μεθόδου DCM είναι καλύτερη.

Παρόμοια αποτελέσματα με την DCM δίνει και η μέθοδος Prinos and Townsend, καθώς οι τιμές της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια που προκύπτουν από την σχέση υπολογισμού της μεθόδου τους είναι αρκετά μικρές για τις συγκεκριμένες γεωμετρίες με αποτέλεσμα οι παροχές που υπολογίζονται να είναι αρκετά κοντά σε

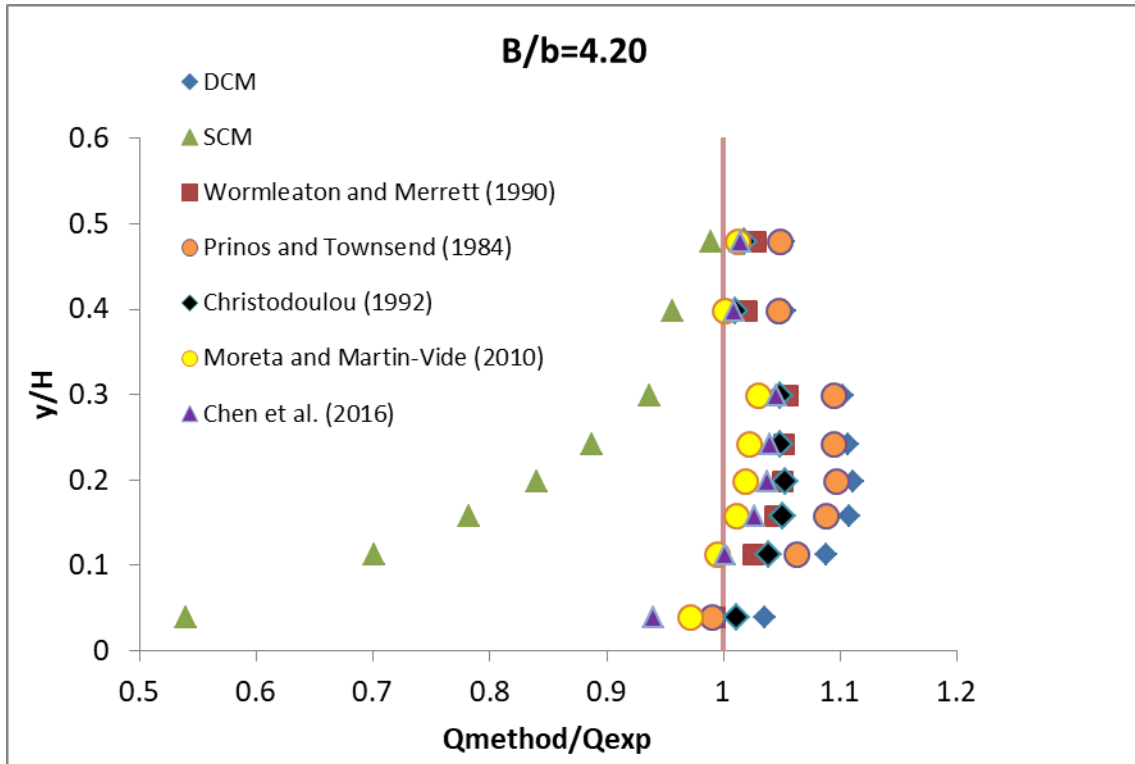
αυτές της μεθόδου DCM. Η μέθοδος των Prinos and Townsend είναι εμπειρική και προέκυψε από προσαρμογή σε πειράματα μικρής κλίμακας και έτσι φαίνεται πως δεν έχει καλή εφαρμογή στα πειράματα του SERC.

Οι μέθοδοι του Christodoulou και των Wormleaton and Merrett δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με αποκλίσεις μικρότερες από 10%. Η μέθοδος του Christodoulou αν και έχει ως μοναδική παράμετρο το B/b και προήλθε από αξιοποίηση δεδομένων μικρής κλίμακας φαίνεται να έχει σχετικά καλή εφαρμογή και στα πειράματα μεγάλης κλίμακας του SERC.

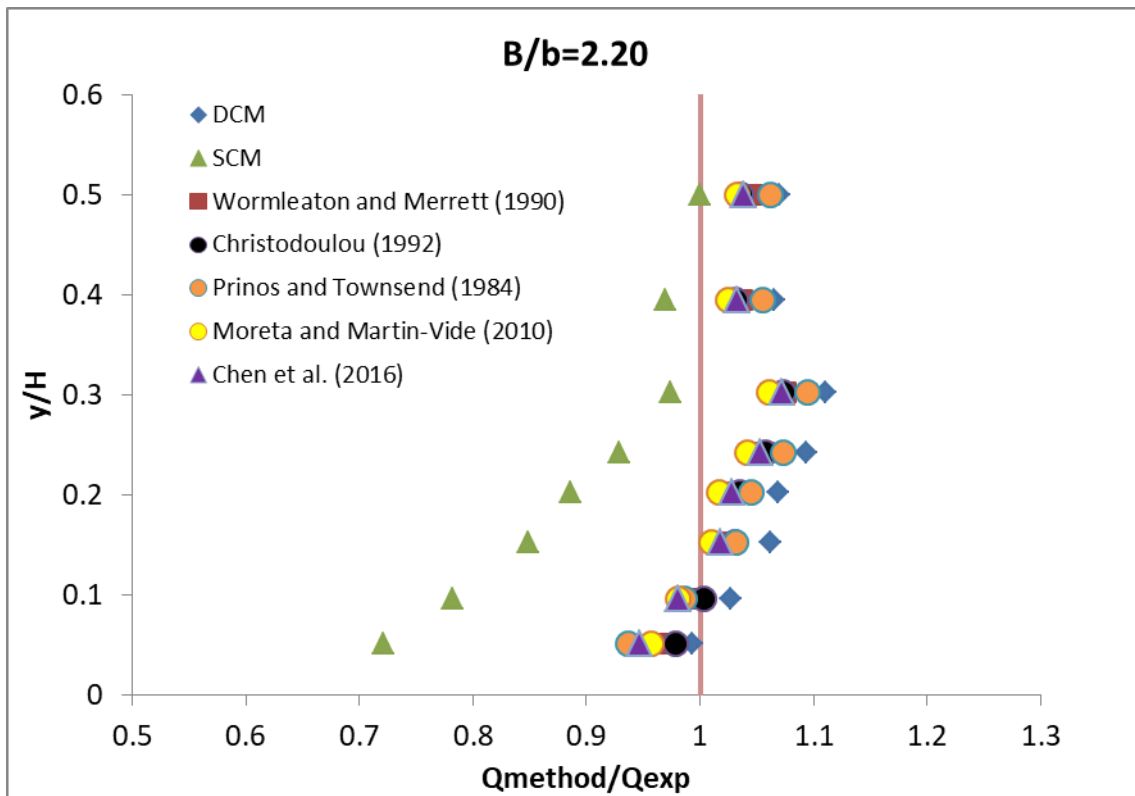
Οι μέθοδοι των Chen et al. και Moreta and Martin-Vide προσεγγίζουν με καλή ακρίβεια την πραγματική παροχή, με την μέθοδο των Moreta and Martin-Vide να είναι η πιο αποτελεσματική στην εκτίμηση της συνολικής παροχής με αποκλίσεις μικρότερες του 5%.



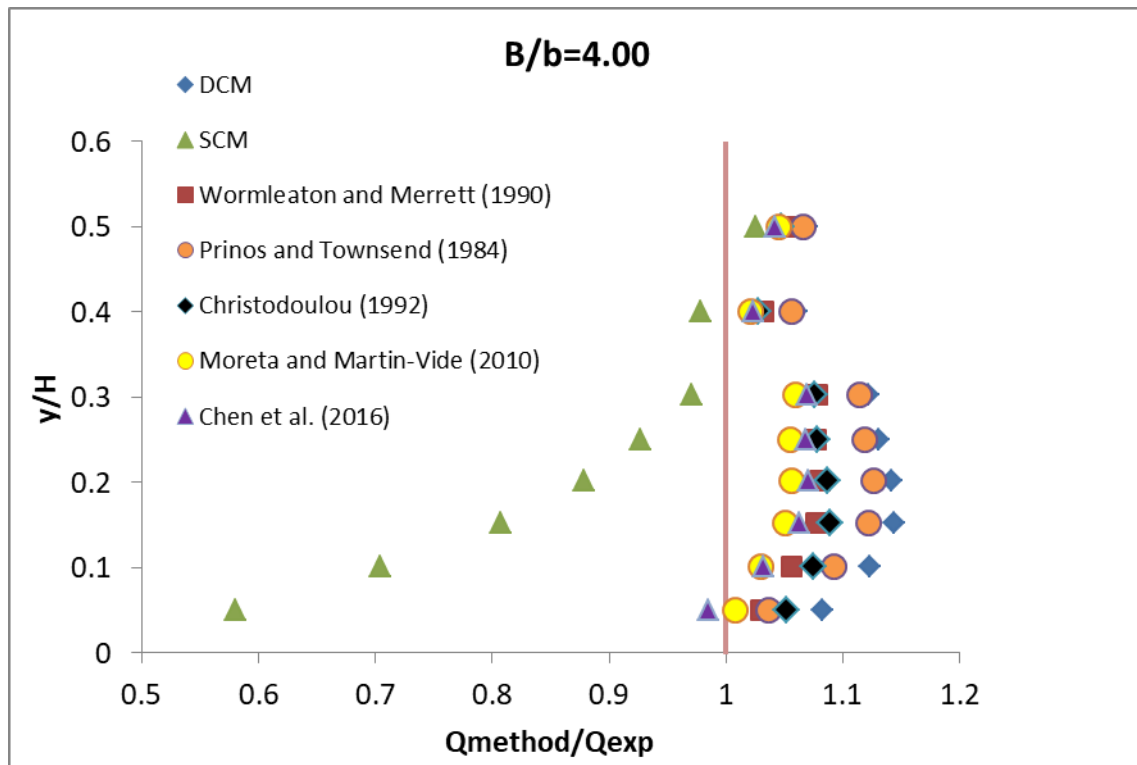
Σχήμα 14 – Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 1 των πειραμάτων του SERC ($B/b = 6.67$)



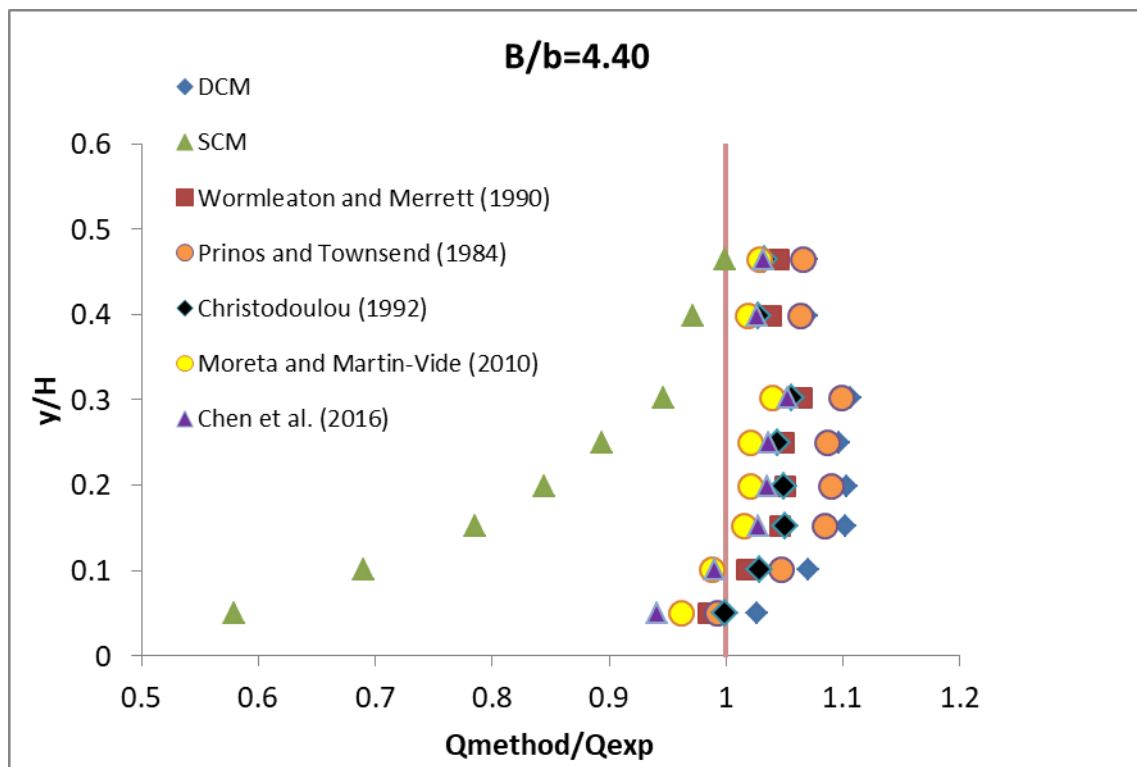
Σχήμα 15 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 2 των πειραμάτων του SERC ($B/b = 4.20$)



Σχήμα 16 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 3 των πειραμάτων του SERC ($B/b = 2.20$)



Σχήμα 17 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 8 των πειραμάτων του SERC ($B/b = 4.00$)



Σχήμα 18 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για την σειρά 10 των πειραμάτων του SERC ($B/b = 4.40$)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα εκτίμησης της συνολικής παροχής για τα πειράματα μικρής κλίμακας των Knight and Demetriou (1983) και Prinios and Townsend (1984).

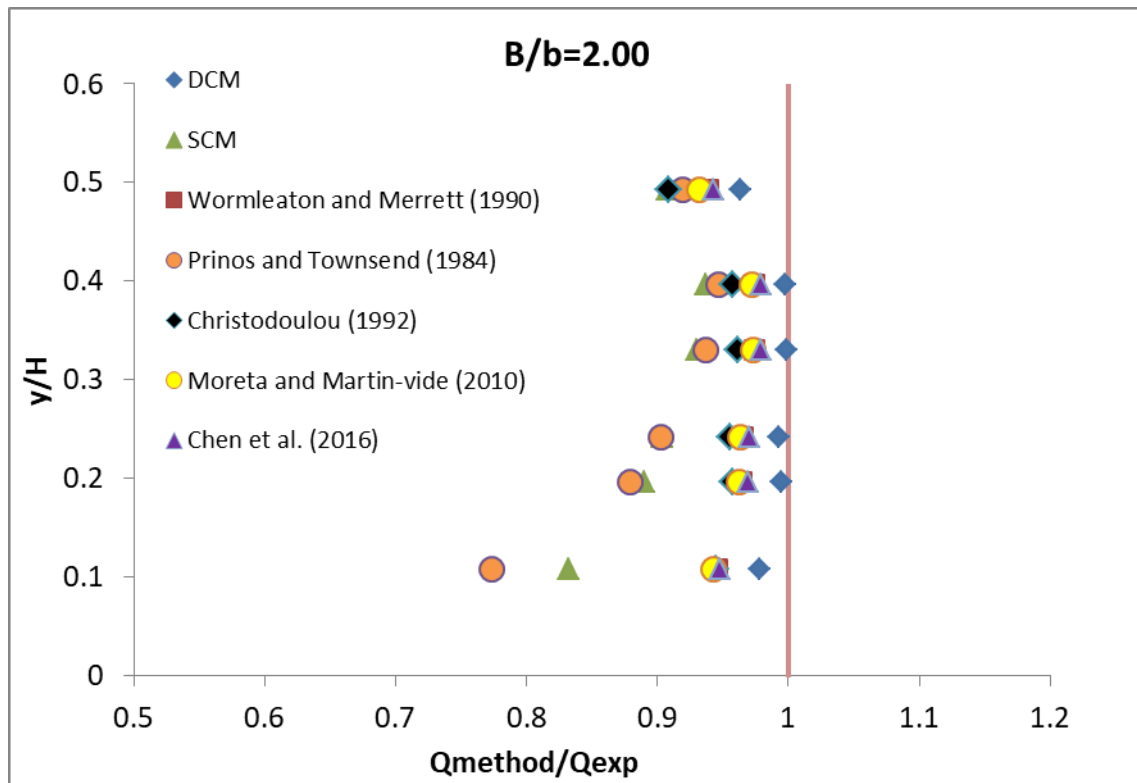
Στα πειράματα των Knight and Demetriou εξετάζονται 3 γεωμετρίες με κύριο κανάλι ορθογωνικής διατομής. Όλες οι διατομές έχουν $b=0.076$ m και $h=0.076$ m, ενώ το πλάτος των πλημμυρικών κοιτών είναι 0.076 m, 0.152 m και 0.228 m για τις 3 γεωμετρίες με αποτέλεσμα να προκύπτει λόγος B/b ίσος με 2, 3 και 4 αντίστοιχα. Η κλίση του καναλιού είναι 9.66×10^{-4} και ο συντελεστής Manning 0.01.

Στα πειράματα των Prinios and Townsend εξετάζονται 2 γεωμετρίες με κύριο κανάλι τραπεζοειδούς διατομής με $Z_c = 0.5$. Οι διατομές έχουν $h = 0.102$ m και πλημμυρικές κοίτες με πλάτος 0.381m, ενώ το ημιπλάτος του κύριου καναλιού είναι $b = 0.1015$ m και $b = 0.1525$ m και επομένως προκύπτουν λόγοι B/b ίσοι με 5.26 και 3.83 αντίστοιχα. Η κλίση του καναλιού είναι ίση με 0.0003 και ο συντελεστής Manning 0.011.

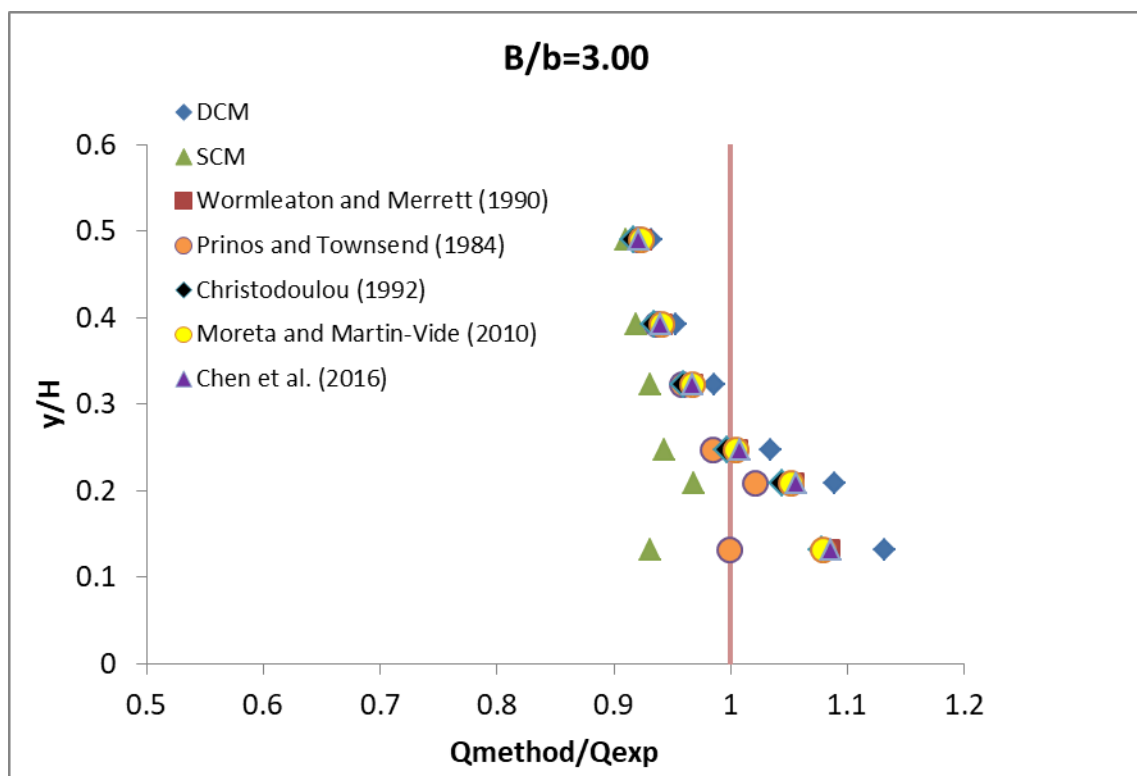
Στα πειράματα των Knight and Demetriou στις πρώτες 2 γεωμετρίες φαίνεται όλες οι μέθοδοι να υποεκτιμούν την παροχή, ιδιαίτερα στα μεγαλύτερα βάθη. Παρόλα αυτά, τα σφάλματα όλων των μεθόδων, εκτός της SCM και της μεθόδου Prinios and Townsend, δεν ξεπερνούν το 10%, ενώ οι τιμές της παροχής που προκύπτουν από τις μεθόδους που λαμβάνουν υπόψη την διατμητική τάση είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους, με εξαίρεση τις προβλέψεις της μεθόδου των Prinios and Townsend για την διατομή με λόγο $B/b = 2$, όπου φαίνεται να υποεκτιμάται σημαντικά η παροχή.

Για την διατομή με λόγο $B/b = 4$, η DCM φαίνεται να υπερεκτιμά την παροχή στα πιο χαμηλά βάθη με μέγιστο σφάλμα λίγο μεγαλύτερο από 10%, ενώ στα μεγαλύτερα βάθη το σφάλμα αυτό σχεδόν μηδενίζεται. Η SCM όπως σε όλες τις περιπτώσεις υποεκτιμά σημαντικά την παροχή στα μικρά βάθη, ενώ βελτιώνεται στα μεγαλύτερα. Οι υπόλοιπες μέθοδοι δίνουν πολύ καλές προβλέψεις με σφάλματα μικρότερα του 5%.

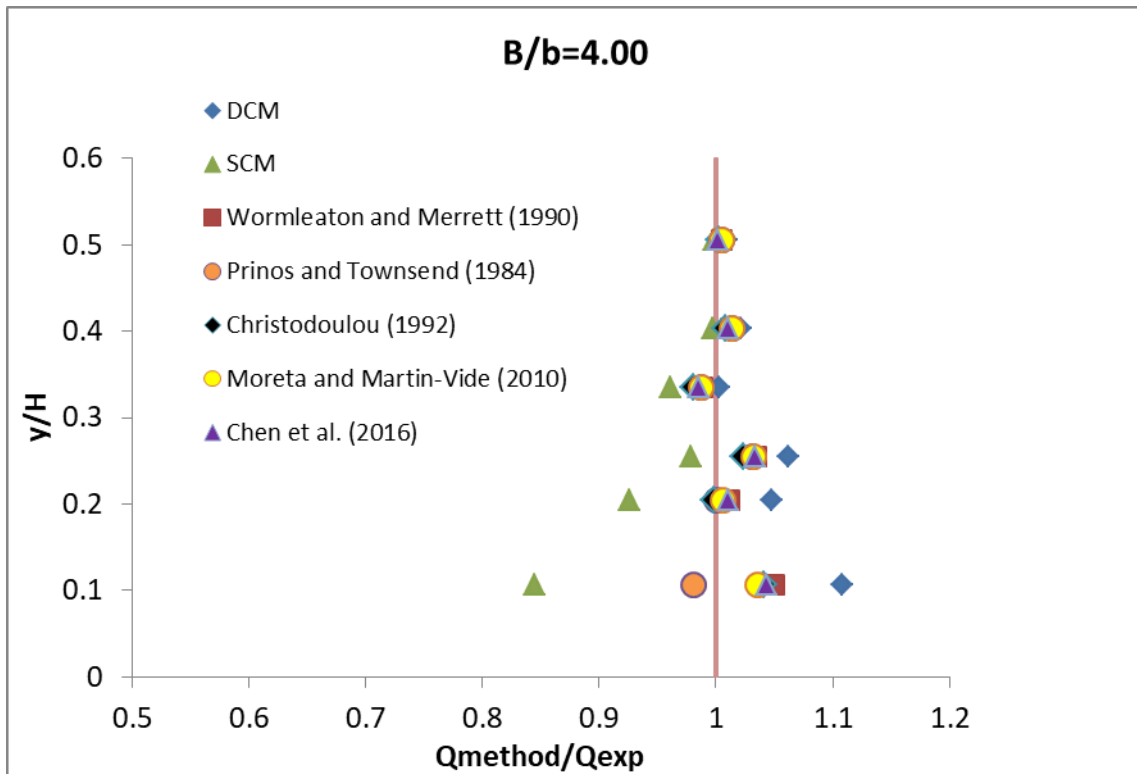
Στα πειράματα των Prinios and Townsend βλέπουμε πάλι τις συμβατικές μεθόδους DCM και SCM να αποκλίνουν σημαντικά από τις μετρήσεις στα μικρά y/H και να βελτιώνονται στα μεγαλύτερα βάθη. Οι υπόλοιπες μέθοδοι φαίνεται να προσεγγίζουν ικανοποιητικά την παροχή καθώς οι αποκλίσεις τους από την μετρημένη παροχή είναι της τάξεως του 10% για τα μικρά βάθη στην διατομή με λόγο πλατών $B/b = 5.26$ και μικρότερες από 5% για τα μεγαλύτερα βάθη καθώς και για όλα τα βάθη στην διατομή με λόγο πλατών $B/b = 3.83$. Αρκετά καλά αποτελέσματα για αυτές τις διατομές δίνει η μέθοδος των Prinios and Townsend, που όμως έχει προκύψει από αξιοποίηση των τάσεων που μετρήθηκαν στα συγκεκριμένα πειράματα.



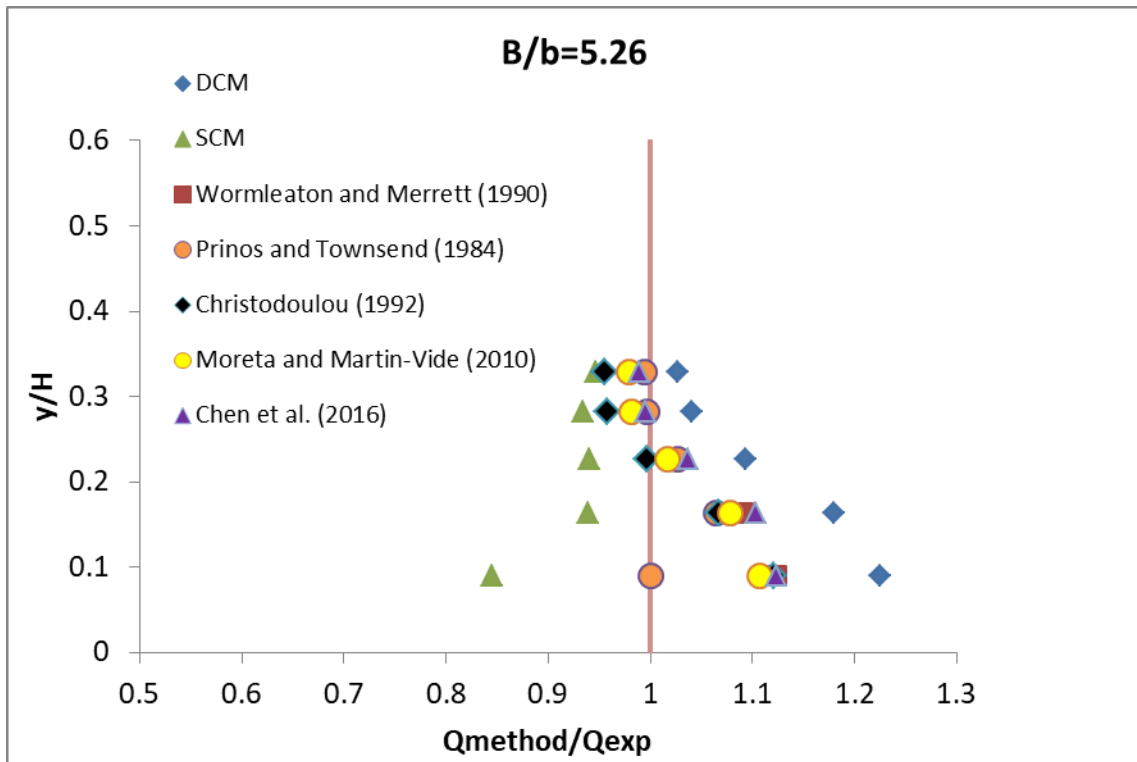
Σχήμα 19 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα της 1^{ης} σειράς των Knight and Demetriou ($B/b=2.00$)



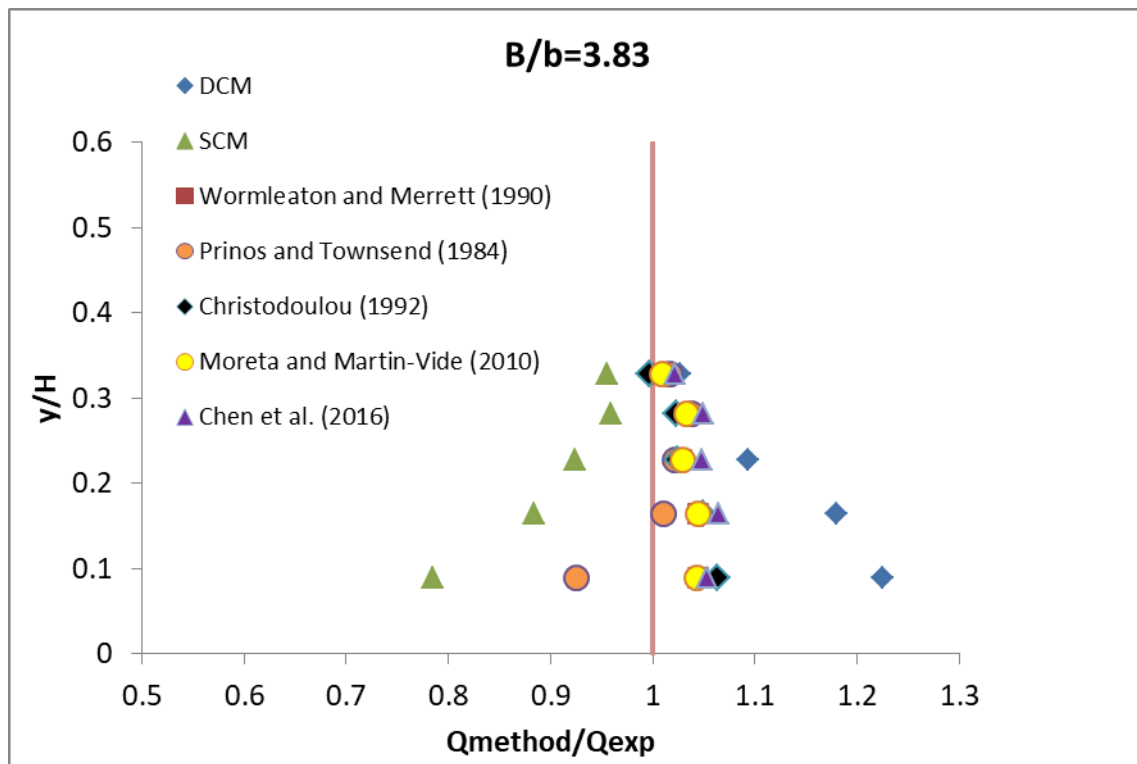
Σχήμα 20 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα της 2^{ης} σειράς των Knight and Demetriou ($B/b=3.00$)



Σχήμα 21 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα της 3^{ης} σειράς των Knight and Demetriou ($B/b=4.00$)



Σχήμα 22 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=5.26$ και $n_r=1$



Σχήμα 23 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=3.83$ και $n_r=1$

3.4 Εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων

Εκτός από την εκτίμηση της συνολικής παροχής, μεγάλη σημασία έχει και η σωστή εκτίμηση της κατανομής της παροχής μεταξύ του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών κοιτών. Έτσι, για τα πειράματα του SERC και των Knight and Demetriou θα παρουσιαστούν διαγράμματα στον οριζόντιο άξονα των οποίων φαίνεται ο λόγος της υπολογισμένης από την κάθε μέθοδο παροχής προς την πειραματική παροχή και στον κατακόρυφο άξονα ο λόγος y/H .

Για τα πειράματα του SERC (Σχήματα 23 έως 32) παρατηρούμε πως η μέθοδος DCM υπερεκτιμά την παροχή του κύριου καναλιού, ενώ υποεκτιμά την παροχή των πλημμυρικών κοιτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπερεκτιμά και την συνολική παροχή στα μεσαία και μικρά βάθη καθώς στα βάθη αυτά το μεγαλύτερο ποσοστό της παροχής μεταφέρεται από το κύριο κανάλι.

Η μέθοδος των Prinios and Townsend φαίνεται να προσεγγίζει σχετικά καλά την παροχή που μεταφέρεται από τα πλημμυρικά τμήματα όμως, όπως και η DCM, υπερεκτιμά σημαντικά την παροχή του κύριου καναλιού με αποκλίσεις ελαφρώς μικρότερες της μεθόδου DCM που φτάνουν έως περίπου το 20%.

Οι μέθοδοι του Chen et al. και των Moreta and Martin-Vide προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό την παροχή του κύριου καναλιού εμφανίζοντας τις μικρότερες αποκλίσεις από όλες τις υπόλοιπες μεθόδους αλλά υπερεκτιμούν σε μεγάλο βαθμό την παροχή που μεταφέρουν οι πλημμυρικές κοίτες. Έτσι, αν και η συνολική παροχή που προβλέπουν είναι πολύ κοντά στην πειραματική, η κατανομή της παροχής δεν προβλέπεται με την ίδια ακρίβεια.

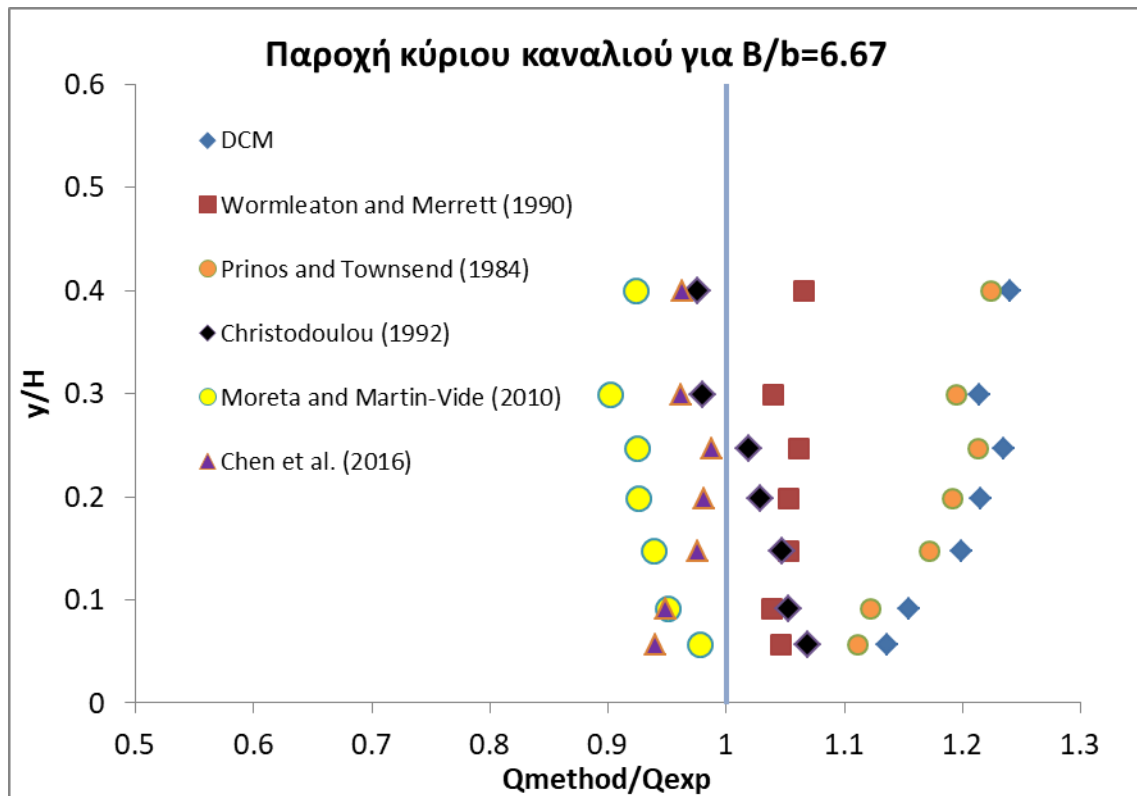
Οι μέθοδοι των Christodoulou και Wormleaton and Merrett υπερεκτιμούν σε μικρό βαθμό την παροχή του κύριου καναλιού εμφανίζοντας ελαφρώς μεγαλύτερες αποκλίσεις από τις μεθόδους των Chen et al. και Moreta and Martin-Vide, ενώ εμφανίζουν μικρότερες αποκλίσεις στην εκτίμηση της παροχής που μεταφέρεται από τις πλημμυρικές κοίτες.

Παρατηρούμε λοιπόν, πως οι παροχές του κύριου καναλιού προσεγγίζονται ικανοποιητικά από τις μεθόδους που δεν αμελούν την διατμητική τάση στην ιδεατή διεπιφάνεια, με εξαίρεση την σχέση των Prinios and Townsend, από την οποία προκύπτουν πολύ μικρές τάσεις για τις γεωμετρίες των πειραμάτων του SERC, με αποτέλεσμα τελικά η παροχή του κύριου καναλιού να υπερεκτιμάται σημαντικά, όπως και από την μέθοδο DCM.

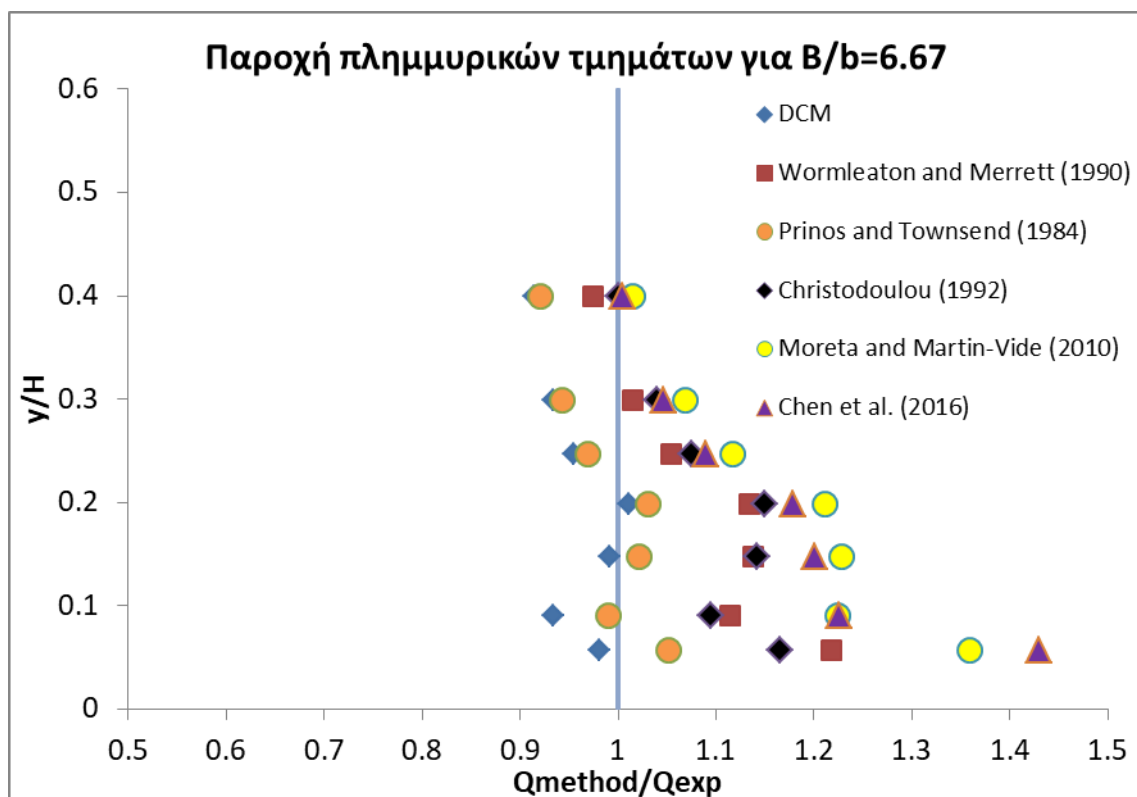
Οι παροχές των πλημμυρικών τμημάτων δεν προσεγγίζονται με την ίδια ακρίβεια καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις υποεκτιμούνται από την μέθοδο DCM και Prinios and Townsend και υπερεκτιμούνται από τις υπόλοιπες μεθόδους. Πολύ

μεγάλες αποκλίσεις παρατηρούνται στα μικρά βάθη, κάτι που οφείλεται στις πολύ μικρές παροχές που μεταφέρονται από τα πλημμυρικά τμήματα σε εκείνα τα βάθη και άρα είναι και πιο δύσκολη η ακριβής εκτίμηση τους. Στα μεγαλύτερα βάθη οι μέθοδοι βελτιώνονται και παρουσιάζουν μικρότερες αποκλίσεις, ιδιαίτερα για τα σχετικά βάθη γ/H 0.4 και 0.5 που η παροχή των πλημμυρικών τμημάτων φαίνεται να προσεγγίζεται ικανοποιητικά.

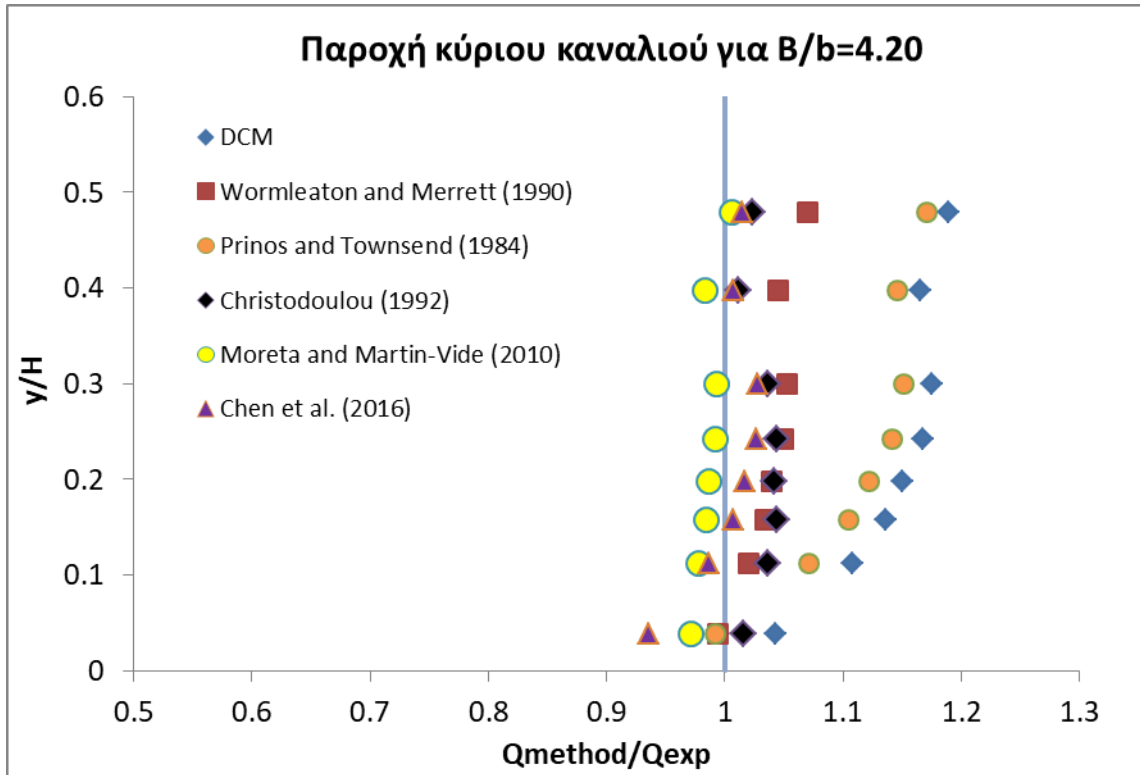
Παρατηρούμε πως οι μέθοδοι γενικά δεν μπορούν να εκτιμήσουν με πολύ μεγάλη ακρίβεια την κατανομή της παροχής. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην παραδοχή μονοδιάστατης ροής και στην θεώρηση σταθερής διατμητικής τάσης κατά μήκος της κατακόρυφης διεπιφάνειας μεταξύ κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων, που καθιστά δύσκολο να εκτιμηθεί με ακρίβεια και η παροχή του κύριου καναλιού και αυτή των πλημμυρικών τμημάτων.



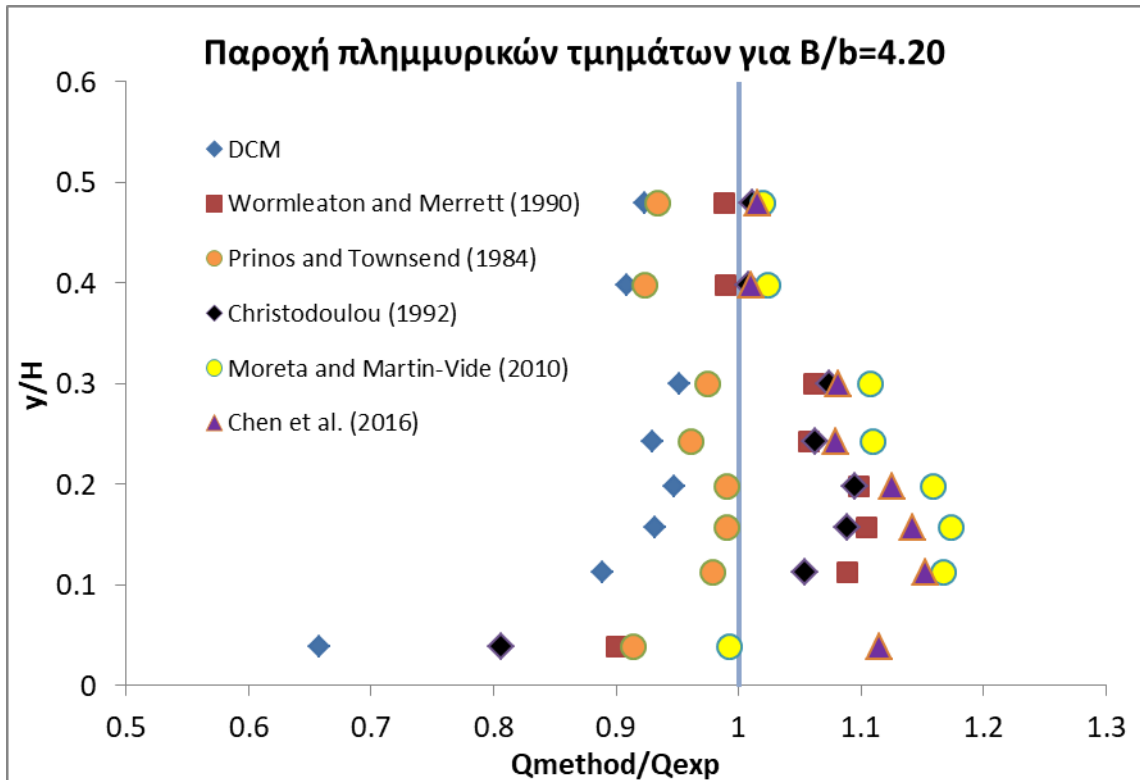
Σχήμα 24 – Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 1 των πειραμάτων του SERC ($B/b=6.67$)



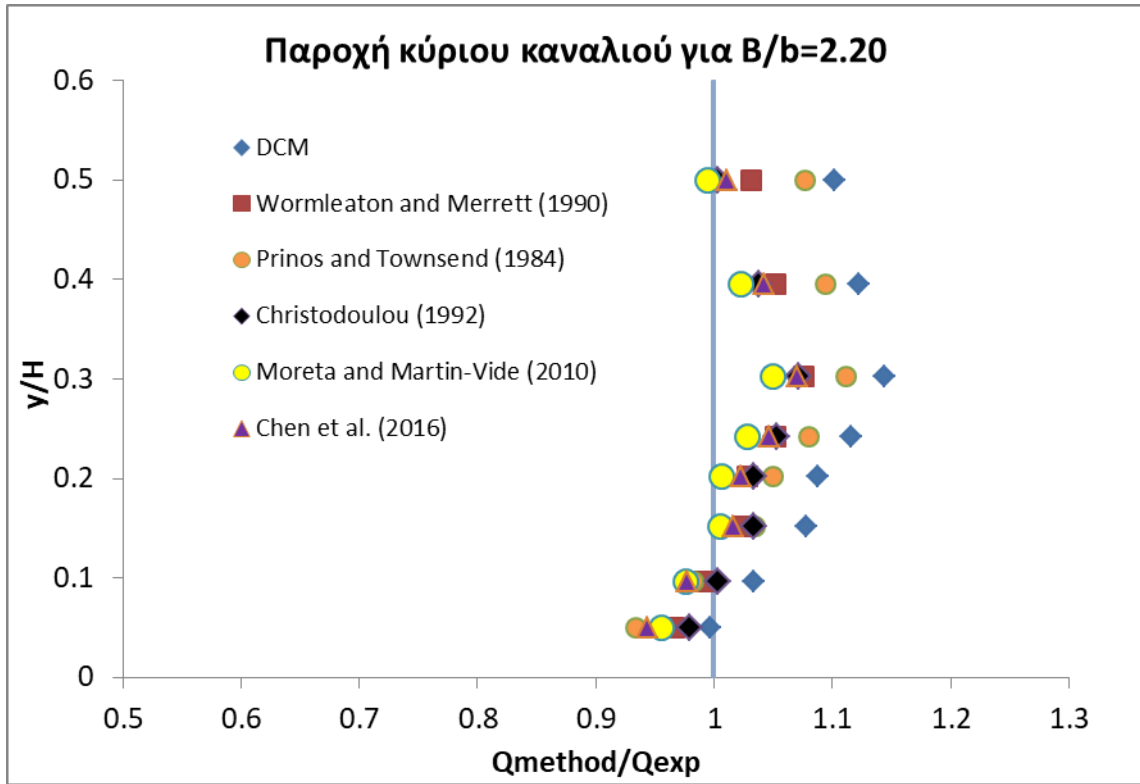
Σχήμα 25 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 1 των πειραμάτων του SERC ($B/b=6.67$)



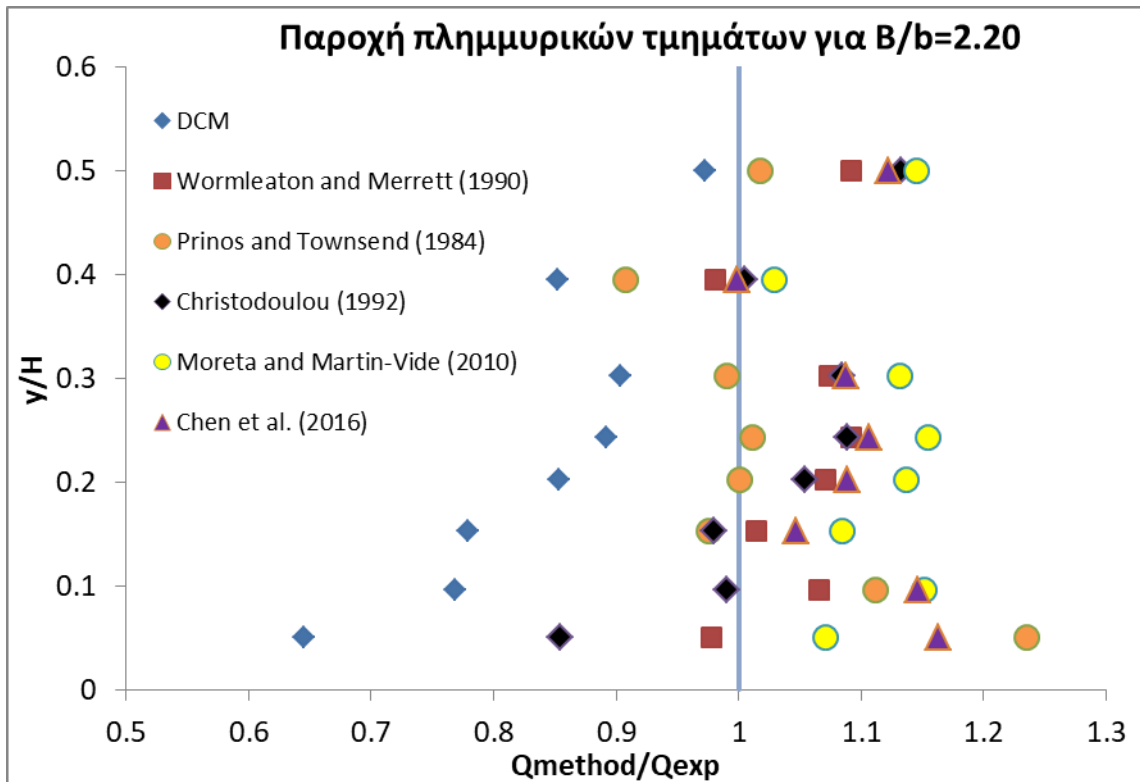
Σχήμα 26 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 2 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.20$)



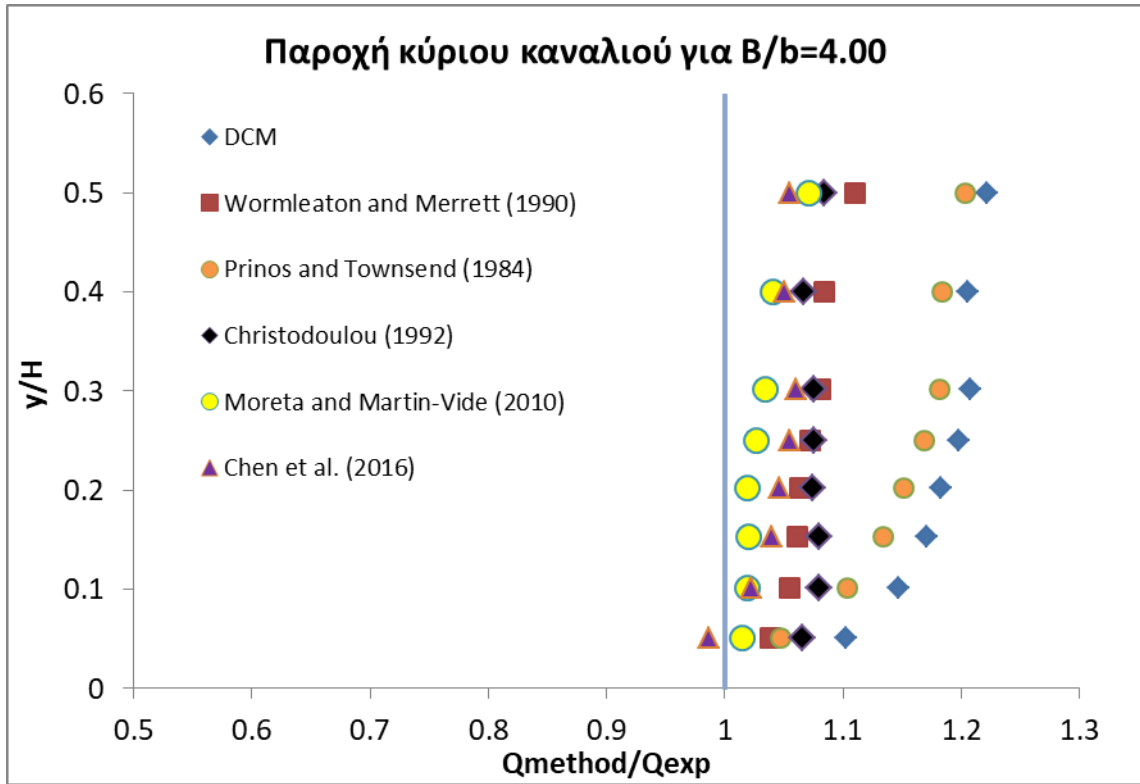
Σχήμα 27 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 2 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.20$)



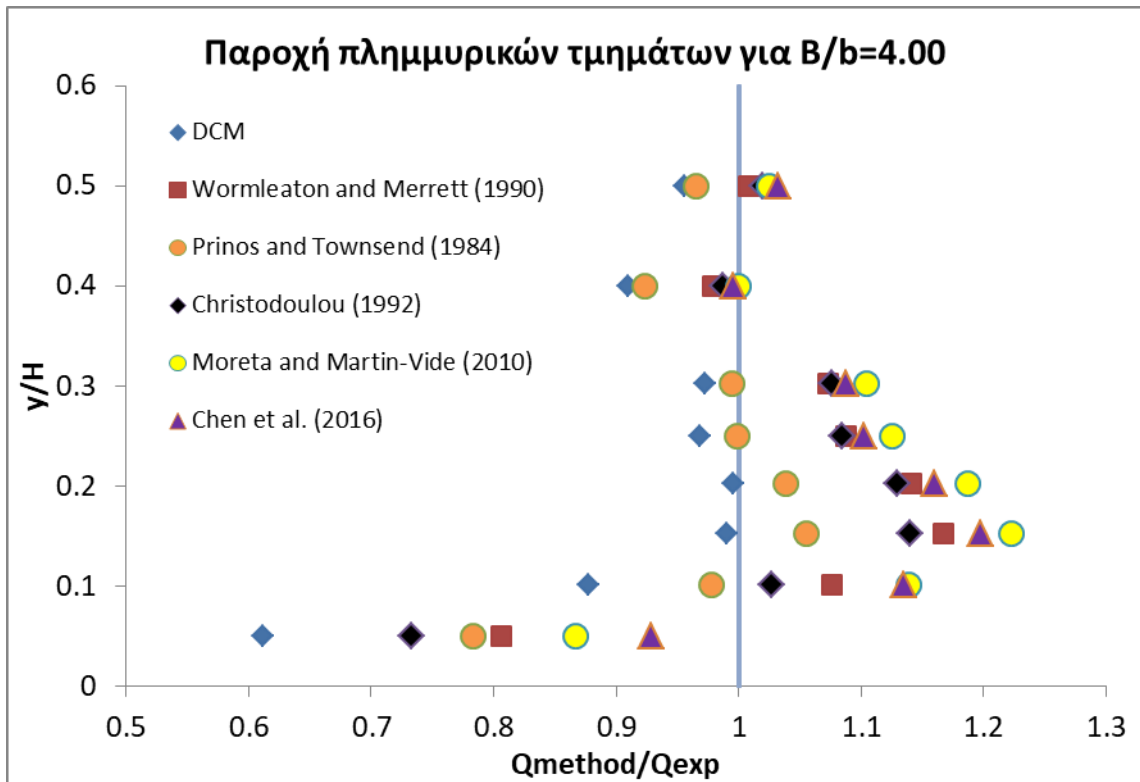
Σχήμα 28 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 3 των πειραμάτων του SERC ($B/b=2.20$)



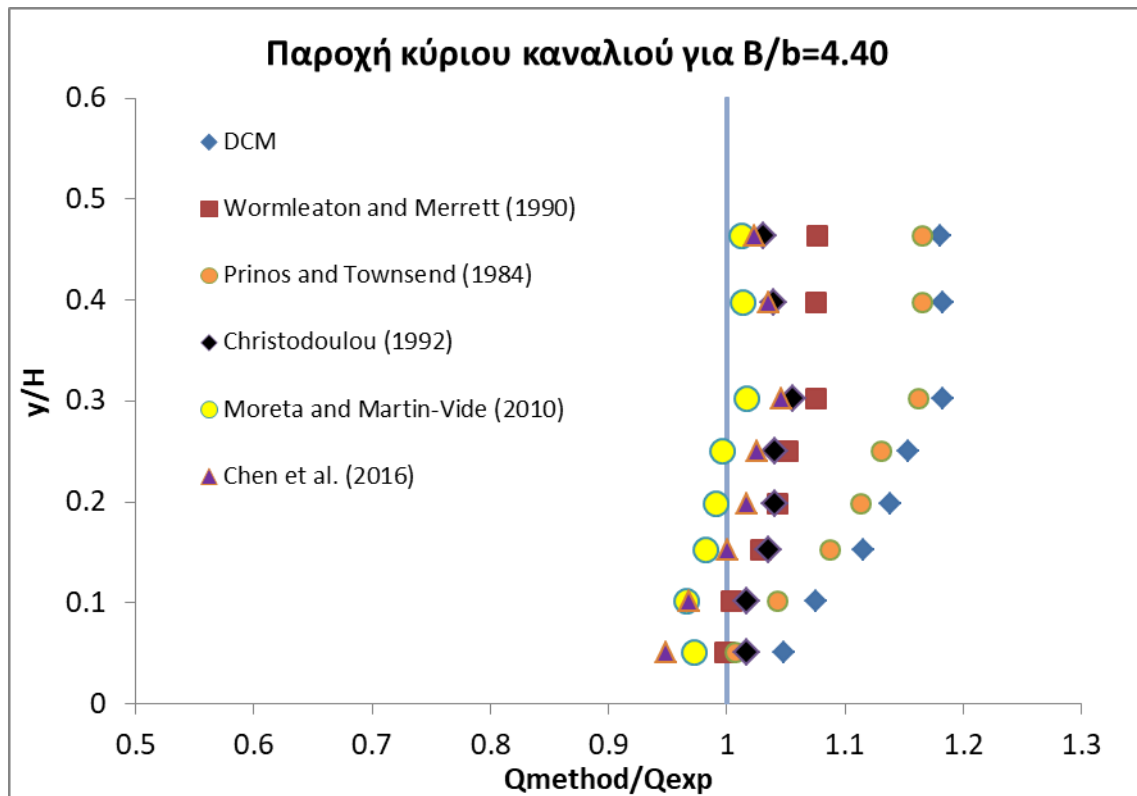
Σχήμα 29 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 3 των πειραμάτων του SERC ($B/b=2.20$)



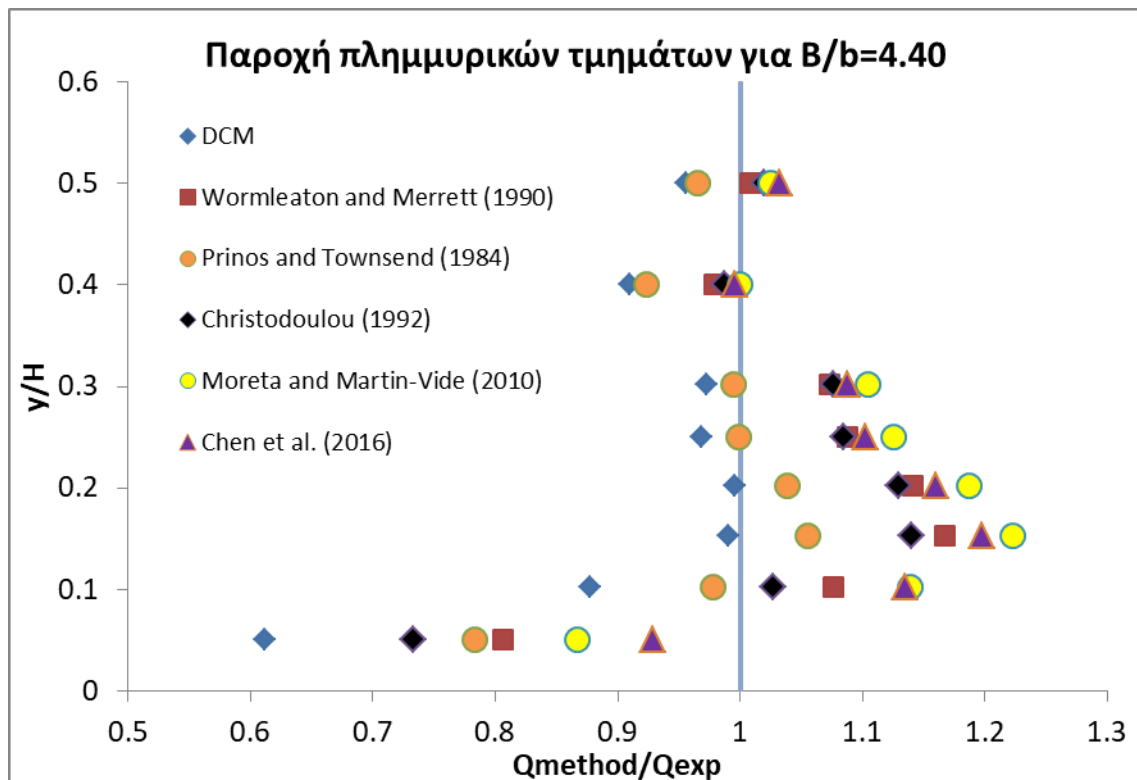
Σχήμα 30 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 8 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.00$)



Σχήμα 31 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 8 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.00$)



Σχήμα 32 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την σειρά 10 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.40$)

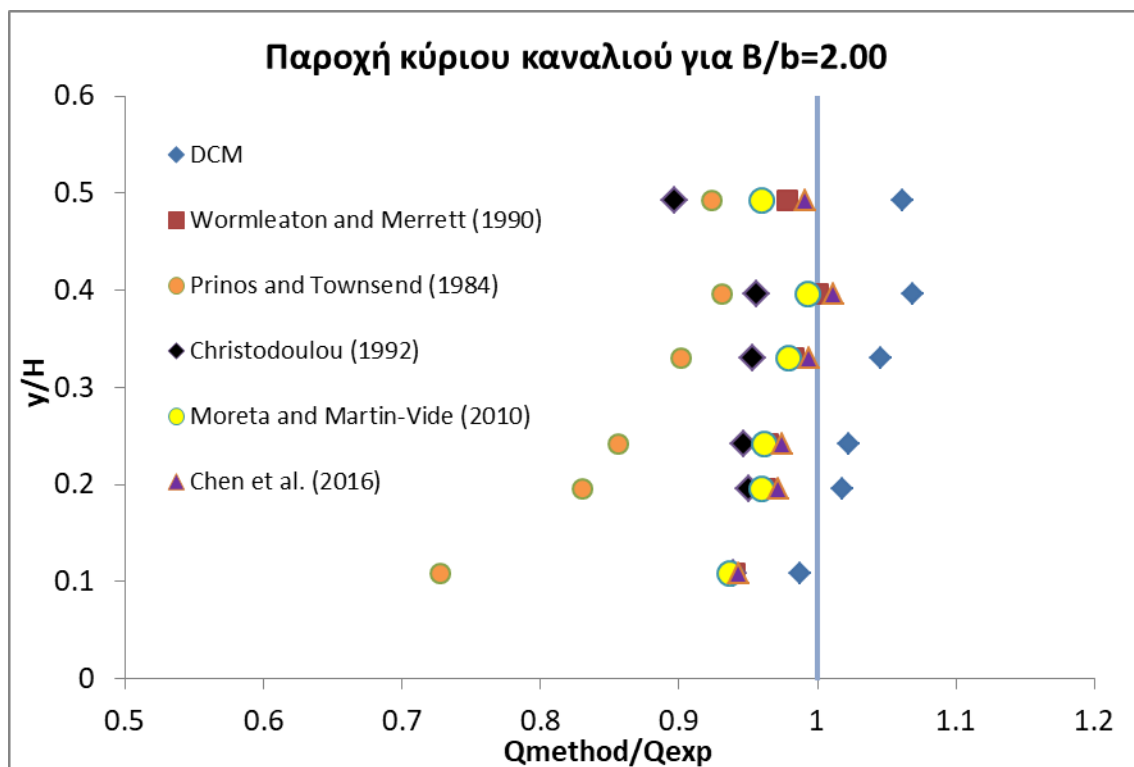


Σχήμα 33 - Σύγκριση των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την σειρά 10 των πειραμάτων του SERC ($B/b=4.40$)

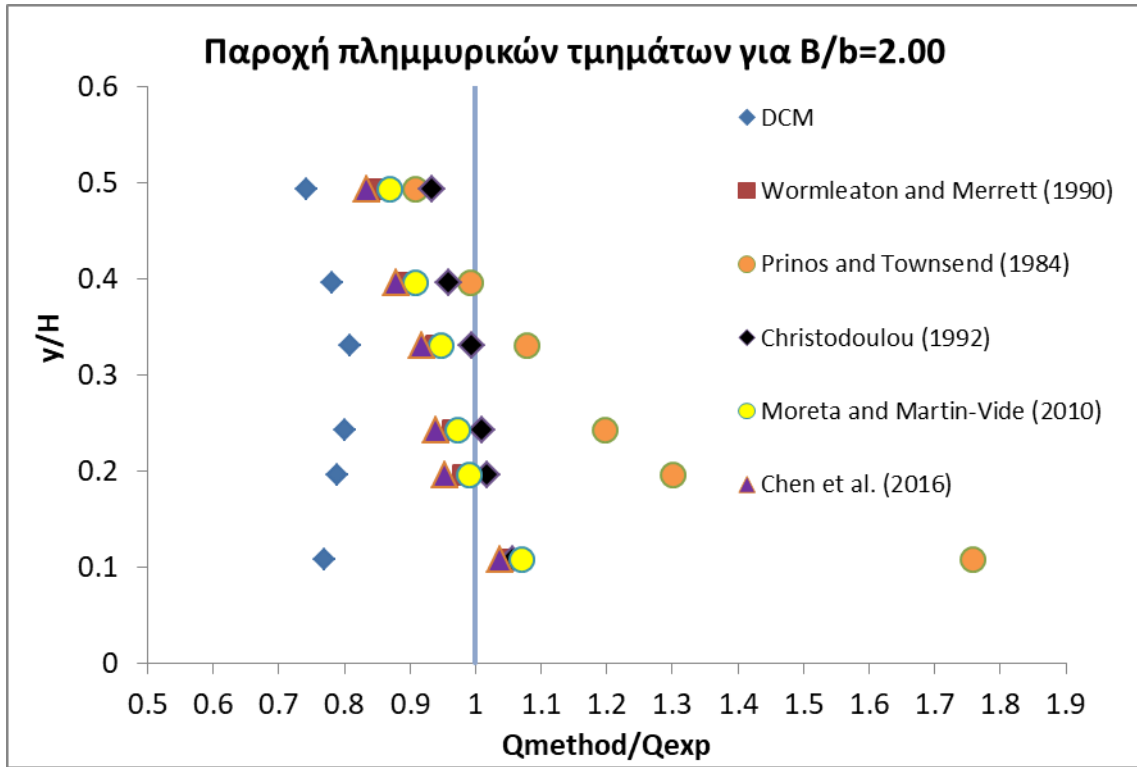
Στα πειράματα των Knight and Demetriou (Σχήματα 33 έως 38) βλέπουμε πως οι μέθοδοι υποεκτιμούν την παροχή του κύριου καναλιού, με μικρές όμως αποκλίσεις, ενώ καλή είναι η προσέγγιση της παροχής που μεταφέρουν τα πλημμυρικά τμήματα. Η μέθοδος DCM υπερεκτιμά την παροχή του κύριου καναλιού και υποεκτιμά την παροχή των πλημμυρικών τμημάτων για όλο το εύρος των B/b ενώ αντίθετα η μέθοδος Prinos and Townsend υποεκτιμά την παροχή του κύριου καναλιού και υπερεκτιμά την παροχή που μεταφέρουν τα πλημμυρικά τμήματα.

Η παροχή του κύριου καναλιού για τις διατομές με λόγο B/b ίσο με 2 και 3 προσεγγίζεται ικανοποιητικά από τις μεθόδους των Wormleaton and Merrett, των Chen et al. και των Moreta and Martin-Vide ενώ λίγο μεγαλύτερες αποκλίσεις δίνει η μέθοδος του Christodoulou. Για την διατομή με λόγο B/b ίσο με 4 η μέθοδος του Christodoulou δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, με τις υπόλοιπες μεθόδους να δίνουν κοντινές τιμές.

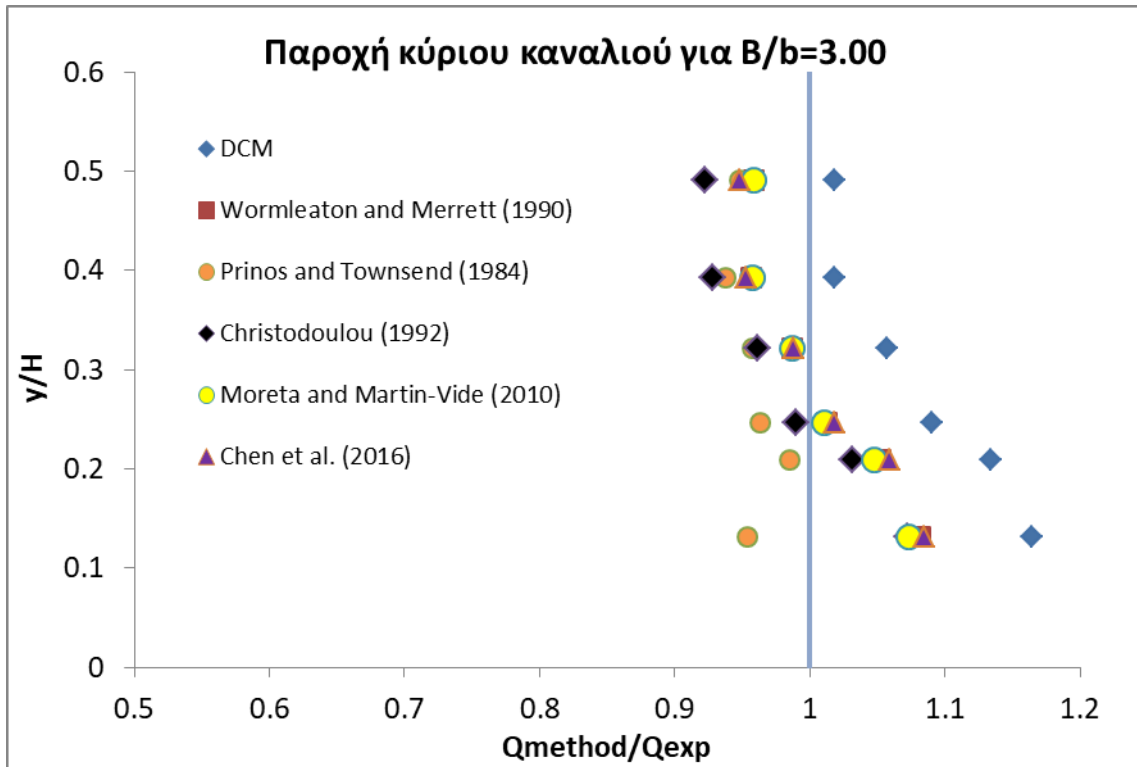
Η παροχή των πλημμυρικών τμημάτων εκτιμάται επίσης καλύτερα από την μέθοδο του Christodoulou, ενώ και οι υπόλοιπες μέθοδοι (πλην της DCM και των Prinos and Townsend) προσεγγίζουν την παροχή με αποκλίσεις που δεν υπερβαίνουν το 10%.



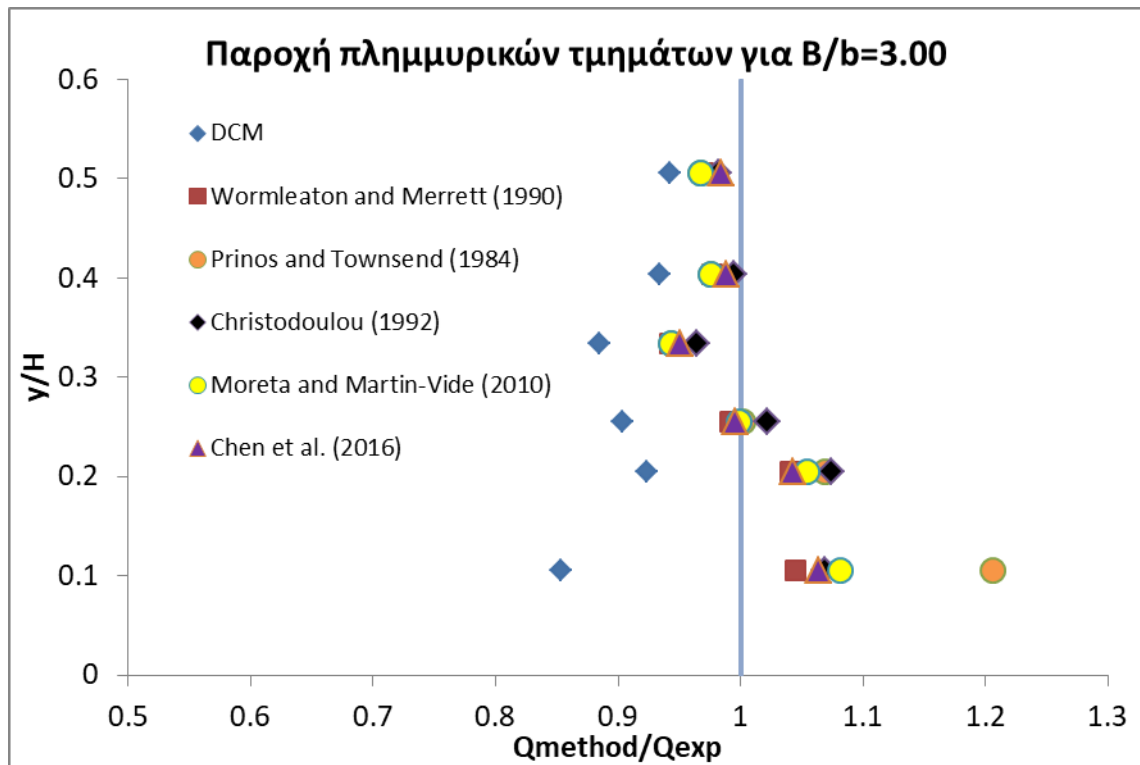
Σχήμα 34 – Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την 1^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou



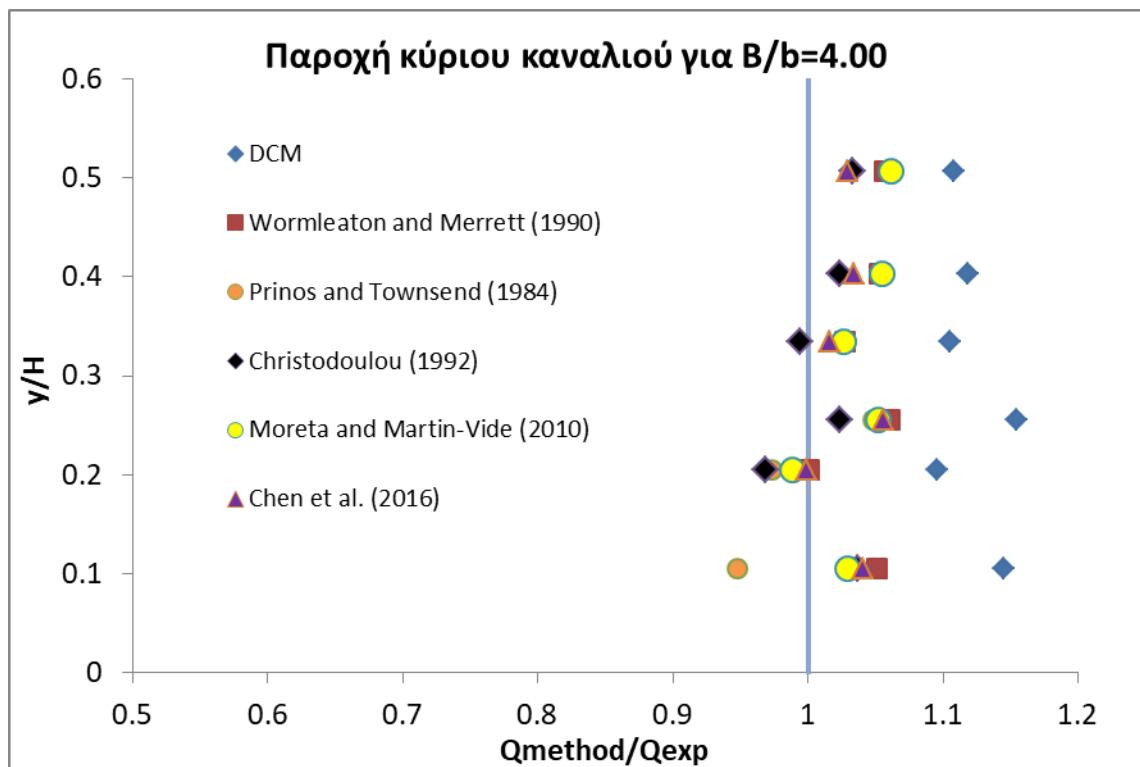
Σχήμα 35 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την 1^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou



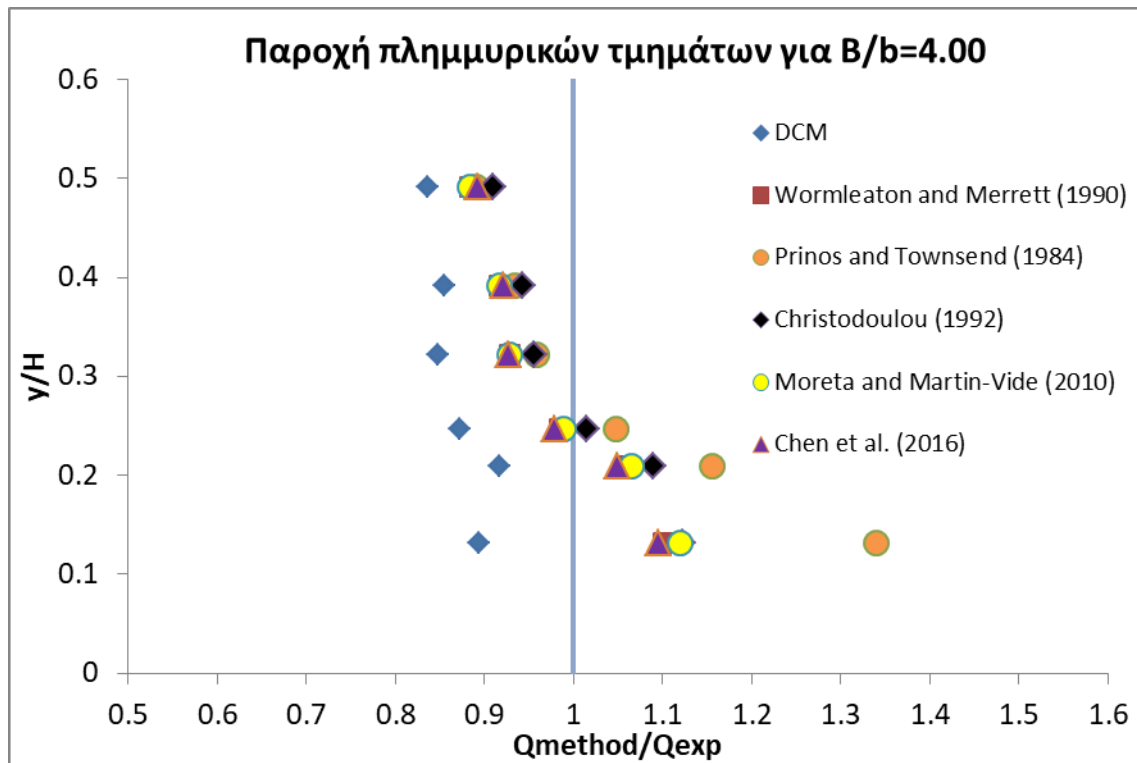
Σχήμα 36 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την 2^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou



Σχήμα 37 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την 2^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou



Σχήμα 38 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για την 3^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou



Σχήμα 39 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για την 3^η Σειρά των πειραμάτων των Knight and Demetriou

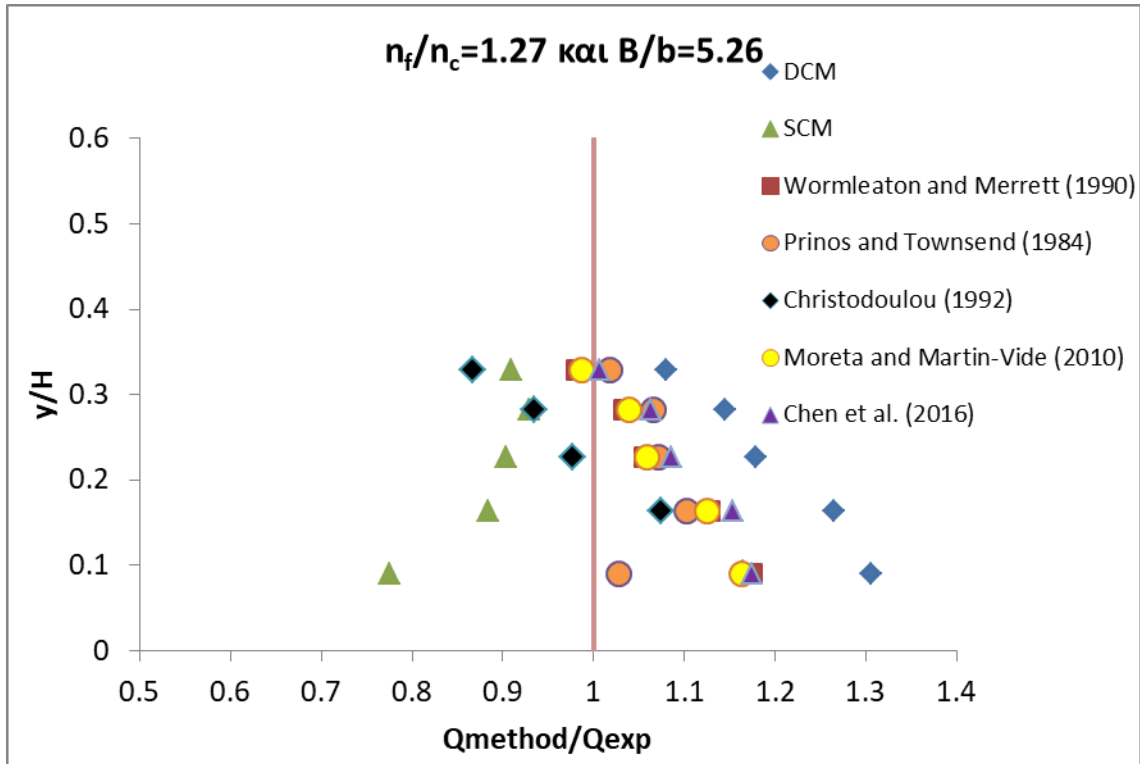
3.5 Εκτίμηση συνολικής παροχής σε διατομές με διαφορετική τραχύτητα κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων

Πολλές φορές η τραχύτητα των πλημμυρικών τμημάτων είναι μεγαλύτερη από αυτήν του κύριου καναλιού κάτι το οποίο επηρεάζει τις ταχύτητες και τις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στην διατομή. Οπότε, έχει μεγάλη σημασία οι μέθοδοι να μπορούν να προσεγγίσουν ικανοποιητικά την παροχή και σε αυτές τις περιπτώσεις. Για την αξιολόγηση των μεθόδων σε τέτοιες περιπτώσεις, θα χρησιμοποιηθούν τα πειραματικά αποτελέσματα των Prinos and Townsend για διατομές με διαφορετική τραχύτητα κύριου καναλιού και πλημμυρικών κοιτών και θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα διαγράμματα σύγκρισης της παροχής που υπολογίζεται από τις εξεταζόμενες μεθόδους με αυτήν που προκύπτει από τις πειραματικές μετρήσεις.

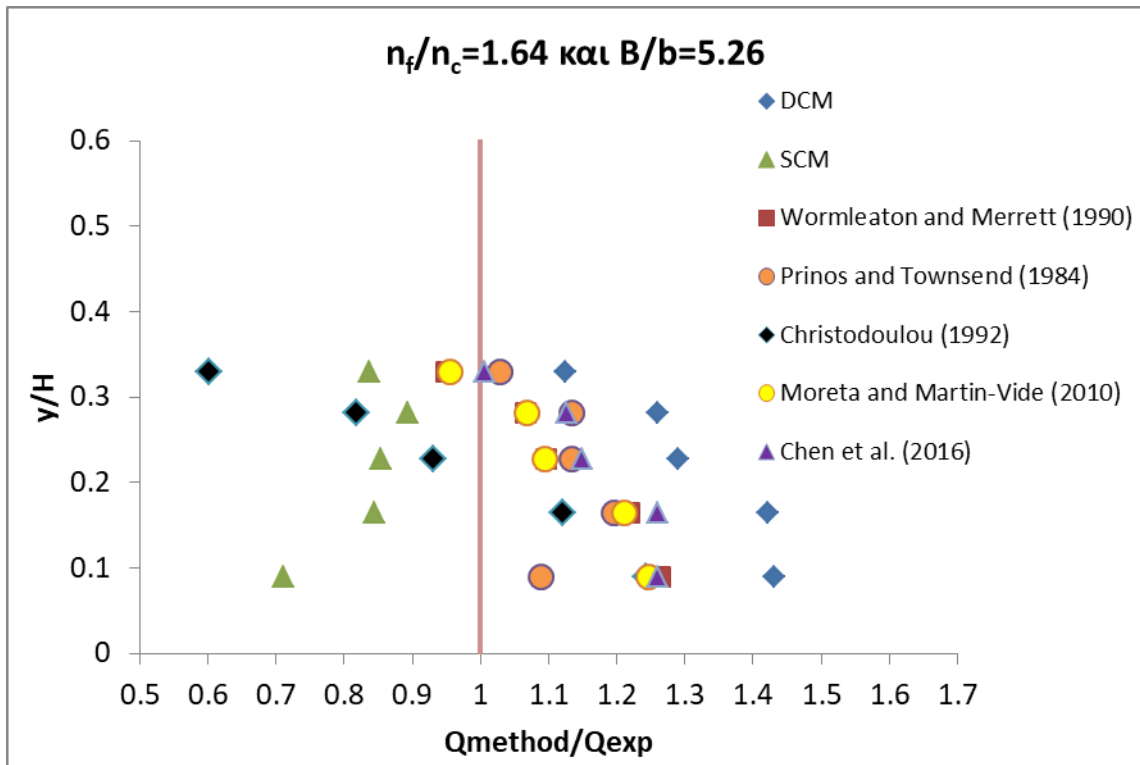
Εξετάζονται 2 διαφορετικές γεωμετρίες με πλάτη κύριου καναλιού 20.3 cm και 30.5 cm δίνοντας λόγο B/b ίσο με 5.26 και 3.83 αντίστοιχα. Ο συντελεστής τραχύτητας του κύριου καναλιού είναι 0.011 ενώ των πλημμυρικών κοιτών 0.14, 0.18 και 0.22 για τα 3 πειράματα που έγιναν για κάθε διατομή.

Παρατηρούμε πως οι αποκλίσεις των μεθόδων είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στις ίδιες διατομές όταν ο συντελεστής τραχύτητας σε κύριο κανάλι και πλημμυρικές κοίτες ήταν ο ίδιος. Οι μέθοδοι SCM και DCM έχουν πολύ μεγάλες αποκλίσεις, ιδιαίτερα στα μεσαία και μικρά βάθη ενώ ακόμα και στα μεγάλα δεν προσεγγίζουν την παροχή σε ικανοποιητικό βαθμό. Η μέθοδος του Christodoulou υπερεκτιμά την παροχή στα μικρά βάθη και την υποεκτιμάει στα μεγάλα, εμφανίζοντας επίσης πολύ μεγάλες αποκλίσεις. Οι μέθοδοι των Chen et al., Moreta and Martin-Vide, Wormleaton and Merrett και Prinos and Townsend εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις στα μικρά βάθη, βελτιώνονται όμως στα μεγαλύτερα, με τις μεθόδους των Moreta and Martin-Vide και Wormleaton and Merrett να δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

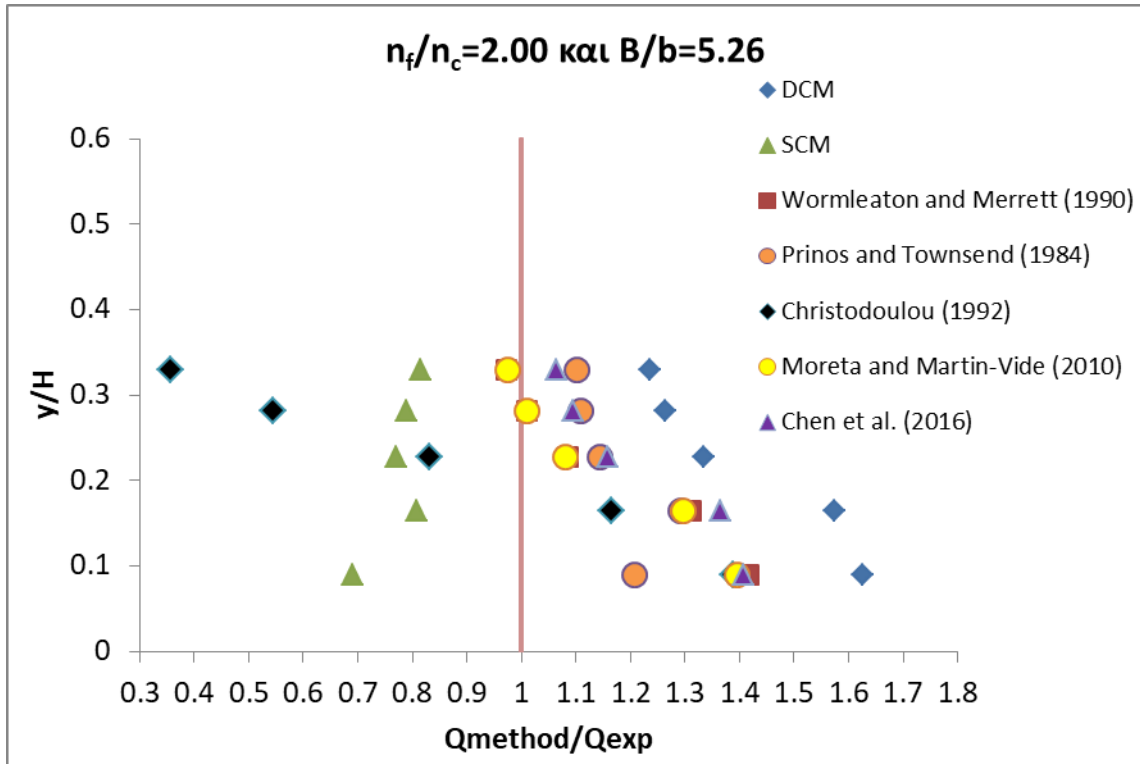
Παρατηρούμε επίσης πως οι αποκλίσεις των μεθόδων μεγαλώνουν όσο μεγαλώνει ο λόγος τραχυτήτων n_f/n_c , ακόμα και για τις μεθόδους που έχουν συνυπολογίσει την παράμετρο αυτή στον υπολογισμό της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια (Moreta and Martin-Vide και Chen et al.)



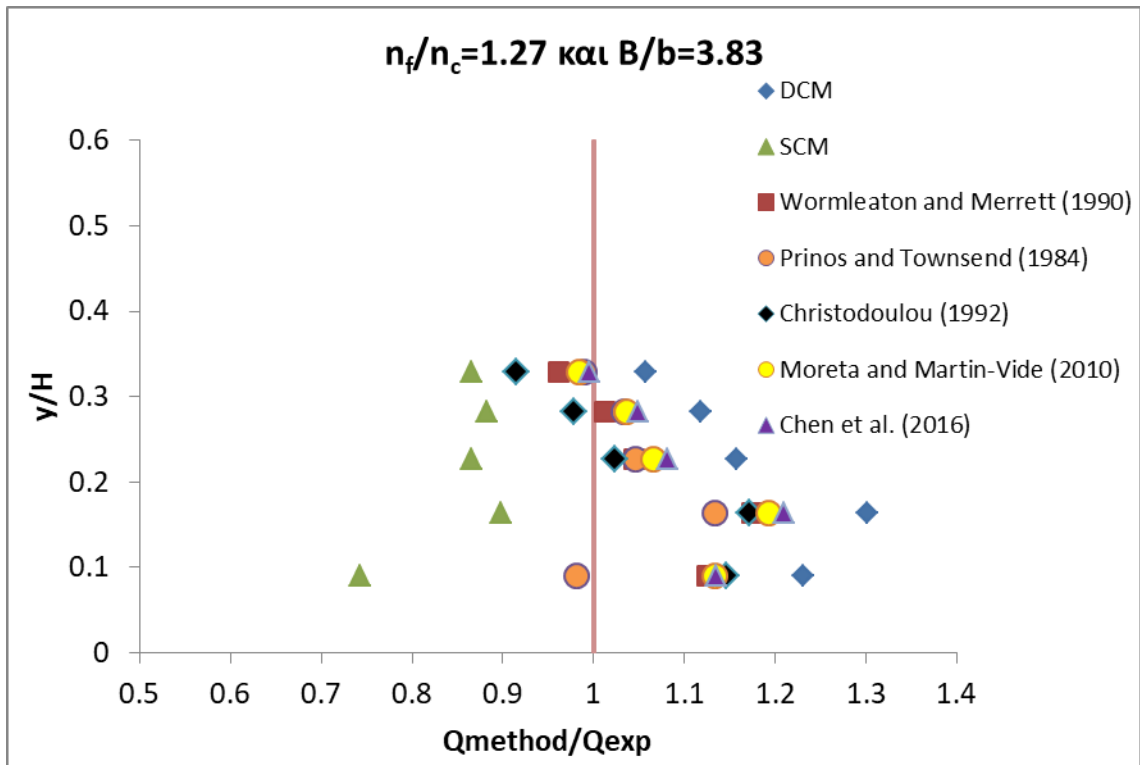
Σχήμα 40 – Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=5.26$ και $n_r=1.27$



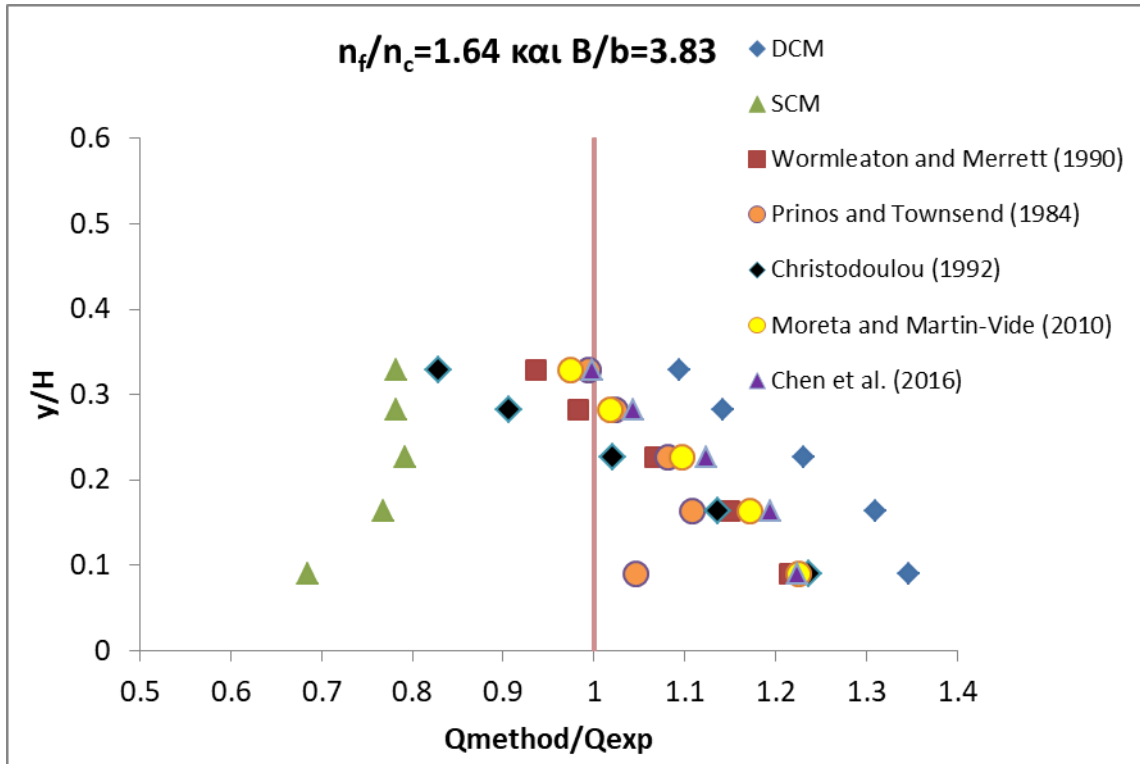
Σχήμα 41 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=5.26$ και $n_r=1.64$



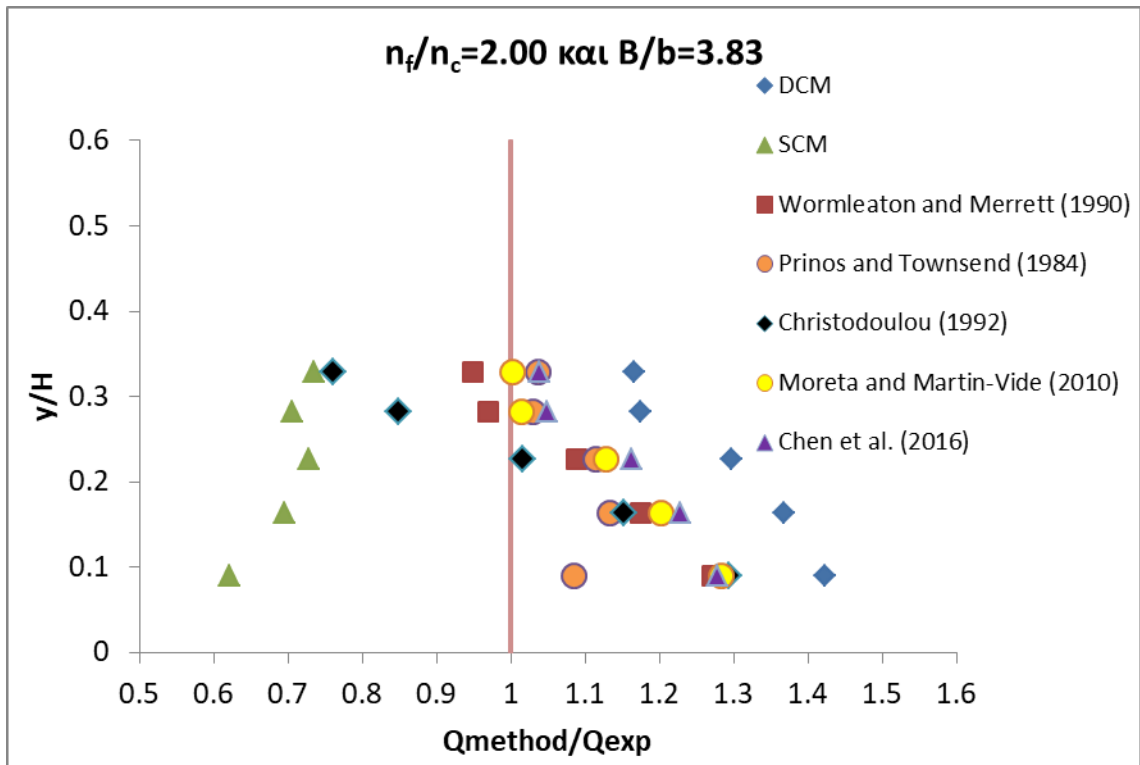
Σχήμα 42 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=5.26$ και $n_f=2.00$



Σχήμα 43 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=3.83$ και $n_f=1.27$



Σχήμα 44 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=3.83$ και $n_r=1.64$



Σχήμα 45 - Σύγκριση μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειραματικά δεδομένα των Prinos and Townsend με $B/b=3.83$ και $n_r=2.00$

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

4.1 Αποκλίσεις μεθόδων

Βασικά κριτήρια για την αξιολόγηση των μεθόδων είναι η προσέγγιση τόσο της συνολικής παροχής όσο και της κατανομής της παροχής στο κύριο κανάλι και τα πλημμυρικά τμήματα για τις διάφορες γεωμετρίες που εξετάστηκαν. Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα των αποκλίσεων των μεθόδων συναρτήσει του λόγου γ/H . Για τον καλύτερο προσδιορισμό της αξιοπιστίας των μεθόδων έχει ιδιαίτερη σημασία να παρατηρήσουμε τις μέσες αποκλίσεις που εμφανίζουν για τις διάφορες περιπτώσεις διατομών, αλλά και τις μέγιστες και ελάχιστες αποκλίσεις έτσι ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες κάθε μιας από τις μεθόδους.

Για τον σκοπό αυτό θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι μέσες αποκλίσεις που εμφανίζουν οι μέθοδοι συγκριτικά με τα πειραματικά δεδομένα στην εκτίμηση τόσο της συνολικής παροχής όσο και της παροχής του κύριου καναλιού και των πλημμυρικών τμημάτων.

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ SERC								
		SCM	DCM	Wormleaton and Merrett	Prinos and Townsend	Christodoulou	Moreta and Martin-Vide	Chen et al.
Σειρά1- B/b=6.67	MAX	46.26	15.51	7.73	14.33	7.33	2.15	4.06
	MIN	3.68	4.45	1.10	4.17	0.84	0.03	0.22
	AVG	20.00	11.66	4.96	10.46	4.60	1.07	2.33
Σειρά2- B/b=4.20	MAX	46.08	11.15	5.57	9.64	5.24	2.98	6.04
	MIN	1.04	3.56	0.72	1.00	1.02	0.11	0.10
	AVG	17.11	8.22	3.56	6.81	3.48	1.64	2.93
Σειρά3- B/b=2.20	MAX	27.90	11.03	7.58	9.44	7.33	6.13	7.26
	MIN	0.01	0.66	0.70	1.36	0.30	1.00	1.80
	AVG	11.12	6.29	3.90	5.48	3.60	3.11	3.95
Σειρά8- B/b=4.00	MAX	42.02	14.43	8.06	12.63	8.90	6.01	7.09
	MIN	2.12	6.03	2.96	3.70	2.77	0.85	1.53
	AVG	14.76	10.93	6.03	9.16	6.65	4.08	4.81
Σειρά10- B/b=4.40	MAX	42.10	10.63	6.48	9.89	5.64	3.95	5.87
	MIN	0.05	2.63	1.54	0.78	0.03	1.13	0.93
	AVG	16.12	8.05	4.13	6.84	3.65	2.43	3.48

Πίνακας 5 – Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειράματα του SERC

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ KNIGHT AND DEMETRIΟΥ								
		SCM	DCM	Wormleaton and Merrett	Prinos and Townsend	Christodoulou	Moreta and Martin-Vide	Chen
B/b=2.00	MAX	16.74	3.64	6.14	22.65	9.17	6.80	5.71
	MIN	6.30	0.13	2.55	5.37	3.88	2.72	2.09
	AVG	9.99	1.25	3.97	10.72	5.27	4.25	3.54
B/b=3.00	MAX	8.98	13.20	8.42	7.88	8.36	7.86	8.58
	MIN	3.21	1.45	0.57	0.04	0.37	0.47	0.78
	AVG	6.64	6.39	5.21	3.67	5.27	5.06	5.36
B/b=4.00	MAX	15.52	10.78	4.99	3.10	4.11	3.62	4.32
	MIN	0.16	0.28	0.48	0.01	0.19	0.52	0.20
	AVG	4.90	4.19	2.10	1.35	1.60	1.76	1.90

Πίνακας 6 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειράματα των Knight and Demetriou

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ PRINOS AND TOWNSEND									
			SCM	DCM	Wormleaton and Merrett	Prinos and Townsend	Christodoulou	Moreta and Martin-Vide	Chen
B/b=5.26	nr=1.00	MAX	15.46	22.46	12.37	6.46	12.13	10.65	12.30
		MIN	5.36	2.62	1.27	0.00	0.35	1.70	0.45
		AVG	7.91	11.26	5.37	2.02	5.57	4.82	5.58
	nr=1.26	MAX	22.45	30.57	17.43	10.24	16.44	16.32	17.38
		MIN	7.06	7.95	1.92	1.79	2.35	1.26	0.58
		AVG	11.98	19.47	8.20	5.68	9.21	7.96	9.62
	nr=1.64	MAX	28.91	43.08	26.30	19.66	39.72	24.66	26.05
		MIN	10.68	12.55	4.95	2.92	6.93	4.49	0.69
		AVG	17.23	30.54	13.87	11.65	20.26	13.30	16.05
	nr=2.00	MAX	30.83	62.68	41.74	29.24	64.29	39.53	40.68
		MIN	18.54	23.48	1.06	10.14	16.52	0.98	6.54
		AVG	22.47	40.68	17.02	17.14	36.37	16.11	21.76
B/b=3.83	nr=1.00	MAX	21.54	12.56	4.47	7.45	6.30	4.43	6.43
		MIN	4.10	5.84	0.82	1.00	0.37	0.86	2.11
		AVG	9.87	9.96	3.17	3.23	3.26	3.16	4.69
	nr=1.26	MAX	25.70	30.11	17.46	13.30	17.21	19.32	20.93
		MIN	10.27	5.76	1.26	1.04	2.23	1.56	0.55
		AVG	14.94	17.30	7.93	4.82	8.98	8.90	9.61
	nr=1.64	MAX	31.54	34.69	21.51	10.75	23.69	22.52	22.43
		MIN	20.76	9.35	1.76	0.60	2.04	1.72	0.17
		AVG	23.79	22.45	10.24	5.28	13.18	10.74	11.74
	nr=2.00	MAX	37.90	42.16	27.07	13.24	29.31	28.20	27.70
		MIN	26.44	16.52	3.13	2.97	1.61	0.20	3.74
		AVG	30.31	28.47	12.32	7.91	17.03	12.54	15.05

Πίνακας 7 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της συνολικής παροχής για τα πειράματα των Prinos and Townsend

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ SERC							
		DCM	Wormleaton and Merrett	Prinos and Townsend	Christodoulou	Moreta and Martin-Vide	Chen
Σειρά1- B/b=6.67	MAX	24.03	6.53	22.40	6.85	9.84	6.01
	MIN	13.57	3.88	11.17	1.89	2.17	1.18
	AVG	19.91	5.10	17.55	3.72	6.50	3.44
Σειρά2- B/b=4.20	MAX	18.88	7.02	17.09	4.41	2.86	6.41
	MIN	4.35	0.53	0.84	1.18	0.58	0.73
	AVG	14.19	3.97	11.44	3.19	1.47	2.23
Σειρά3- B/b=2.20	MAX	14.45	7.61	11.15	7.14	4.97	7.01
	MIN	0.29	0.89	1.70	0.33	0.53	1.10
	AVG	8.59	3.84	6.62	3.22	2.34	3.61
Σειρά8- B/b=4.00	MAX	22.20	11.05	20.36	8.42	7.16	6.00
	MIN	10.27	3.91	4.77	6.57	1.45	1.29
	AVG	17.97	7.07	14.68	7.52	3.10	4.26
Σειρά10- B/b=4.40	MAX	18.30	7.63	16.52	5.59	3.44	5.12
	MIN	4.87	0.12	0.77	1.66	0.40	0.02
	AVG	13.46	4.44	10.95	3.47	1.69	2.89

Πίνακας 8 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για τα πειράματα του SERC

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ SERC							
		DCM	Wormleaton and Merrett	Prinos and Townsend	Christodoulou	Moreta and Martin-Vide	Chen
Σειρά1- B/b=6.67	MAX	8.57	21.83	7.95	16.47	35.94	42.98
	MIN	0.84	1.55	0.98	0.10	1.50	0.47
	AVG	4.31	9.99	4.02	9.53	17.45	16.79
Σειρά2- B/b=4.20	MAX	34.19	10.40	8.64	19.42	17.31	15.25
	MIN	4.85	1.11	0.92	0.82	0.75	1.08
	AVG	10.75	6.64	4.17	7.37	9.61	9.02
Σειρά3- B/b=2.20	MAX	35.44	9.23	23.55	14.55	15.51	16.34
	MIN	2.72	1.49	0.10	0.49	2.92	0.14
	AVG	16.66	5.63	6.28	6.76	11.31	9.53
Σειρά8- B/b=4.00	MAX	38.82	19.38	21.68	26.75	22.27	19.77
	MIN	0.43	0.87	0.14	1.23	0.02	0.42
	AVG	8.96	9.61	5.63	9.48	11.70	9.86
Σειρά10- B/b=4.40	MAX	51.24	35.69	38.13	40.69	34.30	33.64
	MIN	0.06	1.00	1.55	1.08	2.74	1.40
	AVG	10.89	12.20	9.96	12.88	16.46	14.02

Πίνακας 9 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για τα πειράματα του SERC

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΤΩΝ KNIGHT AND DEMETRIΟΥ							
		DCM	Wormleaton and Merrett	Prinos and Townsend	Christodoulou	Moreta and Martin-Vide	Chen
B/b=2.00	MAX	6.94	5.95	27.21	10.32	6.35	5.70
	MIN	1.22	0.00	6.92	4.37	0.69	0.60
	AVG	3.83	2.86	13.84	5.96	3.51	2.29
B/b=3.00	MAX	16.38	8.20	6.21	7.75	7.30	8.47
	MIN	1.80	1.29	1.52	1.02	1.03	1.18
	AVG	8.03	4.10	4.22	5.04	3.81	4.55
B/b=4.00	MAX	15.44	6.02	6.02	3.71	6.12	5.54
	MIN	9.55	0.07	2.63	0.54	1.16	0.15
	AVG	12.11	4.14	4.48	2.57	3.93	2.94

Πίνακας 10 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής κύριου καναλιού για τα πειράματα των Knight and Demetriou

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΤΩΝ KNIGHT AND DEMETRIΟΥ							
		DCM	Wormleaton and Merrett	Prinos and Townsend	Christodoulou	Moreta and Martin-Vide	Chen
B/b=2.00	MAX	25.68	15.11	75.87	6.57	13.00	16.59
	MIN	19.19	1.87	0.70	0.56	1.01	3.76
	AVG	21.80	6.93	23.89	3.23	6.38	8.53
B/b=3.00	MAX	16.33	11.59	34.00	12.18	12.00	10.82
	MIN	8.34	1.49	4.14	1.50	1.15	2.19
	AVG	12.97	7.40	12.65	6.98	7.80	7.09
B/b=4.00	MAX	14.63	5.75	20.56	7.44	8.12	6.33
	MIN	5.80	0.82	0.23	0.56	0.14	0.41
	AVG	9.31	3.41	6.52	3.73	4.17	3.13

Πίνακας 11 - Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποκλίσεις (%) μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για τα πειράματα των Knight and Demetriou

4.2 Σχολιασμός

Για τα πειράματα του SERC παρατηρούμε πως η μέθοδος των Moreta and Martin-Vide είναι η πιο αποτελεσματική στην εκτίμηση της συνολικής παροχής καθώς έχει την μικρότερη μέση απόκλιση σε όλες τις εξεταζόμενες διατομές, ενώ παράλληλα έχει και την μικρότερη μέγιστη απόκλιση. Η μέση απόκλιση συνολικά για όλες τις διατομές των πειραμάτων του SERC είναι 2.47% για την μέθοδο των Moreta and Martin-Vide ενώ η μέγιστη απόκλιση 6.13%. Η μέθοδος των Chen et al. έχει ελαφρώς μεγαλύτερες αποκλίσεις με μέση απόκλιση 3.5% και μέγιστη 7.26%. Οι μέθοδοι των Wormleaton and Merrett και του Christodoulou, όπως είναι φανερό και από τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, δίνουν αρκετά κοντινές τιμές με μέσες αποκλίσεις 4.52% και 4.40% και μέγιστες 8.06% και 8.90% αντίστοιχα. Η μέθοδος των Prinos and Townsend εμφανίζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις από τις μεθόδους που λαμβάνουν υπόψη την διατμητική τάση με μέση απόκλιση 7.75% και μέγιστη 12.63%. Η μέθοδος DCM εμφανίζει μέση απόκλιση

9.03% και μέγιστη 15.51%, ενώ η SCM εμφανίζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις με την μέγιστη απόκλιση να ξεπερνάει το 40% αλλά με πολύ χαμηλές ελάχιστες αποκλίσεις που δείχνουν την καλή προσέγγιση της μεθόδου μόνο στα μεγάλα βάθη.

Όπως και στην συνολική παροχή, η μέθοδος των Moreta and Martin-Vide είναι η πιο αποτελεσματική και στην εκτίμηση της παροχής του κύριου καναλιού σε όλες τις διατομές, εκτός από αυτήν με λόγο $B/b=6.67$ όπου τις μικρότερες μέσες αποκλίσεις έχουν οι μέθοδοι των Chen et al. και του Christodoulou. Η μέση απόκλιση για το σύνολο των διατομών του SERC είναι 3.02% και η μέγιστη 9.84% για την μέθοδο των Moreta and Martin-Vide και 3.29% και 7.01% αντίστοιχα για αυτήν των Chen et al. Οι μέθοδοι του Christodoulou και Wormleaton and Merrett εμφανίζουν λίγο μεγαλύτερες αποκλίσεις με τις μέγιστες να είναι 11.05% και 8.42% αντίστοιχα. Οι μέθοδοι των Prinos and Townsend και η DCM δεν κάνουν καλή εκτίμηση της παροχής του κύριου καναλιού καθώς οι μέσες αποκλίσεις τους ξεπερνάνε το 10%.

Στην εκτίμηση της παροχής των πλημμυρικών τμημάτων παρατηρούνται σημαντικά σφάλματα για τις μεθόδους των Moreta and Martin-Vide και Chen. Οι μέθοδοι αυτές, που είχαν τις μικρότερες αποκλίσεις στην εκτίμηση της συνολικής παροχής, εμφανίζουν τις μεγαλύτερες μέσες αποκλίσεις με 13.31% και 11.83% αντίστοιχα και μέγιστες αποκλίσεις 35.94% και 42.98%. Οι μέθοδοι των Wormleaton and Merrett και του Christodoulou κάνουν καλύτερη προσέγγιση της παροχής που μεταφέρεται από τα πλημμυρικά τμήματα με μέσες αποκλίσεις με 8,81% και 9,2%. Οι μέθοδοι των DCM και του Prinos and Townsend έχουν τις μικρότερες μέσες αποκλίσεις, υποεκτιμώντας ελαφρά την παροχή, ήταν όμως οι μέθοδοι με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις στην παροχή του κύριου καναλιού και στην συνολική παροχή.

Στα πειράματα των Knight and Demetriou βλέπουμε πως οι μέθοδοι παρουσιάζουν γενικά παρόμοια σφάλματα. Η DCM έχει την μικρότερη μέση απόκλιση για την διατομή με λόγο $B/b=2$, η μέθοδος των Prinos and Townsend την μικρότερη μέση απόκλιση για $B/b=3$ και $B/b=4$ αλλά και την μεγαλύτερη για τον λόγο $B/b=2$ (πλην της SCM). Γενικότερα όλες οι μέθοδοι εκτός από την SCM εμφανίζουν μικρές αποκλίσεις που δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

Στα πειράματα των Prinos and Townsend ο διαφορετικός συντελεστής τραχύτητας κύριου καναλιού και πλημμυρικής κοίτης οδηγεί σε αρκετά μεγάλες αποκλίσεις. Για τις περιπτώσεις που ο λόγος $n_r = \frac{n_c}{n_f}$ είναι ίσος με 1 οι μέθοδοι προσεγγίζουν αρκετά καλά την πειραματική παροχή με την μέθοδο Prinos and Townsend και Moreta and Martin-Vide να εμφανίζουν τις μικρότερες μέσες αποκλίσεις και γενικότερα όλες τις μεθόδους, εκτός των συμβατικών SCM και DCM να προσεγγίζουν την παροχή με μέσες αποκλίσεις μικρότερες από 5%. Όσο αυξάνεται όμως ο λόγος n_r αυξάνονται σημαντικά και οι αποκλίσεις των μεθόδων. Οι μέθοδοι που ανταποκρίνονται καλύτερα είναι η μέθοδος των Prinos and Townsend ,των

Wormleaton and Merrett και των Moreta and Martin-Vide. Αξίζει να σημειωθεί πως η μέθοδος των Prinos and Townsend έχει προκύψει από προσαρμογή στις διατμητικές τάσεις που μετρήθηκαν στα συγκεκριμένα πειράματα. Η μέθοδος των Wormleaton and Merrett αν και είναι εντελώς εμπειρική που προήλθε από αξιοποίηση των πειραματικών δεδομένων του SERC φαίνεται να δίνει καλά αποτελέσματα συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους, ενώ αντίστοιχες αποκλίσεις δίνει και η μέθοδος των Moreta and Martin-Vide που λαμβάνει υπόψη την διαφορά τραχύτητας στην σχέση υπολογισμού της διατμητικής τάσης. Πάντως οι μέθοδοι δείχνουν γενικά να μην ανταποκρίνονται καλά στην αύξηση του n_r , ειδικότερα στα μικρά βάθη. Για μεγάλες τιμές του n_r (1.67 και 2) οι μέθοδοι εμφανίζουν μέση απόκλιση μεγαλύτερη του 10% με εξαίρεση την μέθοδο των Prinos and Townsend για τον λόγο $B/b=3.83$ που έχει μέση απόκλιση 5.28% και 7.91% για n_r ίσο με 1.67 και 2 αντίστοιχα. Πολύ μεγάλα είναι επίσης και τα μέγιστα σφάλματα των μεθόδων που ξεπερνούν το 20% με εξαίρεση πάλι την μέθοδο των Prinos and Townsend.

Γενικότερα, παρατηρώντας τις αποκλίσεις των μεθόδων βλέπουμε πως η πιο αποτελεσματική στην εκτίμηση της συνολικής παροχής είναι η μέθοδος των Moreta and Martin-Vide και έπειτα των Chen et al., με τις μεθόδους αυτές όμως να μην είναι τόσο ακριβείς στην πρόβλεψη της κατανομής της παροχής. Η μέθοδος των Wormleaton and Merrett, αν και εμπειρική, φαίνεται να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στην εκτίμηση τόσο της συνολικής, όσο και της κατανομής της παροχής ενώ συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους προσεγγίζει καλά και την παροχή στις διατομές με διαφορετική τραχύτητα κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων. Δεν έχει πολύ μεγάλη ακρίβεια αλλά δίνει ικανοποιητικές αποκλίσεις σε όλες τις διαφορετικές διατομές που εξετάστηκαν. Η μέθοδος του Christodoulou δίνει παρόμοια αποτελέσματα με αυτήν των Wormleaton and Merrett, όμως δεν προσεγγίζει ικανοποιητικά την παροχή σε διατομές με διαφορετική τραχύτητα. Η μέθοδος των Prinos and Townsend έχει καλή εφαρμογή σε όλα τα πειράματα μικρής κλίμακας, όμως εμφανίζει μεγάλες αποκλίσεις στα πειράματα μεγάλης κλίμακας του SERC και έτσι φαίνεται πως δεν μπορεί να γενικευτεί η εφαρμογή της. Τέλος οι συμβατικές μέθοδοι, εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις, ιδιαίτερα στα μικρά βάθη και αποτυγχάνουν επίσης στην εκτίμηση της κατανομής της παροχής.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται και οι πίνακες με τις μέσες και μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων από όλα τα πειράματα. Να σημειωθεί πως οι μέσες αποκλίσεις προκύπτουν από τις τιμές για όλα τα βάθη και οι αποκλίσεις μπορεί να διαφέρουν σημαντικά με μεταβολή του σχετικού βάρους γ/H , ιδιαίτερα στις συμβατικές μεθόδους που βελτιώνονται σημαντικά στα πιο μεγάλα σχετικά βάθη. Επομένως, είναι σημαντικό να αξιολογούμε και τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ώστε να μπορούμε να βγάλουμε πιο ασφαλή συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

Αποκλίσεις (%) στον υπολογισμό της συνολικής παροχής για $n_r=1$		
Μέθοδος	Μέση απόκλιση	Μέγιστη απόκλιση
SCM	12.40	46.26
DCM	7.86	22.46
Wormleaton and Merret (1990)	4.27	12.37
Prinos and Townsend (1984)	6.27	22.65
Christodoulou (1992)	4.30	12.13
Moreta and Martin-Vide (2010)	3.04	10.65
Chen et al. (2016)	3.79	12.30

Πίνακας 12 – Μέσες και μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων στον υπολογισμό της συνολικής παροχής για όλα τα πειράματα με $n_r=1$

Αποκλίσεις (%) στον υπολογισμό της συνολικής παροχής για $n_r=1$		
Μέθοδος	Μέση απόκλιση	Μέγιστη απόκλιση
SCM	20.12	37.90
DCM	26.49	62.68
Wormleaton and Merret (1990)	11.60	41.74
Prinos and Townsend (1984)	8.75	29.24
Christodoulou (1992)	17.51	64.29
Moreta and Martin-Vide (2010)	11.59	39.53
Chen et al. (2016)	13.97	40.68

Πίνακας 13 - Μέσες και μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων στον υπολογισμό της συνολικής παροχής για όλα πειράματα με $n_r>1$

Αποκλίσεις (%) στον υπολογισμό παροχής του κύριου καναλιού		
Μέθοδος	Μέση απόκλιση	Μέγιστη απόκλιση
DCM	12.58	24.03
Wormleaton and Merret (1990)	4.51	11.05
Prinos and Townsend (1984)	10.66	27.21
Christodoulou (1992)	4.33	10.32
Moreta and Martin-Vide (2010)	3.19	9.84
Chen et al. (2016)	3.27	8.47

Πίνακας 14 - Μέσες και μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων στον υπολογισμό της παροχής κύριου καναλιού για όλα τα πειράματα

Αποκλίσεις (%) στον υπολογισμό της παροχής των πλημμυρικών τμημάτων		
Μέθοδος	Μέση απόκλιση	Μέγιστη απόκλιση
DCM	11.80	51.24
Wormleaton and Merret (1990)	7.88	35.69
Prinos and Townsend (1984)	8.68	75.87
Christodoulou (1992)	7.76	40.69
Moreta and Martin-Vide (2010)	10.96	35.94
Chen et al. (2016)	9.99	42.98

Πίνακας 15 - Μέσες και μέγιστες αποκλίσεις των μεθόδων στον υπολογισμό της παροχής πλημμυρικών τμημάτων για όλα τα πειράματα

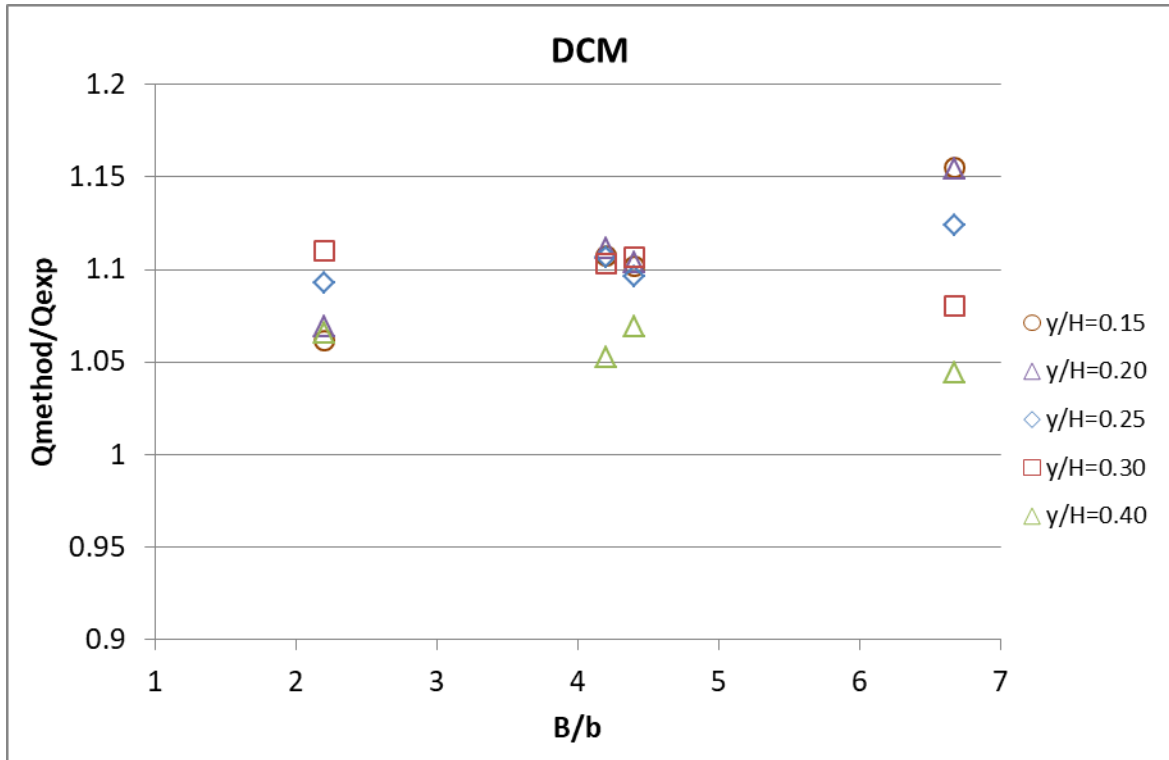
5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

5.1 Σχετικό βάθος y/H

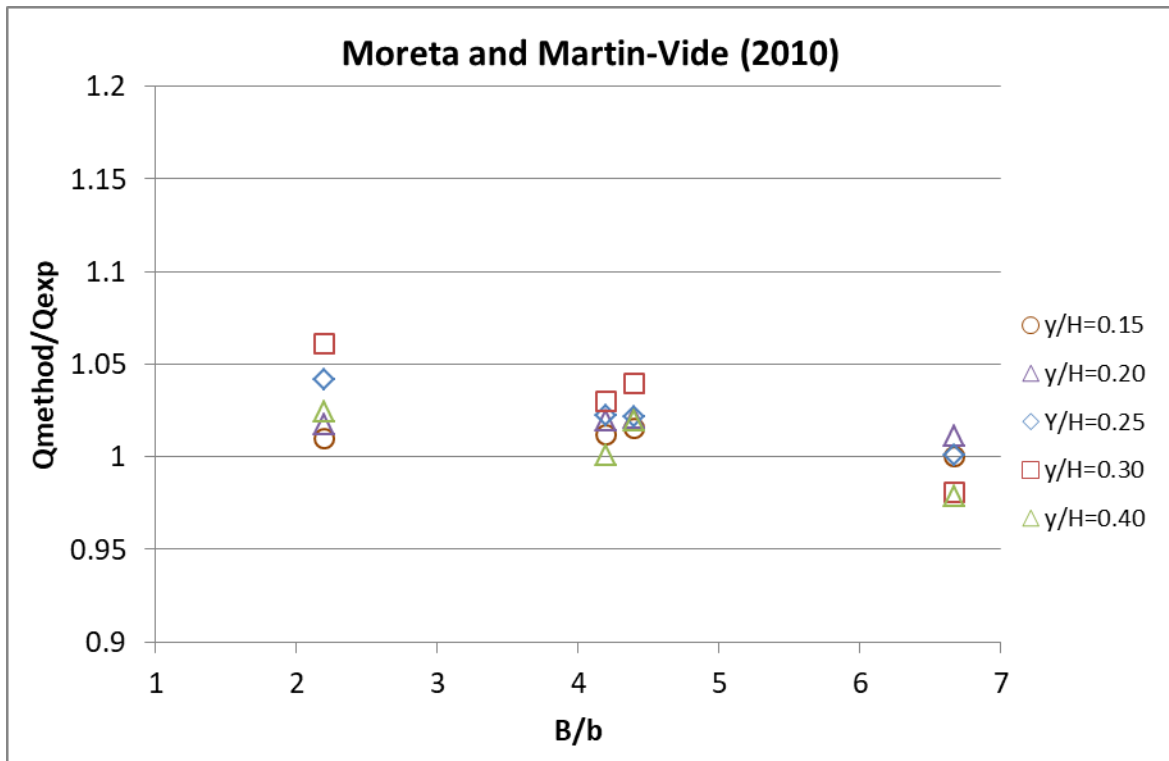
Όπως είδαμε και στα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 το σχετικό βάθος y/H παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια της εκτίμησης της παροχής από τις διάφορες μεθόδους. Όπως σχολιάστηκε και προηγουμένως, οι συμβατικές μέθοδοι εμφανίζουν μεγαλύτερες αποκλίσεις στα μικρότερα σχετικά βάθη και βελτιώνονται στα μεγαλύτερα, όπου προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό την παροχή. Σημαντικά σφάλματα εμφανίζονται από τις μεθόδους στα μικρά βάθη, ιδιαίτερα στην εκτίμηση της παροχής των πλημμυρικών κοιτών, η οποία για αυτά τα βάθη είναι αρκετά μικρή και δεν είναι εύκολο να γίνει ακριβής προσέγγισή της. Για τα μικρά και μεσαία βάθη, η επίδραση της διατμητικής τάσης μεταξύ κύριου καναλιού και πλημμυρικών τμημάτων είναι μεγαλύτερη και άρα προκύπτουν μεγαλύτερα σφάλματα στις μεθόδους, ενώ στα μεγαλύτερα σχετικά βάθη η επίδραση αυτή μειώνεται σημαντικά και τα σφάλματα είναι μικρότερα.

5.2 Λόγος πλατών ευρείας και κύριας κοίτης B/b

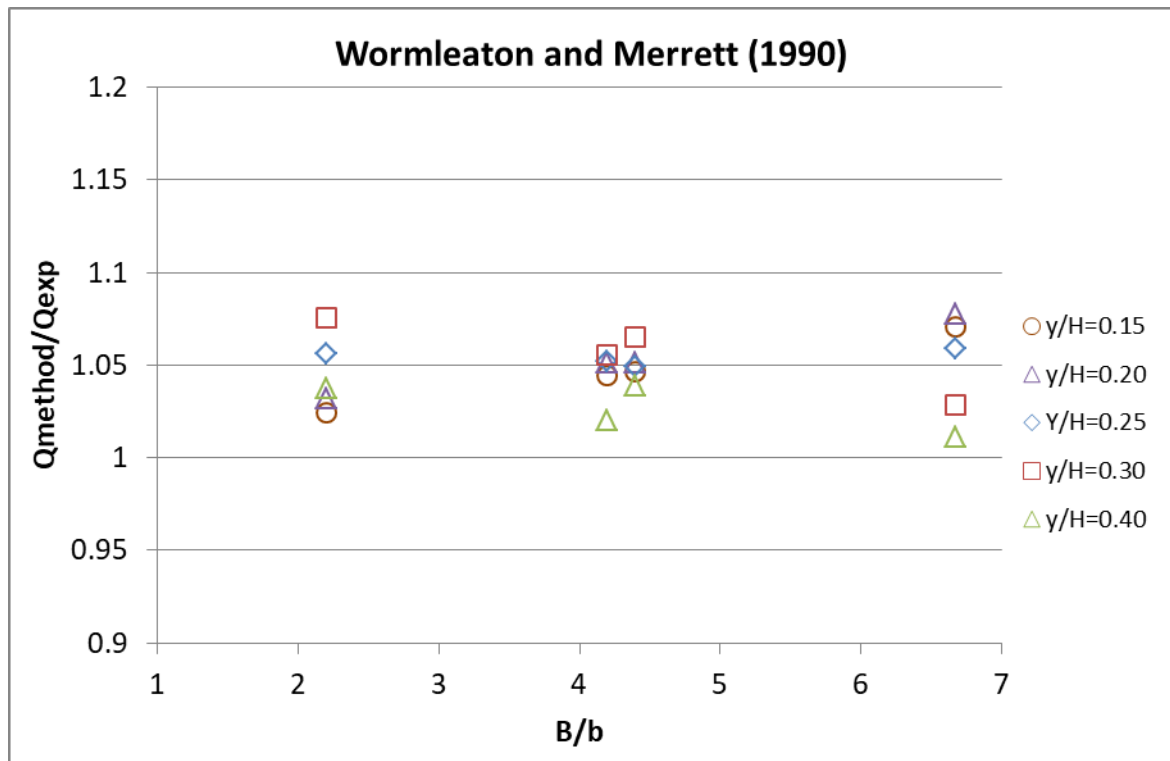
Όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 2, όπου παρουσιάστηκαν οι σχέσεις υπολογισμού της διατμητικής τάσης, ο λόγος των πλατών B/b είναι σημαντική παράμετρος για τον καθώς υπάρχει σε όλες σχεδόν τις σχέσεις (Πίνακας 1). Έχει σημασία όμως να δούμε και την επίδραση του λόγου B/b στην ακρίβεια με την οποία προσεγγίζουν οι μέθοδοι την πειραματική παροχή. Γι' αυτό θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα που έχουν στον οριζόντιο άξονα τον λόγο B/b και στον κατακόρυφο τον λόγο της υπολογιζόμενης από την κάθε μέθοδο παροχής προς την πειραματική, για διάφορα y/H .



Σχήμα 46 – Αποκλίσεις της μεθόδου DCM στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσει του λόγου B/b για τις τραπεζοειδείς διατομές των πειραμάτων του SERC.



Σχήμα 47 - Αποκλίσεις της μεθόδου Moreta and Martin-vide στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσει του λόγου B/b για τις τραπεζοειδείς διατομές των πειραμάτων του SERC.



Σχήμα 48 - Αποκλίσεις της μεθόδου Wormleaton and Merrett στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσει του λόγου B/b για τις τραπεζοειδείς διατομές των πειραμάτων του SERC.

Παρατηρούμε πως ο λόγος B/b φαίνεται να έχει επίδραση στα μικρά μόνο βάθη ($\gamma/H < 0.20$) για τα αποτελέσματα της DCM, ενώ στα μεγαλύτερα βάθη η επίδραση αυτή φαίνεται να είναι αμελητέα. Όπως είδαμε και από τις σχέσεις των διάφορων μεθόδων η διατμητική τάση φαίνεται να είναι ανάλογη του λόγου B/b . Έτσι, στα πιο μικρά βάθη, που η επίδραση της διατμητικής τάσης είναι μεγαλύτερη, φαίνεται οι αποκλίσεις της μεθόδου DCM, που δεν λαμβάνει υπόψη την τάση στη διεπιφάνεια, να αυξάνεται με την αύξηση του λόγου B/b . Στα μεγαλύτερα βάθη η επίδραση αυτή φαίνεται πως μειώνεται σημαντικά και οι αποκλίσεις της DCM παραμένουν σταθερές με την αύξηση του B/b .

Για τη μέθοδο των Moreta and Martin-Vide οι αποκλίσεις στα μικρά βάθη φαίνεται να είναι ανεπηρέαστες από τον λόγο B/b , ενώ στα μεγαλύτερα βάθη φαίνεται να υπάρχει μια μικρή μείωση στις αποκλίσεις με την αύξηση του B/b . Στη μέθοδο των Wormleaton and Merrett με αύξηση του λόγου B/b εμφανίζεται μια μικρή αύξηση των αποκλίσεων για $\gamma/H \leq 0.20$ και μικρή μείωση για $\gamma/H \geq 0.3$, αλλά οι μεταβολές είναι γενικά μικρές.

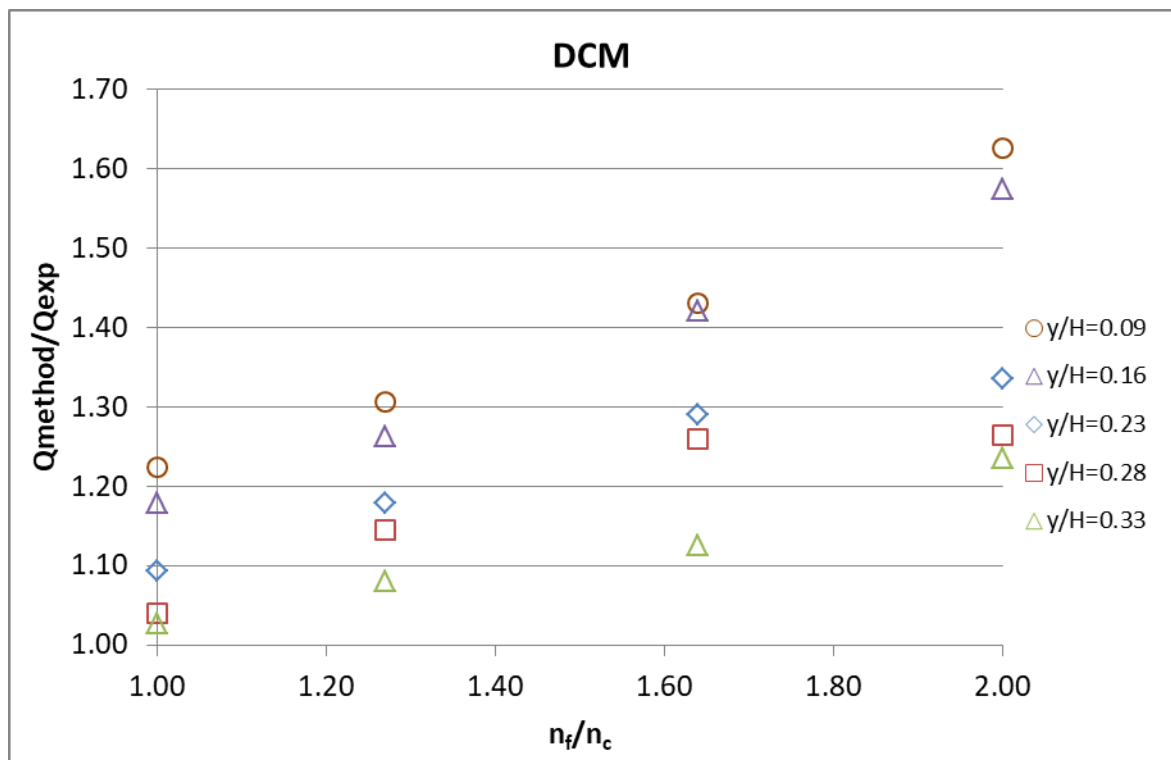
Η σχέση των Moreta and Martin-Vide για τον υπολογισμό της διατμητικής τάσης έχει λάβει ως παράμετρο τον λόγο B/b και των Wormleaton and Merrett το πλάτος της πλημμυρικής κοίτης b_f , οπότε αυτός είναι πιθανότατα και ο λόγος που οι αποκλίσεις, ιδιαίτερα στα μικρά βάθη, μένουν σταθερές με την αύξηση του B/b , ενώ

γενικά ο λόγος B/b δεν φαίνεται να έχει μεγάλη επίδραση στην αποτελεσματικότητα των μεθόδων στην εκτίμηση της παροχής.

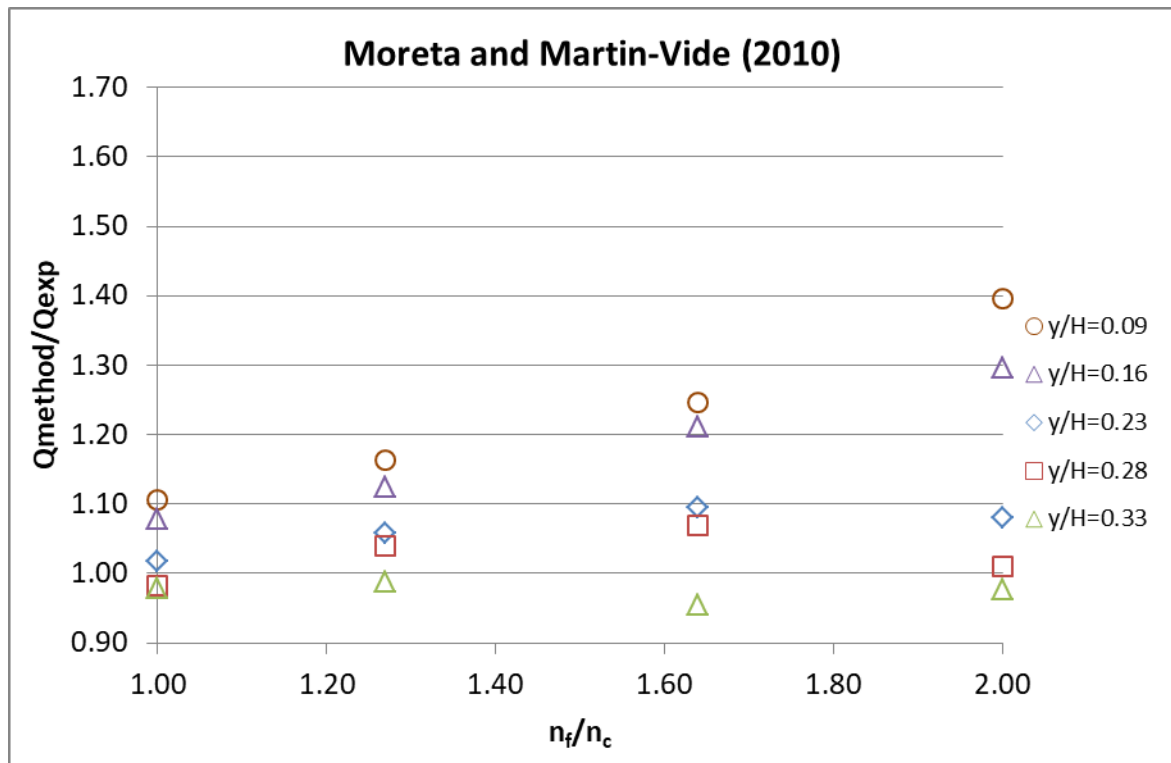
5.3 Σχετική τραχύτητα n_r

Η σχετική τραχύτητα της διατομής n_r εκφράζεται ως ο λόγος της τραχύτητας της πλημμυρικής κοίτης n_f προς την τραχύτητα του κύριου καναλιού n_c . Όπως είδαμε και στα διαγράμματα για την εκτίμηση της παροχής, ο λόγος αυτός φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στην αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων μεθόδων. Αυτό είναι εμφανές και στα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω με τον κατακόρυφο άξονα να δείχνει τον λόγο της παροχής που υπολογίζεται από την μέθοδο προς την πειραματική τιμή και τον οριζόντιο να δείχνει τον λόγο n_r , για διάφορα σχετικά βάθη γ/H . Οι τιμές αφορούν κάθε φορά την ίδια διατομή οπότε οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν σταθερές.

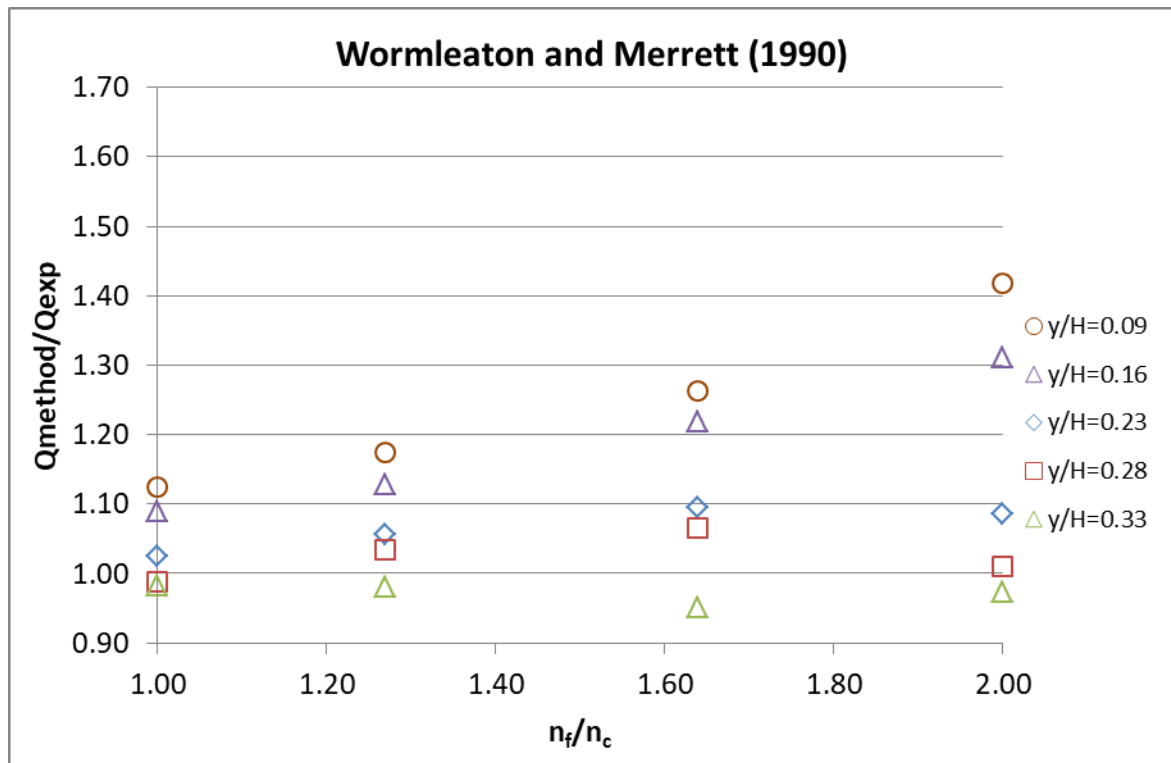
Τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν αφορούν τις μεθόδους DCM, Moreta and Martin-Vide και Wormleaton and Merrett για δυο διαφορετικές διατομές με λόγους B/b ίσους με 5.26 και 3.83 αντίστοιχα.



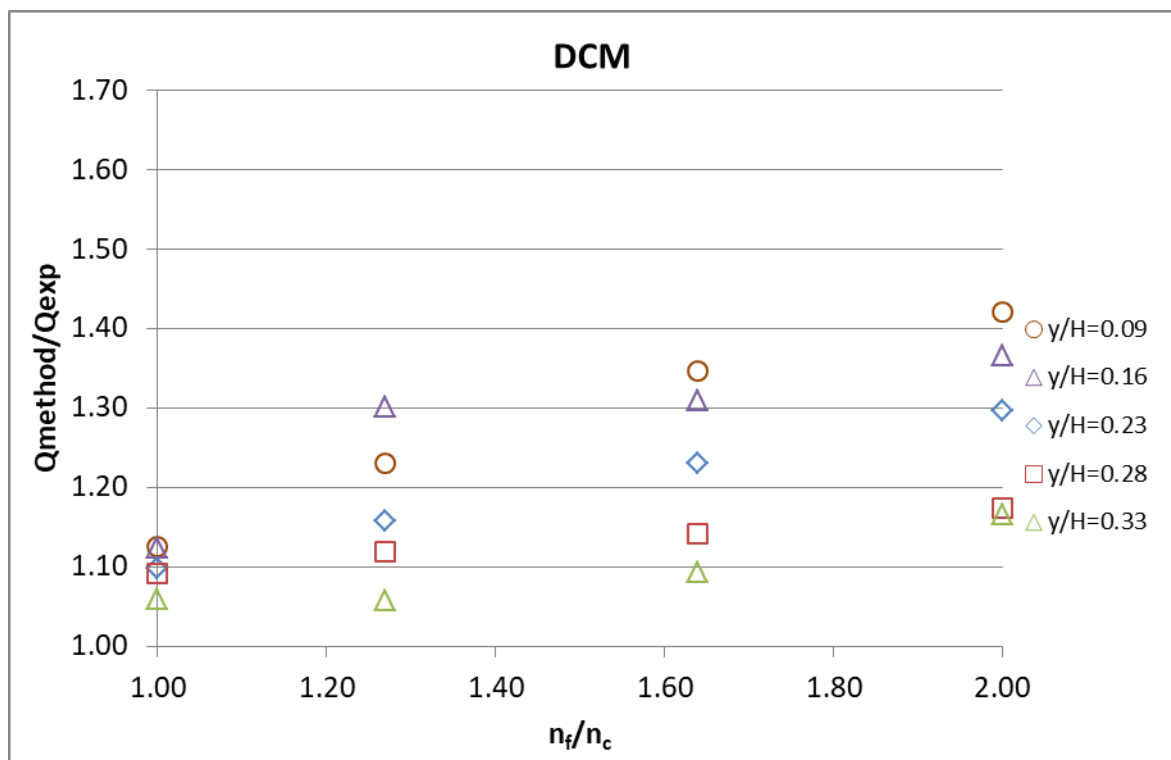
Σχήμα 49 - Αποκλίσεις της μεθόδου DCM στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσει του λόγου n_r για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=5.26$.



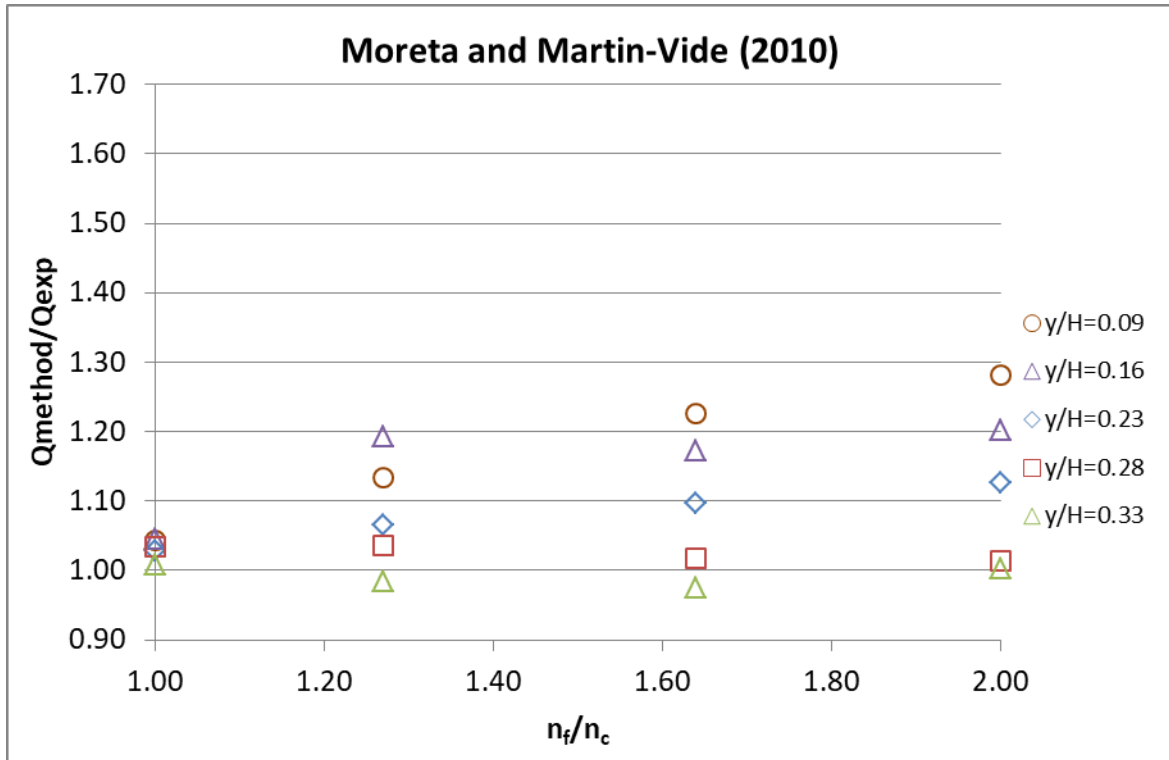
Σχήμα 50 - Αποκλίσεις της μεθόδου Moreta and Martin-Vide στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσει του λόγου n_f για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=5.26$.



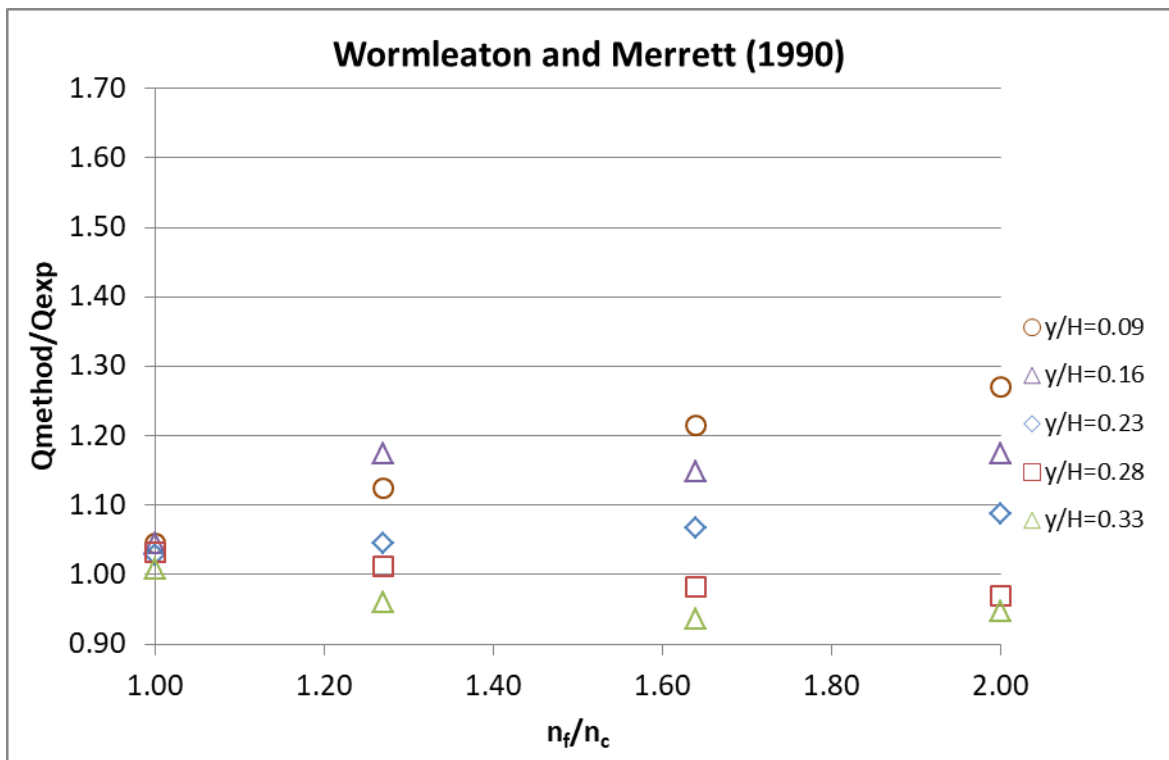
Σχήμα 51 - Αποκλίσεις της μεθόδου Wormleaton and Merrett στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσει του λόγου n_f για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=5.26$



Σχήμα 52 - Αποκλίσεις της μεθόδου DCM στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσει του λόγου n_f για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=3.83$



Σχήμα 53 - Αποκλίσεις της μεθόδου Moreta and Martin-Vide στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσει του λόγου n_f για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=3.83$



Σχήμα 54 - Αποκλίσεις της μεθόδου Wormleaton and Merrett στην εκτίμηση της συνολικής παροχής συναρτήσει του λόγου n_f για την διατομή των πειραμάτων των Prinos and Townsend με λόγο $B/b=3.83$

Στο διάγραμμα για την μέθοδο DCM παρατηρούμε πως υπάρχει μεγάλη εξάρτηση από την διαφορά τραχύτητας μεταξύ κύριου καναλιού και πλημμυρικών κοιτών, καθώς όσο αυξάνεται ο λόγος n_f/n_c αυξάνονται σημαντικά και οι αποκλίσεις της μεθόδου.

Στις μεθόδους των Moreta and Martin-Vide και Wormleaton and Merrett οι αποκλίσεις αυξάνονται με την αύξηση του n_f/n_c στα μικρά σχετικά βάρη, ενώ στα πιο μεγάλα ($\gamma/H > 0.23$) η επίδραση αυτή φαίνεται να μειώνεται σημαντικά.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σύγκριση και η αξιολόγηση των μεθόδων που έγινε στα προηγούμενα κεφάλαια μας οδηγεί στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την αποτελεσματικότητα των μεθόδων εκτίμησης της παροχής αλλά και γενικότερα για τη ροή σε σύνθετες διατομές ανοικτών αγωγών.

Τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

1. Οι συμβατικές μέθοδοι υπολογισμού SCM και DCM εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις στην εκτίμηση της συνολικής παροχής. Η SCM υποεκτιμά την παροχή, ενώ η DCM να την υπερεκτιμά. Στην κατανομή της παροχής η DCM υπερεκτιμά σημαντικά την παροχή που μεταφέρεται από το κύριο κανάλι, ενώ υποεκτιμά την παροχή που μεταφέρουν οι πλημμυρικές κοίτες.
2. Οι συμβατικές μέθοδοι, αν και εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις στα χαμηλά βάθη, βελτιώνονται σημαντικά στην εκτίμηση της συνολικής παροχής σε μεγάλα βάθη. Θα μπορούσαν να εφαρμόζονται για σχετικά βάθη ροής y/H μεγαλύτερα από 0.4.
3. Η διατμητική τάση στην διεπιφάνεια εξαρτάται από τον λόγο των πλατών B/b , το σχετικό βάθος y/H και τη σχετική τραχύτητα n_r . Με αύξηση του λόγου B/b παρατηρείται αύξηση και στον συντελεστή τριβής C_{fa} από τον οποίο εξαρτάται η τάση. Η αύξηση του σχετικού βάθους y/H οδηγεί σε μείωση του συντελεστή στα μικρά βάθη μέχρι τα σχετικά βάθη 0.2-0.3, ενώ στα μεγαλύτερα βάθη ο συντελεστής φαίνεται να είναι ανεξάρτητος του y/H . Η αύξηση του λόγου των τραχυτήτων n_f/n_c φαίνεται να οδηγεί σε μείωση του συντελεστή C_{fa} , όταν η διατμητική τάση είναι εκφρασμένη σαν συνάρτηση του ΔV^2 , και σε αύξησή του όταν εκφραστεί σαν συνάρτηση της διαφοράς των τετραγώνων των ταχυτήτων των επιμέρους τμημάτων. Αυτό οφείλεται στο ότι ο όρος ΔV^2 παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση με την αύξηση της σχετικής τραχύτητας. Γενικά η αύξηση της σχετικής τραχύτητας οδηγεί σε αύξηση της διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια.
4. Οι μέθοδοι των Moreta and Martin-Vide και Chen et al. προσεγγίζουν με πολύ καλή ακρίβεια την συνολική παροχή, εμφανίζουν όμως αποκλίσεις στην εκτίμηση της κατανομής της. Η μέθοδος των Moreta and Martin-Vide εμφανίζει τις μικρότερες αποκλίσεις στην εκτίμηση της συνολικής παροχής και φαίνεται πως έχει εφαρμογή σε όλες τις διαφορετικές διατομές που εξετάστηκαν.

5. Οι μέθοδοι των Wormleaton and Merrett και Christodoulou εμφανίζουν ελαφρά μεγαλύτερες αποκλίσεις στην εκτίμηση της συνολικής παροχής σε σχέση με αυτές των Moreta and Martin-Vide και Chen et al. αλλά είναι πιο αποτελεσματικές στην εκτίμηση της παροχής των πλημμυρικών τμημάτων. Η μέθοδος του Christodoulou φαίνεται να παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις για περιπτώσεις όπου η τραχύτητα των πλημμυρικών τμημάτων είναι μεγαλύτερη από αυτή του κύριου καναλιού.
6. Η μέθοδος των Prinios and Townsend έχει γενικότερα καλή εφαρμογή στα πειράματα μικρής κλίμακας, εμφανίζει όμως μεγάλες αποκλίσεις σε αυτά του SERC.
7. Οι περισσότερες μέθοδοι φαίνεται γενικά να προσεγγίζουν με καλή ακρίβεια την παροχή του κύριου καναλιού, εμφανίζουν όμως σημαντικές αποκλίσεις στην εκτίμηση της παροχής των πλημμυρικών τμημάτων κυρίως για μικρά και μεσαία σχετικά βάθη. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην παραδοχή μονοδιάστατης ροής και στη θεώρηση σταθερής διατμητικής τάσης κατά μήκος της κατακόρυφης ιδεατής διεπιφάνειας, που καθιστά δύσκολη την ακριβή πρόβλεψη της κατανομής της παροχής.
8. Ο λόγος B/b δεν φαίνεται να έχει σημαντική επιρροή στην αποτελεσματικότητα των μεθόδων καθώς οι αποκλίσεις δεν μεταβάλλονται σημαντικά με την αύξηση του B/b . Για την μέθοδο DCM φαίνεται να υπάρχει επιρροή από τον λόγο B/b στα μικρά σχετικά βάθη, καθώς με αύξησή του αυξάνονται και οι αποκλίσεις. Η διατμητική τάση στην διεπιφάνεια φαίνεται πως αυξάνεται με την αύξηση του λόγου B/b και άρα αυξάνονται και τα σφάλματα της μεθόδου DCM που δεν λαμβάνει υπόψη την επίδραση της διατμητικής τάσης. Στα μεγαλύτερα βάθη αυτή η επίδραση μειώνεται αρκετά γι' αυτό και οι αποκλίσεις της DCM δεν διαφέρουν σημαντικά.
9. Ο λόγος της τραχύτητας της πλημμυρικής κοίτης προς την τραχύτητα του κύριου καναλιού n_f/n_c φαίνεται να έχει πολύ μεγάλη επίδραση στην αποτελεσματικότητα των μεθόδων. Με αύξηση του λόγου n_f/n_c , αυξάνονται πολύ οι αποκλίσεις των μεθόδων, ιδιαίτερα στα χαμηλά βάθη. Γενικά για μεγάλες τιμές του λόγου n_f/n_c οι μέθοδοι δεν προσεγγίζουν ικανοποιητικά την συνολική παροχή στα χαμηλά βάθη, ενώ στα μεγαλύτερα βάθη φαίνεται να είναι αρκετά πιο αποτελεσματικές.

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

B = ημιπλάτος διατομής

b = ημιπλάτος κύριου καναλιού

h = ύψος πλημμυρικής κοίτης πάνω από τον πυθμένα

H = συνολικό βάθος ροής

γ = βάθος ροής στις πλημμυρικές κοίτες

Q_c = Παροχή στο κύριο κανάλι

Q_f = Παροχή στη πλημμυρική κοίτη

V_c = Ταχύτητα στο κύριο κανάλι

V_f = Ταχύτητα στη πλημμυρική κοίτη

A_c = Υγρή διατομή κύριου καναλιού

A_f = Υγρή διατομή πλημμυρικής κοίτης

P_c = Βρεχόμενη περίμετρος κύριου καναλιού

P_f = Βρεχόμενη περίμετρος πλημμυρικής κοίτης

R = υδραυλική ακτίνα

τ_a = διατμητική τάση στην διεπιφάνεια

n_c = Συντελεστής τραχύτητας Manning κύριου καναλιού

n_f = Συντελεστής τραχύτητας Manning πλημμυρικής κοίτης

S_o = κλίση πυθμένα καναλιού

ρ = πυκνότητα νερού

w = ειδικό βάρος νερού

C_{fa} = συντελεστής διατμητικής τάσης στην διεπιφάνεια

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παροχών των μεθόδων για κάθε διατομή που εξετάστηκε.

Οι μέθοδοι αναφέρονται ως :

SCM: Single Channel Method

DCM: Divided Channel Method

WM: Wormleaton and Merrett (1990)

PT: Prinos and Townsend (1984)

CHR: Christodoulou (1992)

MMV: Moreta and Martin-Vide (2010)

CHEN: Chen et al. (2016)

ΣΕΙΡΑ 1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ SERC																					
	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ(m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ(m ³ /s)						
γ/H	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN
0.06	0.1119	0.2348	0.2195	0.2308	0.2235	0.2077	0.2008		0.2246	0.2068	0.2199	0.2113	0.1935	0.1859		0.0102	0.0127	0.0110	0.0121	0.0142	0.0149
0.09	0.1469	0.2641	0.2447	0.2588	0.2472	0.2292	0.2289		0.2402	0.2162	0.2334	0.2191	0.1979	0.1975		0.0239	0.0285	0.0253	0.0280	0.0313	0.0314
0.15	0.2204	0.3294	0.3053	0.3251	0.3044	0.2853	0.2919		0.2697	0.2368	0.2636	0.2356	0.2114	0.2196		0.0597	0.0685	0.0615	0.0688	0.0739	0.0723
0.20	0.3051	0.4080	0.3808	0.4042	0.3765	0.3575	0.3679		0.3006	0.2604	0.2947	0.2544	0.2290	0.2427		0.1073	0.1204	0.1095	0.1221	0.1285	0.1252
0.25	0.4096	0.5069	0.4775	0.5035	0.4697	0.4516	0.4639		0.3359	0.2887	0.3300	0.2772	0.2516	0.2688		0.1711	0.1888	0.1735	0.1925	0.2000	0.1951
0.30	0.5566	0.6484	0.6171	0.6453	0.6052	0.5886	0.6014		0.3821	0.3273	0.3761	0.3085	0.2837	0.3028		0.2663	0.2898	0.2692	0.2966	0.3048	0.2986
0.40	0.9771	1.0597	1.0256	1.0568	1.0053	0.9927	1.0021		0.5025	0.4316	0.4959	0.3954	0.3742	0.3899		0.5571	0.5940	0.5609	0.6099	0.6185	0.6122

Πίνακας Π1 – Υπολογισμοί παροχών για την Σειρά 1 του SER

ΣΕΙΡΑ 2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ SERC																					
y/H	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ(m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ(m ³ /s)						
	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MV	CHEN
0.04	0.1145	0.2199	0.2108	0.2102	0.2148	0.2063	0.1995		0.2170	0.2069	0.2062	0.2113	0.2020	0.1946		0.0029	0.0039	0.0040	0.0035	0.0043	0.0048
0.11	0.1739	0.2702	0.2548	0.2640	0.2579	0.2469	0.2485		0.2508	0.2309	0.2426	0.2347	0.2214	0.2233		0.0195	0.0239	0.0215	0.0231	0.0256	0.0253
0.16	0.2207	0.3124	0.2946	0.3070	0.2964	0.2854	0.2896		0.2752	0.2505	0.2675	0.2529	0.2386	0.2441		0.0372	0.0441	0.0395	0.0435	0.0468	0.0456
0.20	0.2718	0.3598	0.3402	0.3549	0.3407	0.3300	0.3358		0.3006	0.2717	0.2931	0.2723	0.2576	0.2656		0.0591	0.0686	0.0618	0.0684	0.0724	0.0703
0.24	0.3399	0.4241	0.4030	0.4196	0.4019	0.3918	0.3986		0.3329	0.2993	0.3253	0.2976	0.2829	0.2928		0.0912	0.1037	0.0943	0.1043	0.1089	0.1059
0.30	0.4495	0.5294	0.5067	0.5253	0.5034	0.4943	0.5015		0.3821	0.3424	0.3744	0.3370	0.3229	0.3341		0.1473	0.1643	0.1509	0.1663	0.1714	0.1674
0.40	0.7298	0.8033	0.7785	0.7996	0.7708	0.7639	0.7697		0.4990	0.4474	0.4905	0.4333	0.4209	0.4313		0.3043	0.3310	0.3091	0.3375	0.3429	0.3384
0.48	1.1026	1.1723	1.1456	1.1687	1.1335	1.1285	1.1311		0.6436	0.5794	0.6339	0.5543	0.5445	0.5494		0.5287	0.5662	0.5348	0.5792	0.5841	0.5816

Πίνακας Π2 - Υπολογισμοί παροχών για την Σειρά 2 του SERC

ΣΕΙΡΑ 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ SERC																					
y/H	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ(m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ(m ³ /s)						
	SCM	DCM	W.M	PT	CHR	MV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MV	CHEN
0.05	0.1623	0.2236	0.2177	0.2110	0.2202	0.2155	0.2130		0.2221	0.2154	0.2080	0.2182	0.2129	0.2103		0.0015	0.0023	0.0029	0.0020	0.0025	0.0028
0.10	0.1886	0.2477	0.2395	0.2379	0.2419	0.2365	0.2367		0.2428	0.2328	0.2309	0.2356	0.2292	0.2294		0.0049	0.0068	0.0070	0.0063	0.0073	0.0073
0.15	0.2272	0.2841	0.2741	0.2761	0.2759	0.2703	0.2724		0.2725	0.2589	0.2615	0.2612	0.2541	0.2568		0.0116	0.0152	0.0146	0.0146	0.0162	0.0156
0.20	0.2687	0.3241	0.3128	0.3169	0.3138	0.3083	0.3116		0.3035	0.2870	0.2928	0.2884	0.2810	0.2854		0.0206	0.0258	0.0241	0.0254	0.0274	0.0262
0.24	0.3088	0.3632	0.3510	0.3565	0.3512	0.3461	0.3499		0.3329	0.3139	0.3221	0.3142	0.3068	0.3123		0.0303	0.0371	0.0344	0.0370	0.0393	0.0376
0.30	0.3819	0.4355	0.4219	0.4292	0.4210	0.4162	0.4207		0.3853	0.3622	0.3741	0.3607	0.3534	0.3602		0.0502	0.0597	0.0551	0.0603	0.0629	0.0605
0.40	0.5410	0.5949	0.5791	0.5889	0.5756	0.5716	0.5766		0.4955	0.4647	0.4830	0.4584	0.4516	0.4601		0.0994	0.1144	0.1059	0.1172	0.1200	0.1164
0.50	0.8350	0.8931	0.8734	0.8867	0.8647	0.8618	0.8672		0.6910	0.6466	0.6753	0.6294	0.6238	0.6341		0.2021	0.2269	0.2114	0.2353	0.2380	0.2331

Πίνακας Π3 - Υπολογισμοί παροχών για την Σειρά 3 του SERC

ΣΕΙΡΑ 8 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ SERC																					
y/H	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ(m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ(m ³ /s)						
	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN
0.05	0.1077	0.2012	0.1913	0.1927	0.1955	0.1874	0.1830		0.1783	0.1966	1.0370	1.0522	1.0085	0.9847		0.0046	0.0061	0.7832	0.7325	0.8673	0.9291
0.10	0.1453	0.2318	0.2181	0.2255	0.2219	0.2126	0.2130		0.1879	0.2156	1.0925	1.0752	1.0303	1.0322		0.0162	0.0199	0.9775	1.0273	1.1388	1.1345
0.15	0.1921	0.2725	0.2565	0.2673	0.2593	0.2501	0.2531		0.2028	0.2375	1.1225	1.0890	1.0503	1.0627		0.0350	0.0412	1.0552	1.1401	1.2227	1.1977
0.20	0.2495	0.3245	0.3070	0.3200	0.3086	0.3000	0.3042		0.2220	0.2626	1.1263	1.0865	1.0561	1.0709		0.0618	0.0709	1.0387	1.1296	1.1871	1.1601
0.25	0.3188	0.3888	0.3703	0.3848	0.3708	0.3630	0.3676		0.2431	0.2912	1.1186	1.0781	1.0554	1.0687		0.0976	0.1097	0.9986	1.0851	1.1250	1.1022
0.30	0.4146	0.4796	0.4605	0.4759	0.4597	0.4529	0.4572		0.2719	0.3285	1.1139	1.0759	1.0601	1.0700		0.1511	0.1668	0.9950	1.0765	1.1043	1.0873
0.40	0.6755	0.7318	0.7124	0.7286	0.7093	0.7047	0.7064		0.3502	0.4223	1.0557	1.0277	1.0210	1.0235		0.3095	0.3328	0.9234	0.9877	1.0002	0.9958
0.50	1.1314	1.1797	1.1607	1.1769	1.1555	1.1529	1.1495		0.4683	0.5723	1.0666	1.0472	1.0449	1.0418		0.6074	0.6406	0.9656	1.0199	1.0252	1.0319

Πίνακας Π4 - Υπολογισμοί παροχών για την Σειρά 8 του SERC

ΣΕΙΡΑ 10 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ SERC																					
y/H	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ(m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ(m ³ /s)						
	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN
0.05	0.1371	0.2430	0.2331	0.2349	0.2367	0.2278	0.2229		0.2384	0.2271	0.9922	0.9997	0.9618	0.9413		0.0046	0.0061	0.6187	0.5931	0.7094	0.7622
0.10	0.1814	0.2814	0.2675	0.2753	0.2702	0.2597	0.2603		0.2652	0.2476	1.0480	1.0285	0.9887	0.9907		0.0162	0.0199	1.1208	1.2018	1.3430	1.3364
0.15	0.2362	0.3312	0.3146	0.3261	0.3159	0.3052	0.3088		0.2962	0.2732	1.0849	1.0508	1.0153	1.0274		0.0350	0.0414	1.0626	1.1703	1.2637	1.2335
0.20	0.2967	0.3878	0.3693	0.3832	0.3690	0.3587	0.3640		0.3286	0.3010	1.0905	1.0502	1.0206	1.0359		0.0591	0.0683	0.9845	1.0913	1.1555	1.1235
0.25	0.3833	0.4704	0.4502	0.4662	0.4480	0.4382	0.4447		0.3728	0.3398	1.0868	1.0442	1.0215	1.0366		0.0976	0.1104	0.9517	1.0550	1.0996	1.0706
0.30	0.4939	0.5775	0.5558	0.5736	0.5514	0.5426	0.5494		0.4264	0.3878	1.0989	1.0564	1.0395	1.0525		0.1511	0.1681	0.9570	1.0575	1.0897	1.0653
0.40	0.7841	0.8627	0.8386	0.8591	0.8297	0.8227	0.8284		0.5584	0.5079	1.0645	1.0280	1.0194	1.0264		0.3043	0.3308	0.9225	1.0108	1.0274	1.0140
0.46	1.0933	1.1696	1.1437	1.1661	1.1307	1.1253	1.1286		0.6908	0.6297	1.0660	1.0337	1.0287	1.0317		0.4788	0.5140	0.9519	1.0367	1.0470	1.0408

Πίνακας Π5 - Υπολογισμοί παροχών για την Σειρά 10 του SERC

ΣΕΙΡΑ 1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ KNIGHT AND DEMETRIΟΥ

y/H	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ(m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ(m ³ /s)						
	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN
0.11	0.0043	0.0051	0.0049	0.0040	0.0049	0.0049	0.0049		0.0049	0.0047	0.0036	0.0047	0.0047	0.0047		0.0002	0.0002	0.0004	0.0002	0.0002	0.0002
0.20	0.0057	0.0064	0.0062	0.0056	0.0061	0.0062	0.0062		0.0058	0.0055	0.0048	0.0054	0.0055	0.0056		0.0005	0.0007	0.0009	0.0007	0.0007	0.0006
0.24	0.0066	0.0072	0.0070	0.0066	0.0070	0.0070	0.0071		0.0064	0.0061	0.0054	0.0060	0.0061	0.0061		0.0008	0.0010	0.0012	0.0010	0.0010	0.0009
0.33	0.0088	0.0094	0.0092	0.0089	0.0091	0.0092	0.0093		0.0079	0.0074	0.0068	0.0072	0.0074	0.0075		0.0015	0.0018	0.0020	0.0019	0.0018	0.0017
0.40	0.0110	0.0117	0.0114	0.0111	0.0112	0.0114	0.0115		0.0094	0.0088	0.0082	0.0084	0.0087	0.0089		0.0023	0.0026	0.0029	0.0028	0.0026	0.0026
0.49	0.0155	0.0165	0.0160	0.0157	0.0155	0.0159	0.0161		0.0126	0.0116	0.0109	0.0106	0.0114	0.0117		0.0039	0.0045	0.0048	0.0049	0.0046	0.0044

Πίνακας Π6 - Υπολογισμοί παροχών για την Σειρά 1 των Knight and Demetriou

ΣΕΙΡΑ 2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ KNIGHT AND DEMETRIΟΥ

y/H	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ(m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ(m ³ /s)						
	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN
0.13	0.0047	0.0057	0.0054	0.0050	0.0054	0.0054	0.0054		0.0051	0.0048	0.0042	0.0047	0.0047	0.0048		0.0005	0.0006	1.3400	1.1218	1.1200	1.0946
0.21	0.0065	0.0073	0.0071	0.0068	0.0070	0.0070	0.0071		0.0060	0.0056	0.0052	0.0055	0.0055	0.0056		0.0013	0.0015	1.1553	1.0898	1.0654	1.0486
0.25	0.0076	0.0083	0.0081	0.0079	0.0080	0.0081	0.0081		0.0065	0.0060	0.0058	0.0059	0.0060	0.0061		0.0018	0.0020	1.0474	1.0150	0.9885	0.9781
0.32	0.0104	0.0110	0.0108	0.0107	0.0107	0.0108	0.0108		0.0078	0.0072	0.0070	0.0071	0.0072	0.0073		0.0032	0.0035	0.9586	0.9556	0.9284	0.9273
0.39	0.0139	0.0144	0.0143	0.0142	0.0142	0.0143	0.0142		0.0093	0.0087	0.0086	0.0085	0.0087	0.0087		0.0051	0.0055	0.9341	0.9426	0.9162	0.9205
0.49	0.0213	0.0218	0.0216	0.0216	0.0214	0.0216	0.0216		0.0125	0.0118	0.0116	0.0113	0.0118	0.0116		0.0093	0.0098	0.8912	0.9098	0.8841	0.8918

Πίνακας Π7 - Υπολογισμοί παροχών για την Σειρά 2 των Knight and Demetriou

ΣΕΙΡΑ 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ KNIGHT AND DEMETRIΟΥ

y/H	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΚΥΡΙΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ(m ³ /s)							ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ(m ³ /s)						
	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN	SCM	DCM	W.M	PT	CHR	MMV	CHEN
0.11	0.0041	0.0054	0.0051	0.0048	0.0051	0.0051	0.0051		0.0049	0.0045	0.0040	0.0044	0.0044	0.0044		0.0005	0.0007	0.0008	0.0007	0.0007	0.0007
0.21	0.0069	0.0079	0.0076	0.0075	0.0075	0.0075	0.0076		0.0059	0.0054	0.0053	0.0053	0.0054	0.0054		0.0019	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022
0.26	0.0089	0.0097	0.0094	0.0094	0.0093	0.0094	0.0094		0.0066	0.0061	0.0060	0.0059	0.0060	0.0061		0.0030	0.0033	0.0034	0.0034	0.0033	0.0033
0.33	0.0130	0.0135	0.0133	0.0133	0.0132	0.0133	0.0133		0.0080	0.0074	0.0074	0.0072	0.0074	0.0074		0.0055	0.0059	0.0059	0.0060	0.0059	0.0059
0.40	0.0180	0.0184	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182		0.0096	0.0090	0.0091	0.0088	0.0091	0.0089		0.0088	0.0092	0.0092	0.0094	0.0092	0.0093
0.51	0.0294	0.0297	0.0295	0.0295	0.0295	0.0296	0.0295		0.0131	0.0125	0.0126	0.0123	0.0126	0.0122		0.0165	0.0170	0.0170	0.0172	0.0170	0.0173

Πίνακας Π8 - Υπολογισμοί παροχών για την Σειρά 3 των Knight and Demetriou

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ PRINOS AND TOWNSEND ΓΙΑ $B/b=5.26$								
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m^3/s)						
nr	y/H	SCM	DCM	WM	PT	CHR.	MMV	CHEN
1	0.09	0.0056	0.0081	0.0074	0.0066	0.0074	0.0073	0.0074
	0.16	0.0085	0.0106	0.0098	0.0096	0.0096	0.0097	0.0099
	0.23	0.0117	0.0137	0.0128	0.0128	0.0125	0.0127	0.0130
	0.28	0.0154	0.0172	0.0163	0.0164	0.0158	0.0162	0.0164
	0.33	0.0194	0.0210	0.0202	0.0204	0.0196	0.0201	0.0203
1.27	0.09	0.0047	0.0080	0.0072	0.0063	0.0071	0.0071	0.0072
	0.16	0.0072	0.0102	0.0091	0.0089	0.0087	0.0091	0.0093
	0.23	0.0099	0.0130	0.0116	0.0118	0.0107	0.0116	0.0119
	0.28	0.0130	0.0160	0.0145	0.0149	0.0131	0.0146	0.0149
	0.33	0.0164	0.0194	0.0177	0.0183	0.0156	0.0178	0.0181
1.64	0.09	0.0039	0.0079	0.0069	0.0060	0.0068	0.0069	0.0069
	0.16	0.0059	0.0099	0.0085	0.0084	0.0078	0.0085	0.0088
	0.23	0.0082	0.0124	0.0105	0.0109	0.0089	0.0105	0.0110
	0.28	0.0107	0.0151	0.0128	0.0136	0.0098	0.0128	0.0135
	0.33	0.0135	0.0181	0.0153	0.0166	0.0097	0.0154	0.0162
2	0.09	0.0033	0.0078	0.0068	0.0058	0.0067	0.0067	0.0068
	0.16	0.0050	0.0098	0.0081	0.0080	0.0072	0.0080	0.0085
	0.23	0.0069	0.0120	0.0098	0.0103	0.0075	0.0097	0.0104
	0.28	0.0091	0.0145	0.0116	0.0128	0.0063	0.0116	0.0126
	0.33	0.0114	0.0173	0.0136	0.0154	0.0050	0.0137	0.0149

Πίνακας Π9 - Υπολογισμοί παροχών για την διατομή των *Prinos and Townsend* με $B/b=5.26$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ PRINOS AND TOWNSEND ΓΙΑ $B/b=3.83$								
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m^3/s)						
n_r	y/H	SCM	DCM	WM	PT	CHR	MMV	CHEN
1	0.09	0.0083	0.0119	0.0111	0.0098	0.0113	0.0111	0.0112
	0.16	0.0118	0.0151	0.0140	0.0135	0.0141	0.0140	0.0143
	0.23	0.0158	0.0188	0.0176	0.0175	0.0175	0.0176	0.0179
	0.28	0.0201	0.0229	0.0217	0.0218	0.0215	0.0217	0.0220
	0.33	0.0248	0.0275	0.0262	0.0264	0.0259	0.0262	0.0265
1.27	0.09	0.0071	0.0118	0.0108	0.0094	0.0110	0.0109	0.0109
	0.16	0.0101	0.0147	0.0133	0.0128	0.0132	0.0135	0.0137
	0.23	0.0135	0.0181	0.0163	0.0163	0.0160	0.0166	0.0169
	0.28	0.0172	0.0218	0.0197	0.0201	0.0191	0.0202	0.0205
	0.33	0.0212	0.0259	0.0235	0.0242	0.0224	0.0241	0.0244
1.64	0.09	0.0060	0.0117	0.0106	0.0091	0.0108	0.0107	0.0107
	0.16	0.0085	0.0144	0.0126	0.0122	0.0125	0.0129	0.0131
	0.23	0.0113	0.0175	0.0151	0.0153	0.0145	0.0156	0.0160
	0.28	0.0143	0.0209	0.0180	0.0187	0.0166	0.0186	0.0191
	0.33	0.0176	0.0246	0.0211	0.0224	0.0186	0.0219	0.0225
2	0.09	0.0051	0.0117	0.0104	0.0089	0.0106	0.0105	0.0105
	0.16	0.0072	0.0142	0.0122	0.0118	0.0120	0.0125	0.0128
	0.23	0.0096	0.0171	0.0144	0.0147	0.0134	0.0149	0.0153
	0.28	0.0122	0.0203	0.0168	0.0178	0.0147	0.0175	0.0181
	0.33	0.0150	0.0238	0.0193	0.0211	0.0155	0.0204	0.0212

Πίνακας Π0 - Υπολογισμοί παροχών για την διατομή των Prinos and Townsend με $B/b=3.83$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική :

- 1) Νουτσόπουλος Γ., Χριστοδούλου Γ., Παπαθανασιάδης Τ. (2010). Υδραυλική Ανοικτών Αγωγών. Εκδόσεις Φούντα.
- 2) Παπακωνσταντής Η. (2003). Υπολογιστική μελέτη της ροής σε αγωγούς σύνθετης διατομής. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. ΕΜΠ.
- 3) Παπακωνσταντής Η. και Χριστοδούλου Γ. (2003). Επίδραση γεωμετρικών παραμέτρων στην εκτίμηση της παροχής σε αγωγούς σύνθετης διατομής. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης.

Ξένα :

- 1) Ackers P. (1993). Flow formulae for straight two-stage channels. J Hydraul Res 31, 509-531.
- 2) Chen Z., Chen Q. & Jiang L. (2016). Determination of apparent shear stress and its application in compound channels. Procedia Engineering, 154
- 3) Chow V.T. (1959). Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.
- 4) Christodoulou G.C. (1992). Apparent shear stress in smooth compound channels. Water Resour Manag 6, 235-247.
- 5) HR Wallingford (1992). SERC Flood Control Facility, Experimental Data – Phase A.
- 6) Huthoff F., Roos P.C., Augustijn D.C.M. and Hulscher S.J.M.H (2008). Interacting divided channel method for compound channel flow. J Hydraul Eng-Asce, 134: 1158.
- 7) Knight D. A. and Hamed M. E., 1984, Boundary shear in symmetrical compound channels, J. Hydr. Eng., ASCE, 110(10), 1412-1430.
- 8) Knight D.A. and Sellin R. H. J., (1987). The SERC Flood Channel Facility, Presented at the Winter Meeting of the River Engineering Section, Institution of Water Engineers and Managers, London.
- 9) Knight D.W., Demetriou J.D. (1983). Flood plain and main channel flow interaction. J. Hydraulic Eng. 109(8), 1073–1092.
- 10) Moreta P.J.M, Martin-Vide J.P (2010). Apparent friction coefficient in straight compound channels. J Hydraul Res 48, 169-177.

- 11) Myers W. (1978). Momentum transfer in a compound channel. J Hydraul Res 16, 139-150
- 12) Myers W. R. C., (1987). Velocity and discharge in compound channels, J. Hydr. Eng., ASCE U3(6), 753-766.
- 13) Prinos P., Townsend R.D. (1984) Comparison of methods for predicting discharge in compound open channels. Adv Water Res 7, 180- 7.
- 14) Radojkovic M., Djordjevic S. (1985). Computation of discharge distribution in compound channels. pp. 367-371.
- 15) SELLIN R. J. H. (1964), A Laboratory Investigation into the Interaction between Flow in the Channel of a River and that of its Floodplain, La Houille Blanche, No. 7, pp. 793-801.
- 16) Wormleaton P. R., Allen, J., and Hadjipanous, P., (1982). Discharge assessment in compound channel flow, J. Hydr. Div., ASCE 108(9), 975-993.
- 17) Wormleaton P.R., Merrett D.J. (1990). An improved method of calculation for steady uniform flow in prismatic main channel/flood plain sections. J Hydraul Res 28, 157-174.