

Προεκτίμηση Κόστους και Απαιτούμενων Ποσοτήτων Υλικών για την Κατασκευή Άνω Διαβάσεων

Φανή Αντωνίου

*Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Διευθύντρια Εποπτείας Έργων Ανατολικού Τομέα της Εγνατία Οδός Α.Ε.,
fanton@egnatia.gr*

Δημήτριος Κωνσταντινίδης

*Καθηγητής Αλεξάνδρειου ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Πρόεδρος Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.,
dkon@cie.teithe.gr*

Γεώργιος Αρετούλης

Επίκουρος Καθηγητής ΑΠΘ, garet@civil.auth.gr

Εισαγωγή

Με δεδομένο ότι οι μεταφορές προσωπικού και προϊόντων βρίσκονται στον πυρήνα όλων των σύγχρονων οικονομιών, η δημιουργία ενός επαρκούς δικτύου μεταφορών αποτελεί για όλα τα κράτη σημαντική προτεραιότητα. Μεγάλα κρατικά κονδύλια διατίθενται στις αναπτυγμένες χώρες για την κατασκευή και τη συντήρηση των υποδομών μεταφορών. Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το δίκτυο αυτοκινητοδρόμων επεκτάθηκε κατά 5% την περίοδο 2006-2010 σύμφωνα με την Eurostat μέσα από την χρηματοδότηση των Διευρωπαϊκών Δικτύων με €47.5 δισεκατομμύρια, ενώ και στις ΗΠΑ, σύμφωνα με το American Road and Transportation Builders Association η αξία των κατασκευαστικών έργων σε γέφυρες συνέχισε να έχει αυξητική τάση και ανήλθε στο ιστορικό υψηλό των €27 δισεκατομμυρίων αντιπροσωπεύοντας το 22% των επενδύσεων στις μεταφορές (ARTBA, 2014). Στην Ελλάδα για την περίοδο 2014-2020 προγραμματίζονται επενδύσεις €4 δισεκατομμυρίων για την κατασκευή υποδομών μεταφορών μέσα από Τομεακά, Περιφερειακά κι άλλα προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή γεφυρών διαδραματίζει σημαντικότατο ρόλο στη διαδικασία ανάπτυξης ενός βιώσιμου συστήματος μεταφορών όχι μόνο όταν πρόκειται για μεγάλες γέφυρες, αλλά και μικρότερες, όπως άνω και κάτω διαβάσεις που ενώ ενδέχεται να μην παρουσιάζουν σημαντική τεχνική δυσκολία στην υλοποίησή τους, αποτελούν εντούτοις το κλειδί για τη διατήρηση της καλής προόδου του χρονοδιαγράμματος της κατασκευής, ευρισκόμενα πάντοτε την κορυφή των συνολικών χρονοδιαγραμμάτων ενός έργου. Δεδομένης της εύκολης δημόσιας κριτικής που ασκείται στα έργα κατασκευής γεφυρών με την οικονομία, τη λειτουργικότητα και την αισθητική τους να αποτελούν αποφασιστικές παραμέτρους για την κοινωνική αποδοχή τους, οι επικεφαλές των έργων συχνά έχουν πολύ λίγες πληροφορίες και χρόνο για αναλύσεις προκειμένου να επιτύχουν μια λεπτή ισορροπία μεταξύ όλων των παραπάνω παραγόντων. Συγκριτικές μελέτες σχετικές με τις δαπάνες κατασκευής έργων γεφυρών είναι διεθνώς ιδιαίτερος σπάνιος, κυρίως λόγω της έλλειψης ευρείας, αξιόπιστης και ομοιογενούς βάσης δεδομένων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία αναλυτική πρόταση για την έγκαιρη εκτίμηση του κόστους και των απαιτούμενων ποσοτήτων για την κατασκευή γεφυρών στην Ελλάδα, βασισμένη στην

στατιστική επεξεργασία πραγματικών δεδομένων από την κατασκευή των γεφυρών του αυτοκινητοδρόμου της Εγνατίας Οδού κατά την προηγούμενη δεκαετία προκειμένου να βοηθήσει τα ενδιαφερόμενα μέρη του κλάδου της κατασκευής γεφυρών στην επιλογή της οικονομικότερης λύσης μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο της αποτυχίας και της απώλειας χρηματοδότησης.

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η σημαίνουσα αξία της κατασκευής γεφυρών σε ένα οδικό έργο διερευνήθηκε από τους Μαραβά και Κωνσταντινίδη (2003) για το έργο του αυτοκινητοδρόμου της Εγνατίας Οδού, όπου διαπιστώθηκε ότι επί συνολικής επένδυσης €7 δισεκατομμυρίων το κόστος των γεφυρών αντιπροσώπευε από μόνο του το 20% αυτού, μολονότι το συνολικό μήκος τους ήταν το 6% του συνολικού μήκους του αυτοκινητοδρόμου των 670 km. Από αυτό το κόστος, το μεγαλύτερο ποσοστό 35% έως 53% οφείλονταν στις εργασίες κατασκευής της ανωδομής ανάλογα με την μεθοδολογία κατασκευής. Επομένως, η οποιαδήποτε πρόταση για την προεκτίμηση του κόστους κατασκευής και των απαραίτητων υλικών εξαρτάται άμεσα από τον τύπο της γέφυρας, τον τύπο του καταστρώματος της ανωδομής, την κατασκευαστική μέθοδο και τον κανονισμό βάσει του οποίου γίνεται η μελέτη της.

Οι Lambropoulos et al. (2004) αναλύοντας τα στοιχεία από 7 γέφυρες της Εγνατίας Οδού που κατασκευάστηκαν με την μέθοδο της προβολοδόμησης υπολόγισαν τις μέσες τιμές των απαιτούμενων ποσοτήτων σκυροδέματος ανά επιφάνεια καταστρώματος ($0.86\text{m}^3/\text{m}^2$), σιδηρού οπλισμού ανά κυβικό μέτρο ($162\text{kg}/\text{m}^3$) και προεντεταμένου σκυροδέματος ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος της ανωδομής ($52\text{kg}/\text{m}^3$).

Ο Benaim (2008) αναλύοντας δεδομένα από γέφυρες που σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τον κανονισμό του Ηνωμένου Βασιλείου παρουσίασε χαρακτηριστικά ποσοστά οπλισμού σε καταστρώματα γεφυρών συμπεριλαμβανομένου γεφυρών από συμπαγείς πλάκες ($45\text{-}60\text{kg}/\text{m}^3$), πλακών με διάκενα ($110\text{kg}/\text{m}^3$), πλακών με νευρώσεις ($120\text{kg}/\text{m}^3$), προκατασκευασμένων δοκών διατομής T ($110\text{-}130\text{kg}/\text{m}^3$), και διατομής κιβωτίου με άνοιγμα μικρότερο από 80m ($150\text{-}180\text{ kg}/\text{m}^3$) και μεγαλύτερο από 80m ($120\text{-}160\text{ kg}/\text{m}^3$).

Οι Antoniou et. al. (2015, 2016, 2017) παρουσίασαν για την περίπτωση οδικών γεφυρών άνω και κάτω διαβάσεων το συνολικό κόστος και την κατανομή του σε διάφορες δραστηριότητες, τις απαιτούμενες ποσότητες υλικών (σκυρόδεμα και χάλυβα οπλισμού), καθώς και για χωματουργικές εργασίες (εκσκαφές, βελτίωση εδάφους και επιχωματώσεις), στεγανώσεις, διαμόρφωσης αρμών και σύστημα αποχέτευσης. Στις αναλυτικές προτάσεις που παρουσιάστηκαν συσχετίστηκαν τα μεγέθη, για πρώτη φορά στην βιβλιογραφία, εκτός από την επιφάνεια της γέφυρας και με το θεωρητικό όγκο της γέφυρας.

Αρκετές άλλες έρευνες επικεντρώνονται στην βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των οδικών γεφυρών από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα όσον αφορά το κόστος και τη γεωμετρία των δομικών στοιχείων, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις αναπτύσσοντας προγράμματα H/Y (Miles and Moore, 1991, Philbey et al., 1993, Lounis and Cohn, 1993, Cohn and Lounis, 1994, Aparicio et al., 1996, Moore et al., 1997, Sarma and Adeli, 1998, Sirca and Adeli, 2005, and Fragkakis et. al., 2014).

Μεθοδολογία

Για να καταδειχθεί η διαφορά στο κόστος κατασκευής άνω διαβάσεων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία από 57 γέφυρες του αυτοκινητόδρομου της Εγνατίας Οδού, που αποτελεί τμήμα των Διευρωπαϊκών Δικτύων Μεταφορών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει το όνομα, την περιοχή, την χιλιομετρική θέση (Χ.Θ) και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γεφυρών, οι οποίες κατασκευάστηκαν όλες με την μέθοδο των παραδοσιακών ικριωμάτων. Ο σχεδιασμός των γεφυρών έγινε σύμφωνα με του Γερμανικούς Κανονισμούς DIN και τους Ελληνικούς Κανονισμούς όσον αφορά τον σχεδιασμό έναντι σεισμού.

Ο φορέας της ανωδομής σε 11 περιπτώσεις ήταν ολόσωμος, σε 6 πλάκα με διάκενα, σε 24 προεντεταμένη πλάκα με διακενά και σε 6 προεντεταμένο μονοκυβελικό κιβώτιο. Η διατομή των μεσοβάθρων στην πλειοψηφία τους ήταν κυκλική με διάμετρο που κυμαίνονταν από 1.60m έως 2.30m και σε λίγες περιπτώσεις δίδυμες κυκλικές με διάμετρο 1.20m έκαστη. Σε σύνολο 57 γεφυρών, οι 7 ήταν ενός ανοίγματος, οι 16 δύο ανοιγμάτων και 34 τριών ανοιγμάτων.

Στην βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε εκτός από τα τεχνικά και γεωμετρικά στοιχεία καταγράφηκαν οι επιμετρημένες ποσότητες των υλικών, οι συμβατικές τιμές μονάδας και η δαπάνη ανά άρθρο τιμολογίου. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι οι παραπάνω γέφυρες κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές περιόδους μεταξύ 1996 έως 2003, οι εγγραφές κόστους αναπροσαρμόστηκαν στις τιμές του δευτέρου τριμήνου του 2015 σύμφωνα με το μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής του εναρμονισμένου δείκτη τιμών καταναλωτή που καταγράφηκε από την Eurostat, 2015.

Το συνολικό κόστος κατασκευής για κάθε γέφυρα αποτελείται από το κόστος για τη θεμελίωση (foundation), την υποδομή (substructure), την ανωδομή (superstructure) και τα εξαρτήματα (accessories). Το κόστος θεμελίωσης, περιλαμβάνει τις δαπάνες για την κατασκευή των θεμελιών των ακροβάθρων και μεσοβάθρων, προσωρινών εργασιών για την σταθεροποίηση/προστασία πρανών, τη βελτίωση του εδάφους, χωματουργικών εργασιών και γενικά όλες τις απαραίτητες εργασίες για την ασφαλή πρόσβαση στο εργοτάξιο. Το κόστος της υποδομής, περιλαμβάνει την κατασκευή των ακροβάθρων και μεσοβάθρων, ενώ το κόστος της ανωδομής αφορά το κατάστρωμα της γέφυρας. Τέλος, το κόστος των εξαρτημάτων αφορά τα εφέδρανα, τους αρμούς, το σύστημα αποχέτευσης/αποστράγγισης, τα στηθαία ασφαλείας, μόνωσης και ασφαλικών.

Αποτελέσματα και Προτεινόμενες Αναλυτικές Σχέσεις

Στο Σχ. 1, παρουσιάζεται το συνολικό κόστος ανά επιφάνεια για καθμία άνω διάβαση, με μέσο κόστος για όλες το ποσό των 810 €/m². Όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 2, η πλέον οικονομική άνω διάβαση με κόστος 708 €/m² (μέσος όρος από 34 γέφυρες) είναι αυτή με τρία ανοίγματα, λόγω της εκμετάλλευσης του δομικού συστήματος που δίνει τη δυνατότητα για μικρότερα πάχη ανωδομής. Ακολούθως, πιο οικονομικές είναι οι ολόσωμες με 788€/m² (μέσος όρος από 11 γέφυρες). Όπως ήταν αναμενόμενο, οι πιο δαπανηρές ήταν οι άνω διαβάσεις ενός ανοίγματος με 1246 €/m² (μέσος όρος από 7 γέφυρες), ενώ για τους υπόλοιπους τρεις τύπους τα κόστη ήταν παρεμφερή.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Άνω Διαβάσεων Αυτοκινητοδρόμου Εγνατίας Οδού

No	Περιοχή	Όνομα Κατασκευής Χ.Θ.	Διάταξη Ανοιγμάτων (m)	Συνολικό Μήκος (m)		Πλάτος Καταστρ. (m)	Τύπος Κατάστρ.	Ελάχ. Ύψος Βάθρ. (m)	Μεγ. Ύψος Βάθρ. (m)	Έτος Κατασκ.
				L	W					
1	4.2.2/4	Koila 42+837	27.50+45.00+27.50	100.00	29.50	ss ¹	5.46	5.83	2001	
2	4.2.2/4	Kozani 43+385	39.20	39.20	27.90	ss ¹	5.90 ⁵	6.14 ⁵	2001	
3	4.2.2/4	Drepano 2+078	15.50+29.00+12.50	57.00	27.90	ss ¹	5.95	6.14	2001	
4	15.2	T6 0+335	14.00+14.00	28.00	10.50	ss ¹	6.70	6.70	1996	
5	15.2	T1 0+536	16.05+16.05	32.10	7.00	ss ¹	7.05	7.05	1997	
6	15.2	T2 2+209	16.05+16.05	32.10	7.00	ss ¹	7.82	7.82	1997	
7	15.2	T3 4+472	16.05+16.05	32.10	10.50	ss ¹	7.46	7.46	1997	
8	15.2	T4 5+693	16.05+16.05	32.10	10.50	ss ¹	7.40	7.40	1996	
9	15.2	T14 12+339	16.05+16.05	32.10	10.50	ss ¹	7.11	7.11	1996	
10	15.2	T15 13+881	16.05+16.05	32.10	7.00	ss ¹	7.16	7.16	1997	
11	11.2	KOK22 7+162	31.50+28.75	60.25	6.50	ss ¹	6.75	6.75	2000	
12	15.3	TE2 4+219	18.65+18.65	37.30	8.50	sv ²	6.62	6.62	1999	
13	15.3	TE6 8+083	18.65+18.65	37.30	8.50	sv ²	6.33	6.33	1999	
14	4.2.2/4	T2 19+667	16.70+30.60+16.70	64.00	16.00	sv ²	6.60	8.73	2000	
15	4.2.2/4	Amintaio 43+718	20.50+40.00+20.50	81.00	7.25	sv ²	6.99	7.01	2001	
16	4.2.4	KO6 32+556.71	14.40+29.32+14.40	58.12	9.50	sv ²	5.16	5.87	1999	
17	4.2.4	KO8 38+614.47	14.40+29.32+14.40	58.12	9.50	sv ²	4.68	6.03	1999	
18	14.22	TE311 10+394	15.88+35.59+15.88	67.35	8.50	psv ³	7.27	7.31	2001	
19	14.22	TE315 11+388	16.07+35.98+16.07	68.15	12.00	psv ³	5.37	5.98	2001	
20	14.32/ 15.11	T4 25+544	29.50+33.50+29.50	92.50	9.50	psv ³	7.80	8.10	2000	
21	15.56	KO8 8+827	34.07	34.07	10.50	psv ³	6.30 ⁵	6.30 ⁵	2001	
22	15.56	Alex/poli 10+221	35.70	35.70	17.00	psv ³	6.30 ⁵	6.30 ⁵	2001	
23	15.56	DO3 11+151	22.50+35.00+22.50	80.00	10.60	psv ³	6.47	7.00	2001	
24	15.56	DO4 12+101	22.00+35.00+22.00	79.00	10.60	psv ³	6.44	6.97	2001	
25	15.56	DO10 15+869	35.00	35.00	13.50	psv ³	5.85 ⁵	6.73 ⁵	2001	
26	15.56	Alex/poli 18+552	19.00+38.00+19.00	76.00	17.00	psv ³	7.78	8.37	2001	
27	15.56	DO15 19+750	22.00+35.00+22.00	79.00	10.60	psv ³	6.97	6.97	2001	
28	15.7	Nipsa 3+911	21.40+21.40	42.80	10.00	psv ³	7.30	7.30	1999	
29	15.7	KO2 5+689	20.00+20.00	40.00	10.10	psv ³	8.10	8.10	1999	
30	15.8	Ardanio 3	32.25+32.25	64.50	11.40	psv ³	9.30	9.30	1999	

7+943

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Άνω Διαβάσεων Αυτοκινητοδρόμου Εγνατίας Οδού (συνέχεια)

No	Περιοχή	Όνομα Κατασκευής Χ.Θ.	Διάταξη Ανοιγμάτων (m)	Συνολικό Μήκος (m) L	Πλάτος Καταστρ. (m) W	Τύπος Κατάστρ.	Ελάχ. Ύψος Βάθρ. (m)	Μεγ. Ύψος Βάθρ. (m)	Έτος Κατασκ.
31	15.8	Ardanio 4 8+152	22.75+22.75	45.50	15.15	psv ³	8.00	8.00	1999
32	15.8	Peplo 10+585	27.90+27.90	55.80	11.50	psv ³	6.70	6.70	1999
33	15.7	TE1 15+156	19.60+40.44+19.60	79.64	10.50	psv ³	6.71	7.94	2001
34	15.8	TE2 0+406	17.50+35.00+17.50	70.00	8.50	psv ³	6.00	6.00	2001
35	11.3	T4 14+735	15.00+29.70+15.00	59.70	6.50	psv ³	8.40	9.00	2003
36	11.3	T5 15+447	15.00+30.28+15.00	60.28	6.50	psv ³	8.23	10.35	2003
37	11.3	T7 17+746	14.30+28.10+14.30	56.70	6.50	psv ³	8.43	9.69	2003
38	11.3	T9 18+399	15.00+29.29+15.00	59.29	6.50	psv ³	10.06	11.08	2003
39	11.3	T10 19+700	15.00+29.70+15.00	59.70	6.50	psv ³	8.50	9.50	2003
40	2.1	-- 15+460	19.60+32.00+19.60	71.20	11.00	psv ³	6.40	6.50	2002
41	8.1/2/3	TE-2 12+727.36	24.70+24.30	49.00	23.50	psv ³	5.45	6.62	2002
42	45.2/3	T1 0+870	18.40+30.60+18.40	67.40	18.60	psbg ⁴	6.10	6.90	2001
43	45.2/3	T8 8+778	19.70+32.85+19.70	72.25	13.00	psbg ⁴	5.00	7.25	2001
44	45.2/3	T9 9+210	24.00+40.14+24.00	88.14	10.00	psbg ⁴	6.40	9.00	2001
45	15.56	Kirki 9+927	27.00+53.00+27.00	107.00	10.60	psbg ⁴	9.00	9.00	2002
46	11.2	KO18 3+195	35.00	35.00	6.50	psbg ⁴	7.58 ⁵	7.58 ⁵	2000
47	11.2	KOK21 6+231	35.00	35.00	6.50	psbg ⁴	7.17 ⁵	7.17 ⁵	2000
48	14.11	T3 2+246	34.00	34.00	10.50	psbg ⁴	5.85 ⁵	5.85 ⁵	2000
49	14.11	T5 4+172	19.40+37.30+19.40	76.10	10.50	psbg ⁴	8.00	8.00	2001
50	14.11	T6 5+389	19.40+37.30+19.40	76.10	10.50	psbg ⁴	6.40	6.40	2001
51	14.11	T8 6+525	19.40+37.30+19.40	76.10	10.50	psbg ⁴	6.34	8.38	2001
52	1.1.6	Γ11 33+062	17.20+41.60+17.20	76.00	9.50	psbg ⁴	4.10	6.10	2001
53	2.4	T3 1+300	22.70+37.60+22.70	83.00	9.00	psbg ⁴	11.20	12.90	2003
54	14.32/ 15.11	TE525 24+483	33.00+49.00+33.00	115.00	28.00	psbg ⁴	7.92	7.92	2001
55	45.2/3	T10 10+757	21.30+35.55+21.30	78.15	9.00	psbg ⁴	6.05	7.15	2001
56	45.2/3	T11 13+010	17.50+29.20+17.50	64.20	9.00	psbg ⁴	6.00	7.25	2001
57	45.2/3	T13 14+350	17.50+29.20+17.50	64.20	9.00	psbg ⁴	6.00	8.10	2001

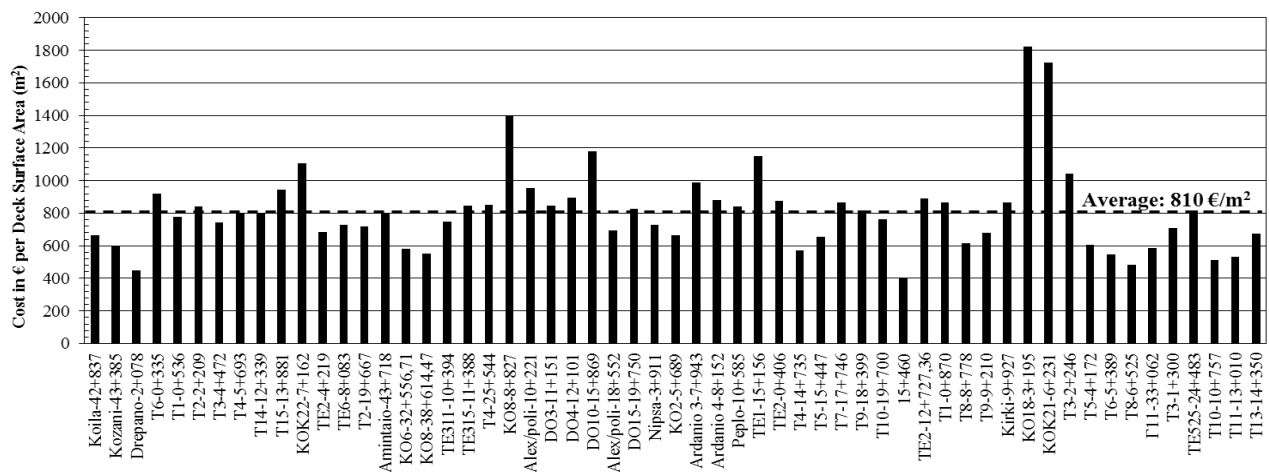
 ss¹: ολόσωμος φορέας (solid slab)

 sv²: πλάκα με διάκενα (slab with voids)

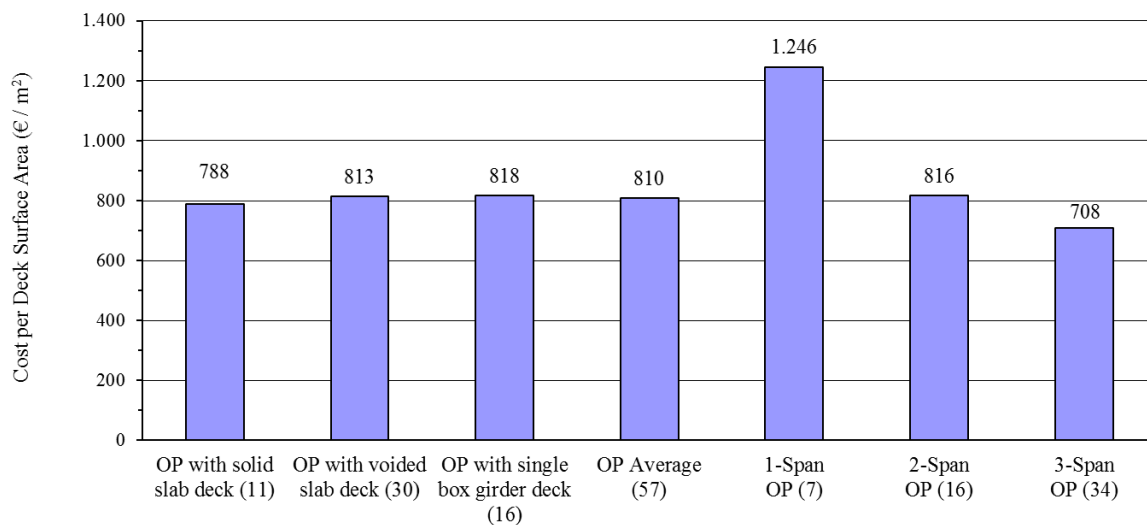
 psv³: προεντεταμένη πλάκα με διάκενα (prestressed slab with voids)

 psbg⁴: προεντεταμένο μονοκυψελικό κιβώτιο (prestressed single box girder)

⁵: ύψος ακροβάθρου



Σχ. 1: Συνολικό κόστος σε (€) ανά επιφάνεια (m²) για καθεμία άνω διάβαση

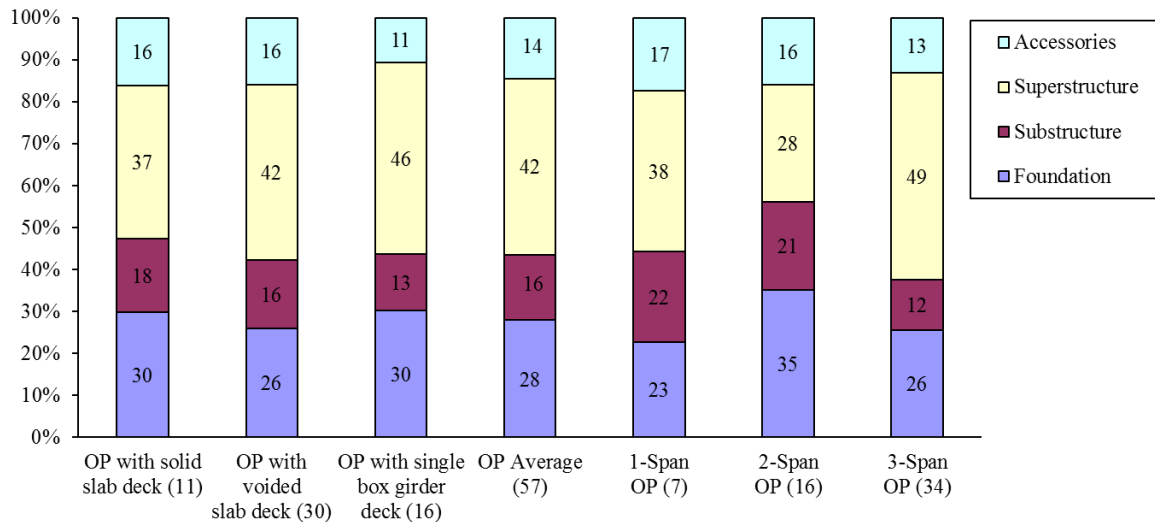


Σχ. 2 Μέσο κόστος σε (€) ανά επιφάνεια (m²) ανά τύπο άνω διάβασης

Τα ποσοστά κατανομής του μέσου κόστους ανά κατηγορία υπολογίστηκαν και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχ. 3, τα οποία προβλέπεται ότι θα βοηθήσουν τους αναδόχους και τις αναθέτουσες αρχές στον προσδιορισμό της αναμενόμενης ταμειακής ροής του έργου.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων αποκαλύπτει ότι για όλους τους τύπους ανωδομής και διάταξης ανοιγμάτων, το κόστος της κατασκευής του καταστρώματος αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κόστους σε μία άνω διάβαση γεγονός που ισχύει και για άλλους τύπους γεφυρών (Konstantinidis και Maravas, 2003), το οποίο κυμαίνεται από 37% για ολόσωμους φορείς έως 49% για άνω διαβάσεις τριών ανοιγμάτων. Αυτή η διακύμανση του κόστους για την κατασκευή της ανωδομής δικαιολογείται από το γεγονός ότι μεγαλύτερα καταστρώματα και περίοδοι κατασκευής απαιτούνται για γέφυρες τριών ανοιγμάτων, ενώ συνήθως οι γέφυρες με ολόσωμους φορείς δεν απαιτούν κάποιον

ιδιαίτερο εξοπλισμό κατασκευής. Το συνήθως μεγάλο μέγεθος της διατομής μονού κιβωτίου συνέβαλε στο υψηλό ποσοστό 46% του κόστους για την ανωδομή.



Σχ. 3: Ποσοστά κατανομής μέσου κόστους ανά κατηγορία

Η επόμενη σημαντική κατηγορία δαπανών ήταν το κόστος θεμελίωσης, που κυμαίνονταν από 23% για γέφυρες τριών ανοιγμάτων έως 35% για γέφυρες με δύο ανοίγματα. Παρόμοια ποσοστά (26 έως 30%) παρατηρήθηκαν για τις υπόλοιπες, με επιμέρους διακυμάνσεις που αποδίδονται στη θεμελίωση με πασσάλους σε αντίθεση με τις λιγότερο δαπανηρές επιφανειακές θεμελιώσεις.

Καθώς οι εξεταζόμενες άνω διαβάσεις είχαν παρόμοια διατομή μεσοβάθρων, συνήθως κυκλική, η διακύμανση του κόστους υποδομής ήταν πιο περιορισμένη μεταξύ 13 έως 18% για τους διάφορους τύπους καταστρώματος. Το υψηλότερο ποσοστό του κόστους για την υποδομή παρατηρήθηκε σε διαβάσεις ενός ανοίγματος, το οποίο στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύει το κόστος για την κατασκευή των ακροβάθρων.

Μέσα από την επεξεργασία των δεδομένων των 57 άνω διαβάσεων αναδεικνύεται η στενή αλληλεξάρτηση του κόστους με την επιφάνεια της ανωδομής της γέφυρας. Το συνολικό κόστος σε ευρώ μίας γέφυρας (COST) δύναται να εκτιμηθεί από τις σχέσεις Εξ. 1 έως Εξ. 4 που προέκυψαν από ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης με συντελεστή προσδιορισμού μεταξύ 71 με 96%.

Ειδικότερα, για όλες τις άνω διαβάσεις γενικά:

$$\text{COST} = 495 A + 35000 \quad (1)$$

για άνω διαβάσεις με ολόσωμο συμπαγή φορέα:

$$\text{COST} = 430 A + 15100 \quad (2)$$

για άνω διαβάσεις με κατάστρωμα από πλάκα με διάκενα:

$$\text{COST} = 518 A + 45500 \quad (3)$$

για άνω διαβάσεις με κατάστρωμα από προεντεταμένο μονοκυψελικό κιβώτιο:

$$\text{COST} = 567 A - 28000 \quad (4)$$

όπου A , είναι η επιφάνεια του καταστρώματος σε m^2 , οριζόμενη ως το γινόμενο $L \times W$ του Πίνακα 1.

Εναλλακτικά, προτείνονται οι παρακάτω εξισώσεις (Εξ. 5 έως Εξ. 8), οι οποίες είναι βασισμένες στον θεωρητικό όγκο της κατασκευής, μία πολύ εύχρηστη παράμετρος γνωστή ακόμη και στο προκαταρκτικό στάδιο της μελέτης (Antoniou, 2015).

Έτσι, για όλες τις άνω διαβάσεις γενικά το κόστος μπορεί να εκτιμηθεί:

$$\text{COST} = 81 \times \text{Th V} \quad (5)$$

για άνω διαβάσεις με ολόσωμο συμπαγή φορέα:

$$\text{COST} = 72 \times \text{Th V} \quad (6)$$

για άνω διαβάσεις με κατάστρωμα από πλάκα με διάκενα:

$$\text{COST} = 84 \times \text{Th V} \quad (7)$$

για άνω διαβάσεις με κατάστρωμα από προεντεταμένο μονοκυψελικό κιβώτιο:

$$\text{COST} = 81 \times \text{Th V} \quad (8)$$

όπου Th V , ο θεωρητικός όγκος της γέφυρας οριζόμενος ως το γινόμενο $L \times W \times H$ του Πίνακα 1.

Η ίδια τάση παρατηρήθηκε και στις απαιτούμενες ποσότητες των υλικών. Οι Εξ. 9 έως Εξ. 12 προτείνονται για την προεκτίμηση των απαιτούμενων ποσοτήτων οπλισμένου σκυροδέματος (RCC), προεντεταμένου σκυροδέματος (PCC), χαλαρού σιδηρού οπλισμού (RSC) και προεντεταμένου χάλυβα (PSC):

η ανάλωση οπλισμένου σκυροδέματος σε m^3 δίνεται από τη σχέση:

$$\text{RCC} = 0.97 A + 360 \quad (9)$$

η ανάλωση προεντεταμένου σκυροδέματος σε m^3 δίνεται από τη σχέση:

$$\text{PCC} = 0.72 A + 82 \quad (10)$$

η ανάλωση χαλαρού σιδηρού οπλισμού σε Kg δίνεται από τη σχέση:

$$\text{RSC} = 172 A + 41700 \quad (11)$$

η ανάλωση προεντεταμένου χάλυβα σε Kg δίνεται από τη σχέση:

$$\text{PSC} = 39 A - 2400 \quad (12)$$

Οι Εξ. 13 έως Εξ. 16 προτείνονται για την προεκτίμηση των απαιτούμενων ποσοτήτων υλικών σε συνάρτηση με το θεωρητικό όγκο, έτσι:

η ανάλωση οπλισμένου σκυροδέματος σε m^3 δίνεται από τη σχέση:

$$\text{RCC} = 0.14 \text{Th V} + 370 \quad (13)$$

η ανάλωση προεντεταμένου σκυροδέματος σε m^3 δίνεται από τη σχέση:

$$PCC = 0.10 Th V + 91 \quad (14)$$

η ανάλωση χαλαρού σιδηρού οπλισμού σε Kg δίνεται από τη σχέση:

$$RSC = 24 Th V + 40400 \quad (15)$$

η ανάλωση προεντεταμένου χάλυβα σε Kg δίνεται από τη σχέση:

$$PSC = 5.10 Th V - 170 \quad (16)$$

Συμπεράσματα

Η υλοποίηση κάθε έργου υψηλής αξίας εξελίσσεται μέσα από μία σειρά από στάδια εκκινώντας από την προκαταρκτική μελέτη, ακολουθούμενη από άλλα επιμέρους στάδια και καταλήγοντας στην μελέτη εφαρμογής και την πραγματική κατασκευή. Η εκτίμηση του κόστους και των απαιτούμενων υλικών είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος για την επιτυχή ολοκλήρωση του έργου και χρησιμοποιούνται τόσο από τον Κύριο του Έργου στο πρώιμο στάδιο εξεύρεσης χρηματοδότησης, αλλά και από τον Ανάδοχο Κατασκευής. Οι αναλυτικές προτάσεις που έγιναν δύναται να χρησιμοποιηθούν με ακρίβεια σε ανάλογα έργα.

Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (European Social Fund) και Εθνικούς Πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του ΕΣΠΑ – ΑΡΧΙΜΙΔΗΣ ΙΙΙ. Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν την Εγνατία Οδός Α.Ε. για τη διάθεση των στοιχείων της έρευνας.

Βιβλιογραφία

- Antoniou, F., D. Konstantinidis and G. Aretoulis (2015), “Cost Analysis and Material Consumption of Highway Bridge Underpasses”, *Proceeding of the 8th International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-8) “Changing the Field: Recent Developments for the Future of Engineering and Construction”*, Thessaloniki, Greece, May 27-30, pp: 262-269.
- Antoniou, F., Konstantinidis, D. and Aretoulis, G. (2016), “Analytical Formulation for Early Cost Estimation and Material Consumption of Road Overpass Bridges”, *Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 12(7), pp. 716-725, doi: 10.19026/rjaset.12.2747.
- Antoniou, F., Konstantinidis, D., Aretoulis, G. and Xenides, J. (2017). “Preliminary Construction Cost Estimates for Motorway Underpass Bridges”, *International Journal of Construction Management* (υπό επισκόπηση).
- American Road and Transportation Builders Association (2014), “US Transportation Construction Market Forecast”, Online at <http://www.artba.org/Media/PDFs/2014artbaforecastfinal.pdf>.
- Benaim, R. (2008), “The design of prestressed concrete bridges: Concepts and Principles”, 1st Edn., Taylor & Francis, London & NY, pp: 243-248.

- EUROSTAT (2015), “Harmonised Index of Consumer Prices (annual average rate of change)”, Online at <http://ec.europa.eu/eurostat/web/hicp/data/database>.
- Fragkakis N., S. Lambropoulos and J. P. Pantouvakis (2014), “A Computer-Aided Conceptual Cost Estimating Systema for Prestressed Concrete Road Bridges”, *International Journal of Information Technology Project Management*, 5(1): 1-13.
- Konstantinidis, D. and A. Maravas (2003), “Egnatia Motorway concrete bridges statistics”, *Proceedings of the 31st ASECAP Study and Information Days*, Portoroz, Slovenia, May 18-21, pp: 92-109.
- Lambropoulos, S., G. Konstantinidis, C. Georganopoulos, D. Konstantinidis, and F. Antoniou (2004), “Multispan Balanced Cantilever Bridges: Egnatia Motorway”, *Proceedings of IABSE Symposium “Metropolitan Habitats and Infrastructure”*, Sep. 22-24, Shanghai, China.
- Maravas, A. and D. Konstantinidis (2003), “Time – Cost and Quality of Projects on the Egnatia Motorway”, *Proceedings of the 3rd Workshop of the Institute for the Management and Development in Construction*, Athens, Greece, May 22, pp: 1-17.
- Miles, J. C. and C. J. Moore (1991), “An expert system for the conceptual design of bridges”, *Computers & Structures*, 40(1): 101-105.
- Moore, C. J., J. C. Miles and D. W. G. Rees (1997), “Decision support for conceptual bridge design”, *Artificial Intelligence in Engineering*, 11: 259-272.
- Philbey, B. T., C. Miles and J. C. Miles (1993), “User-interface design for a conceptual bridge design expert system”, *Computing Systems in Engineering*, 4(2-3): 235-241.
- Sarma, K. C. and H. Adeli (1998), “Cost optimization of concrete structures”, *Journal of Structural Engineering*, 124(5): 570-579.
- Sirca, G. F. and H. Adeli (2005), “Cost optimization of prestressed concrete bridges”, *Journal of Structural Engineering*, 131(3): 380-388.