

# Egnatia Motorway Concrete Bridges Statistics

Dimitrios Konstantinidis and Alexander Maravas  
Egnatia Odos A.E., 6th Km Thessaloniki-Thermi, P.O. Box 30,  
57001 Thermi – Thessaloniki, Greece

## ABSTRACT

Egnatia Motorway is one of the most significant projects currently under construction in Europe with 646 bridges along its 680 km length. The methods employed for the construction of the Egnatia Motorway bridges are at the forefront of bridge construction technology including balanced cantilever, incremental launching, travelling formwork, pre-cast beams, cast-in-situ voided slabs and cast-in-situ post-tensioned continuous box girder.

In this paper a statistical analysis of the cost of construction of Egnatia Motorway bridges per construction method and deck area is presented. The cost data analysed is from on-site actual cost information provided by surveyed quantities and unit rates from construction contracts having considered revision of prices due to inflation, contractor's overheads and profit and then revalued to current prices (first quarter 2003).

## 1. INTRODUCTION

Bridges and tunnels are the most significant components in road infrastructure projects both in terms of technical complexity and financial viability. They are not just those vital structural elements of the road network assisting in traversing difficult mountainous sections or crossing rivers and deep valleys, but also landmark projects characterising the engineering knowledge or even the prosperity of society during a certain period. It is obvious that the impact of the collapse of a landmark bridge or a fire accident in a tunnel has a profound effect on society. Despite the engineering challenge involved in the construction of projects of this scale, they have to be functional, aesthetically attractive and well suited to the environment, structurally efficient, constructed rapidly and low in cost. In planning the construction of such major structures, decision makers are entrusted to achieve a delicate balance among all the above factors, because failure to do so may cause a public outcry. Within the context of this paper the construction cost of the Egnatia Motorway bridges will be presented. The construction costs of other similar bridges will be mentioned, although, to the best of the authors' knowledge, availability of comparative cost figures is scarce in the literature.

## 2. THE PROJECT

Egnatia Motorway constitutes part of the Trans-European Network for Transport and belongs to the fourteen priority projects of the European Union (EU). The main axis is 680 km long starting in the west from the port of Igoumenitsa on the Ionian Sea and ending at the Greek-Turkish borders in the east. It connects the major cities in Northern Greece, serves five ports and links to six airports. The main axis is linked to other countries in Southeast Europe via nine routes of overall length 720 km (Figure 1). This project, together with the other Trans-European Transport Networks is expected to accelerate the establishment of the internal market, link peripheral regions to the heart of the EU and open Europe to the neighbouring countries [1].

The construction of 94 km of Egnatia Motorway was completed prior to 1994 by the Ministry of Public Works. The client organisation, "EGNATIA ODOS A.E.", was established in September 1995 to manage the design, construction, maintenance, operation and exploitation of the Motorway. Approximately 90 percent of the €4.3 billion required to construct the remaining 586 km has been secured from the 2nd and 3rd EU Community Support Frameworks, National funds, the European Investment Bank and the Trans-European Network Community budget. For the remaining 10 percent alternative funding sources are being examined, including the possibility of public private partnership contracts. Currently, almost 60 percent of the Motorway is complete, while by 2004 over 80 percent will be operational.



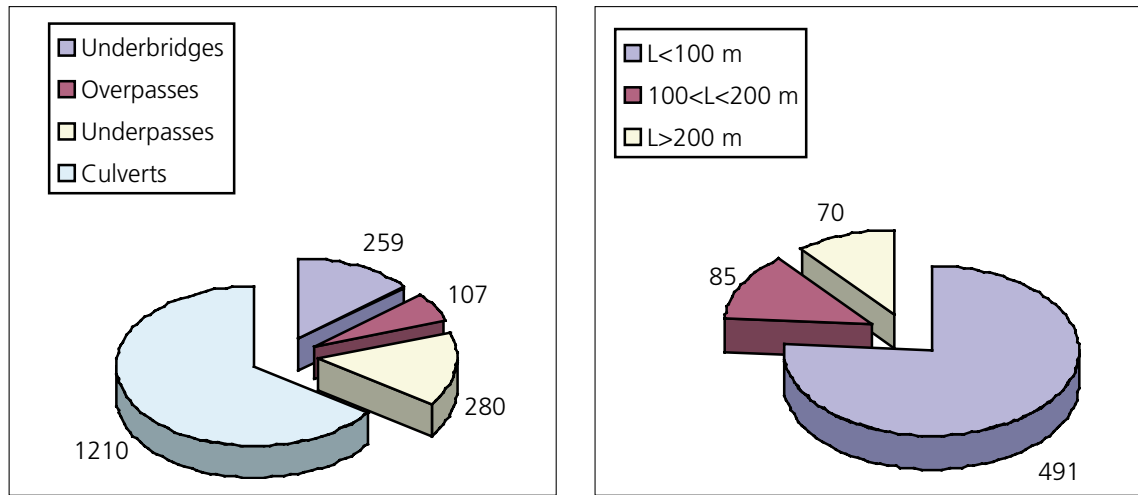
Figure 1 - Egnatia Motorway network

### 3. BRIDGES OF THE EGNATIA MOTORWAY

The Motorway is being designed and constructed from the onset as a high-speed motorway of high standards consisting of a dual carriageway with hard shoulders having a combined dual carriageway width of 24.5m for most sections and 22m for difficult mountainous areas. It includes 50 grade-separated interchanges, 2 x 50 km of tunnels and 2 x 40 km of bridges. The 40 km of bridges represent nearly 6 percent of the overall length of the Motorway.

There are approximately 1856 highway structures (including 646 bridges) on the main axis with lengths varying from tens of meters to just over 1 km, which represent 20 percent of the total construction cost of the Motorway. Of these, 119 are twin bridges (2 x 119), while the remaining 408 are single bridges of either

dual carriageway cross-section carrying Egnatia Motorway or varying cross-section overpasses carrying local roads. Figure 2a depicts the break down of all structures between structural types, while Figure 2b focuses on the length distribution of the bridges. The Motorway runs through various mountain ranges and valleys necessitating the construction of a number of major bridges with relatively tall piers and/or long spans/lengths. Table 1 provides information regarding bridges over 200m long representing 35 percent of the total length of Egnatia Motorway bridges and which are currently at different stages of design or construction. Arachthos Bridge with a length of 1036m is the longest bridge on the main axis, whilst Metsovitikos and Votonosi Bridge with the main spans of approximately 235m will be among the longest span balanced cantilever bridges in Europe.



a. - Type of structures

b. - Length distribution of bridges

Figure 2 – Structures of Egnatia Motorway

Table 1 – List of Egnatia Motorway major bridges

Bridge Name	Section	Length (m)		Span Arrangement (m)	Construction Method
		L	R		
Arachthos	2.3	1036	1036	98-6x140-98	balanced cantilever
Nestos	14.1.2	950	950	35-4x45-65-120-65-10x45-35	balanced cantilever & incremental launching
Greveniotikos	4.1.56	920	920	8x100-2x60	balanced cantilever
Kristalopigi	1.1.8	638	849	44-10x55-44 43-14x54.5-43	travelling formwork
Venetikos	4.1.3s	470	580	40-65-2x110-65-2x40 40-65-3x110-65-2x40	balanced cantilever
G3	4.1.3s	540	540	40-65-3x110-65-40	balanced cantilever
Metsovitikos	3.2	539	539	45-119-235-140	balanced cantilever
Votonosi	3.2	490	477	130-230-130 126-224-127	balanced cantilever
Megalorema	3.2	471	481	37-8x45.5-2x35 37-9x45.5-35	incremental launching
T9	2.4	405	475	65-2x105-2x65 61-70-2x102-2x70	balanced cantilever

Bridge Name	Section	Length (m)		Span Arrangement (m)	Construction Method
		L	R		
G12	5.1	457	457	61-3x107-75	balanced cantilever
Lissos	15.2	433	433	29-3x37-6x44.5-26	incremental launching
G2	4.1.3s	426	426	57-3x104-57	balanced cantilever
Kompsatos	14.3	416	416	13x32	precast beams
G2	4.1.2s	313	378	50-85-110-68 50-75-100-75-50-28	balanced cantilever
Ionia	8.2	373	373	25-35-2x32-38-33-4x32-2x25	precast beams
Volos I/C	4.1.1s	345	348	94-157-94 95-158-95	balanced cantilever
Kavala No 5	13.7	345	270	37-2x39-3x43-2x38-25 26-2x39-3x43-37	precast beams
Panagia I/C	4.1.1s	281	325	86-110-85 61-2x100-64	balanced cantilever
T10	2.4	300	300	65-105-2x65	balanced cantilever
G11	5.1	300	247	27-34-62-115-62 64-119-64	balanced cantilever
Katouna	2.3	289	289	87-132-70	balanced cantilever
Kalogirou T5	4.2.2	280	280	7x40	precast beams
Aliakmonas T6	4.2.2	280	280	7x40	precast beams
G7	3.5.1	276	-	83-110-83	balanced cantilever
Mesovouni	1.1.7	269	268	48-61-100-60 48-60-100-60	balanced cantilever
G10	5.1	265	234	60-110-60-35 61-112-61	balanced cantilever
T8	2.3	182	246	28-3x42-28 28-5x38-28	in-situ span by span
T5	2.4	240	240	34-4x43-34	in-situ span by span
G4	4.1.3s	240	240	65-110-65	balanced cantilever
T11	11.2	240	240	8x30	precast beams
G4	4.1.3s	240	240	65-110-65	balanced cantilever
G4	1.1.6	220	220	67-106-57	balanced cantilever
T4	8.1	214	214	17-5x36-17	balanced cantilever
T6	11.2	210	210	6x35	precast beams
Troumpeta	4.2.2	200	200	5x40	precast beams

The minimum specified design life for the structural elements of all bridges is 120 years. Meeting this target in Greece, the highest seismic area in Europe, where approximately half of the annual seismic energy of the continent is released, requires conservatism in the design and more stringent quality control measures during construction. Earthquakes in Greece are typically shallow with focal depths of less than 18 km and magnitudes up to 7.5 on the Richter scale. Egnatia Motorway traverses through zones I, II, III of the Greek seismic map with corresponding peak ground acceleration of 0.12g, 0.16g and 0.24g. In accordance with the current Greek legislation, bridges are designed based on the German DIN Standards, except for seismic loading where the Greek standards are utilized and which refer to the European Standards (i.e. Eurocodes). The majority of Egnatia Motorway bridges are designed to behave elastically during an earthquake, but in the case of major bridges this leads to exorbitant expenses and/or impractical detailing. As a result, major bridges are designed with inherent ductility in order to dissipate the imparted seismic energy [2].

All bridges on this project are constructed using reinforced or prestressed concrete for a number of reasons such as low cost, excellent durability, and easy maintenance. Various bridge forms, deck types and construction methods are utilized for the procurement of the bridges. These include voided slabs, box girders, precast beams, balanced cantilever, incremental launching and travelling formwork. The maximum span and pier height per construction method is shown in Table 2.

Table 2 – Maximum spans and pier heights of Egnatia Motorway concrete bridges

Construction Method	Max. Span (m)	Max. Pier Height (m)
Traditional scaffolding	65.0	17.0
Precast prestressed beams with continuity slab	43.0	61.0
Incremental launching	45.5	27.0
Travelling formwork	55.0	30.0
Balanced cantilever	235.0	105.0

Precast beams are the most widely used method for deck construction for medium spans of up to 45m, as they have been proven to be both fast and cost effective. Traditionally, bridge decks consisting of precast beams have been built in Greece without the continuity of the in-situ top slab over the piers. However, the existence of numerous expansion joints has resulted in maintenance problems and has adversely affected rideability. In order to avoid such shortcomings, precast beams in combination with continuous in-situ top slabs are used for Egnatia bridges. Egnatia Motorway contractors construct the precast beams, whether post-tensioned, pre-tensioned or reinforced concrete, on site rather than in the factory and for bridges with relatively tall piers the precast beams are placed by means of mobile cranes.

For bridges of spans up to 55m, where access for mobile cranes is limited other types of construction, e.g. incremental launching and travelling formwork, have been chosen as alternatives to the precast beam method. For ravine bridges the method of in-situ balanced cantilever construction has been employed where necessary, due to topography or geotechnical reasons, to reduce the number of piers by increasing the span length significantly, typically in the order of 100m. The method of precast segmental balanced cantilever construction, despite its speed of construction, is not utilized on this project, due to the fact that this method is not yet permitted by the German DIN Standards.

Where decks are constructed using precast beams, the beams are supported by the piers via crossheads and bearings, while in in-situ concrete deck construction, the piers are usually built into the deck. Piers of overpasses and the shorter piers of underbridges have been designed as solid rectangular or circular cross sections. Rectangular hollow sections are used for the construction of most tall piers on this project, as a result of their economy and the fact that they maximize the structural efficiency in terms of stiffness/mass and strength/mass ratios. In a few cases, double leaf piers, which provide greater flexibility than hollow sections, have also been utilized for construction of tall piers.

#### 4. BRIDGE CONSTRUCTION CONSIDERATIONS

Since transport of freight and people is at the core of modern economies, creation of a sufficient road network is of significant national and international importance. For this reason a substantial proportion of government expenditure is allocated to the construction

and maintenance of road infrastructure. From data released by the American Road and Transportation Builders Association [3], the value of construction work performed on transportation projects in the United States reached €75.7 billion in 2001 (1 € = 1.05 \$) from €46.1 billion in 1993. Highways, bridges and tunnels accounted for 73.3 percent of transportation construction within the same period. With respect to bridges in particular, the value of construction work rose by 83.7 percent within the aforementioned period and by 12.8 percent just in 2001. Within the European Union, the motorway network expanded from 39200 km in 1990 to 49200 km in 1999 [4]. In Greece the most significant expenditure on road infrastructure is conducted through the Trans-European Network, which accounted for €13.6 billion.

The design and construction of bridges play a significant role in the process of developing a sustainable transportation system. In carrying out feasibility studies to assess the viability of the construction of transport infrastructure projects, apart from initial design and construction costs, whole life costs and environmental impact are also considered.

Whole life costs encompass inspection and maintenance costs, repair costs, possible required strengthening operations costs due to increased loading, as well as possible bridge modification or even replacement costs due to required widening to accommodate future increases in traffic loads. In Greece, as in other earthquake prone areas, the cost of damage inflicted on the bridges by earthquakes and additional costs related to resulting traffic disruption are also considered in the calculation of the whole life costs leading to conservative structural systems. The latter is emphasised by the aftermath of the 1994 Northridge earthquake in the United States [5] and the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake in Japan [6], where although casualties were kept to a minimum (in the Northridge case) the post disaster cost was found to be intolerable. It is beyond the scope of this paper to provide cost benefit analyses taking into account whole life costs of Egnatia bridges and social repercussions following possible disastrous events.

The engineering awareness in improving bridge appearance, hence minimising the adverse impact to the surrounding environment, is increasing at least in developed countries. Whether this stems from application of stringent environmental terms or the abundance of technological advancements, which promote design creativity, is a matter of debate. Within the boundaries of this project, which crosses 250 sites of



historic importance, 17 areas of the Natura 2000 European Network, 4 Ramsar International Convention Wetlands and about 70 areas protected by the Forest services for the development of wild Fauna, the special attention given to the visual appearance of the bridges and the selection of the construction method is well justified. Standardisation of the designs, construction of decks with variable depth, increase in bridge slenderness, reduction in the number of piers and expansion joints, as well as the use of high strength materials endeavours to enhance the aesthetics of Egnatia Motorway concrete bridges.

### 5. EGNATIA MOTORWAY BRIDGE COSTS

The cost of construction of bridges designed taking into account the above factors, varies depending on the bridge type, construction method used and site conditions (topography, foundation conditions, seismic risk, importance of the bridge itself). To demonstrate the variation between construction costs of bridges with different characteristics, information referring to 141 bridges stored in the existing Egnatia Motorway Structure's database [7] was utilised. The database apart from technical characteristics of each structure

has been updated to include on-site input such as, surveyed material quantities, the contractual unit rates and final cost per work item. The cost records have been revalued to prices of the first quarter of 2003 using the annual average rate of change in the harmonized indices of consumer prices reported by Eurostat. The total construction cost of each bridge comprises of the cost of:

- foundations
- substructure
- superstructure and
- accessories

Foundation costs include the construction of the foundations of abutments and piers, temporary works including slope stabilisation/protection and soil improvement works, as well as earthworks and all works necessary to provide safe access to the construction site. Substructure costs include the construction of abutments and piers whereas superstructure costs refer to the cost of construction of the deck. Finally, under the term accessories, the cost of bearings, expansion joints, drainage system, guardrails, bridge waterproofing and asphalt layer, is considered. The average costs per cost category, and construction method, were calculated and the results presented in Figure 3.

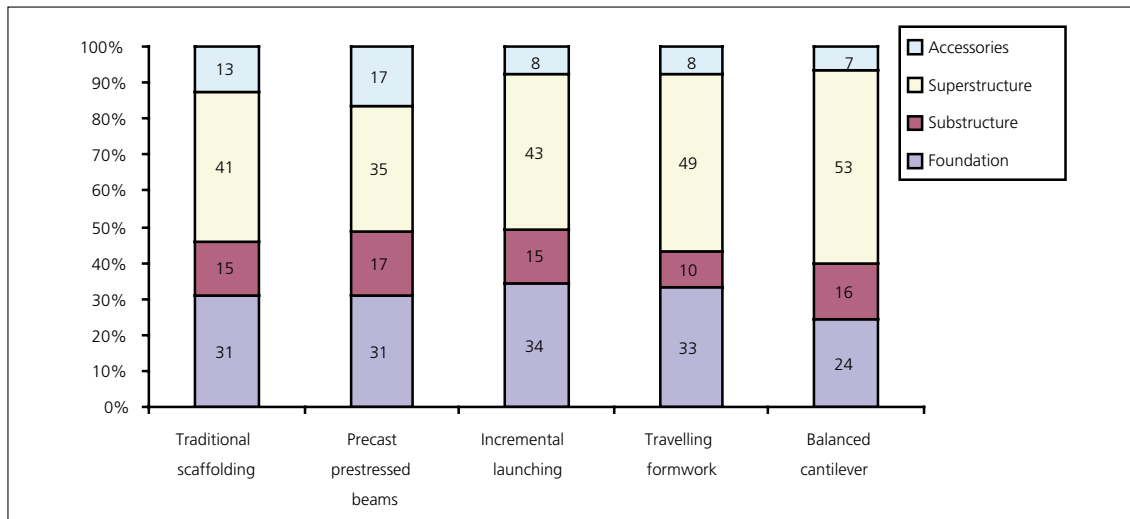


Figure 3 - Cost distribution of Egnatia Motorway bridges

Analysis of this data reveals that for all construction methods, the cost of construction of the deck represented the highest proportion of the total cost ranging from 35 percent for precast beam bridges to 53 percent for balanced cantilever bridges. This variation in deck costs is justified by the fact that both longer construction periods and greater cross-section sizes are required for balanced cantilever bridges due to the significant increase in span lengths, while precast beams benefit from economies of scale due to repetition of beam elements. The next significant cost category was foundation costs, which ranged from 24 percent to 34 percent of the total cost of construction. Similar pro-

portions (31-34 percent) were observed for all methods except for the balanced cantilever method, which is attributed to the reduction in the number of piers. Substructure costs ranged from 10 percent for bridges constructed using travelling formwork to 17 percent for bridges with precast prestressed beam decks, which can be attributed to the construction of six twin ravine bridges with relatively high piers [8]. The use numerous bearings in the precast prestressed beam bridges resulted in the accessories representing 17 percent of the total construction cost, while on the other hand they represented only 7 percent for balanced cantilever bridges as bearings are used only at the abutments. From Figure 4 it can be readily deduced that the most expensive per square meter bridges on Egnatia Motorway are balanced cantilever bridges (1245

€/m<sup>2</sup>), while the least expensive are bridges built using traditional scaffolding (745 €/m<sup>2</sup>), as expected. Balanced cantilever bridges are justifiably the most expensive bridges as they are adopted to overcome the most difficult terrain constraints when large spans are

unavoidable and hence require significantly greater section depths and pier heights. As a result, the deck cost of balanced cantilever bridges is directly proportional to the maximum span length, as shown in Figure 5.

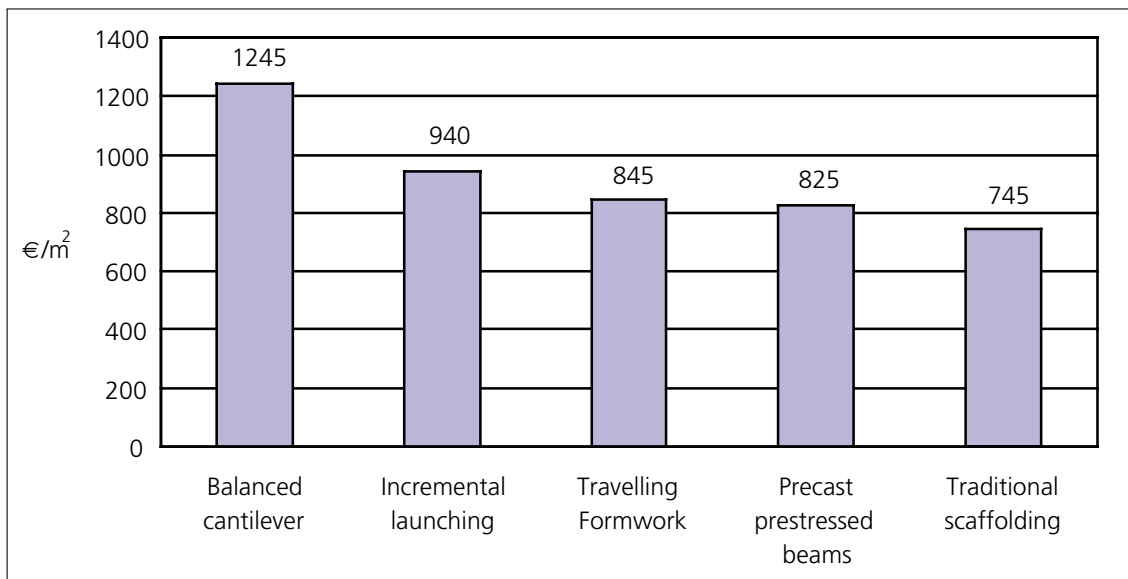


Figure 4 - Cost of Egnatia Motorway bridges

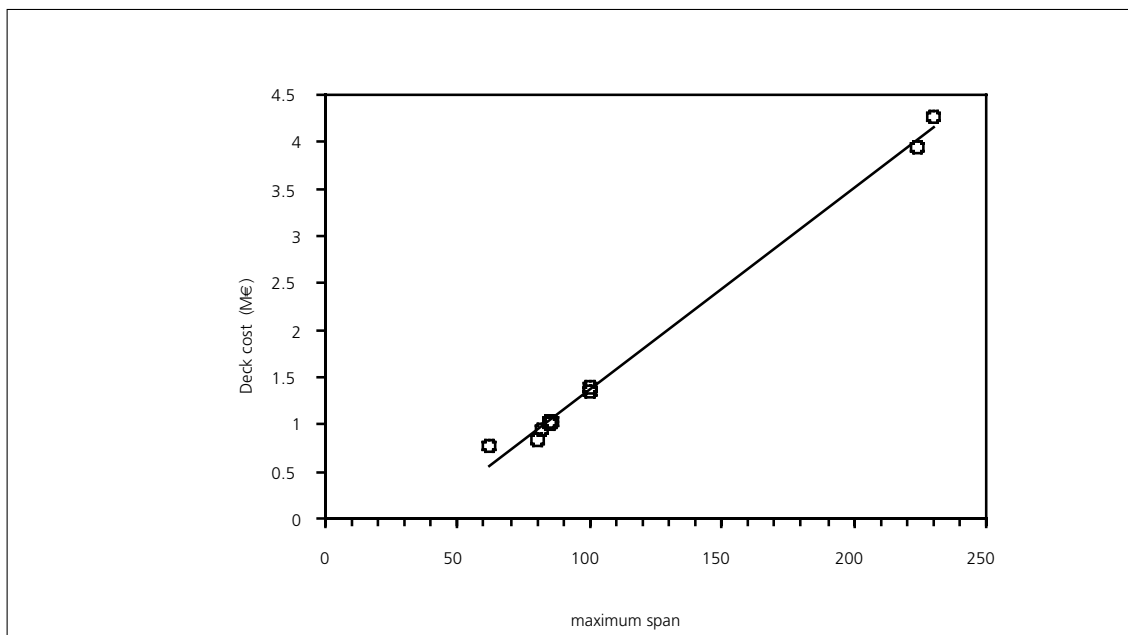


Figure 5 – Relationship of superstructures’ cost per maximum span length of selected Egnatia Motorway balanced cantilever bridges

The most economical bridges carrying Egnatia Motorway over local roads, streams, rivers and valleys are bridges built using traditional scaffolding methods since the average height of the piers is approximately 10m. The bridges in this category include both reinforced and prestressed concrete bridges of various

cross-sections, including solid slab, voided slab and box girders, all cast in-situ. The remaining three construction methods are of similar average costs. Specifically, precast beam bridges have an average cost of 825 €/m<sup>2</sup> and those built using the travelling formwork technique cost 845



€/m<sup>2</sup>, while the cost of construction of incrementally launched bridges is 940 €/m<sup>2</sup> on average. All three of these methods have been used on Egnatia bridges in order to cross deep valleys and ravines with maximum pier height of 61m. Specifically, precast beams have been implemented not only in situations where tall piers have been required but also in situations where speed of construction was an important factor. In investigating the difference between the average costs of incrementally launched bridges and bridges built using travelling formwork, it can be concluded that although the use of travelling formwork yielded greater deck costs, the overall cost per square meter can be significantly reduced when using this method for the construction of longer bridges with numerous repetitive span lengths.

The average overall cost resulting from the analysis of the available data on the cost of construction of Egnatia Motorway bridges is 920 €/m<sup>2</sup>. Table 3 presents the cost of construction of similar concrete bridges in Europe revalued to current prices for a sample of 19 bridges. The average cost per square meter of these bridges is 1220 €/m<sup>2</sup>. More specifically, from the analysis of the data available, the mean construction costs per construction method are 1320 €/m<sup>2</sup> for precast concrete bridges, 1020 €/m<sup>2</sup> for incrementally launched bridges, 1050 €/m<sup>2</sup> for bridges built using travelling formwork and finally 1560 €/m<sup>2</sup> for balanced cantilever bridges. It is interesting to note that even though nearly all the bridges in the sample obtained belonged to zones of very low seismicity, except for the Petra Tou Romiou Viaduct in Cyprus, the resulting costs were still significantly greater than Egnatia Motorway bridges which were all more conservatively designed to sustain significant seismic forces. However, a straightforward comparison of bridge construction costs cannot be made, as costs are a result of several factors both internally and externally related to the bridge construction industry. Low labour costs are a significant factor that influence contractors' to precede to construction of precast beams on site rather than in the factory. Higher labour costs in other countries partly explains the tendency to industrialise the bridge pro-

duction process as much as possible which requires less labour, but leads to greater overhead costs. To overcome these significant overhead costs there must be adequate demand for precast units, something that has not been significantly promoted in Greece. For these reasons and the fact that concrete industry is well established, Greek contractors prefer in-situ concrete construction methods.

Finally, the size of construction companies, the current competition, the tendering system and the size of contract are additional aspects affecting the cost of construction.

## 6. CONCLUSIONS

Egnatia Motorway is a project that will be completed meeting current state-of-the-art standards while attempting to achieve a balance between financial costs and benefit to society in terms of providing a significant life line between cities and villages in Northern Greece and concurrently showing due respect to the environment.

This paper has concentrated on analyzing actual cost data of bridges either completed or currently nearing completion in order to develop a clear picture regarding the average costs per square meter per bridge construction method. The most economical method for construction of bridges, as anticipated, is using traditional scaffolding methods and the least is the balanced cantilever method, which is utilized for the construction of long span bridges. In situations where the use of traditional scaffolding methods is not physically possible, it appears that precast beams is the next most economical solution followed by travelling formwork and incremental launching methods, which offer potential financial benefits only for long bridges.

The results of this analysis could be used in the calculation of cost pre-estimates during the feasibility studies of similar infrastructure projects in Greece. In any case, spending the allocated budgets wisely will be rewarded many times over in the form of safe, reliable and sustainable transportation.

Table 3 - Technical and cost data of various bridges constructed in Europe

Construction Method	Client	Year of Completion	Length (m)	Width (m)	Max Span (m)	Max Pier (m)	Total Cost €/m <sup>2</sup>
<b>Precast beams with cast in-situ deck</b>							
Overpass K9 in Oberhausen Germany	Rhineland highways department at Essen	1994	52.0	13.7	26		1290
Overpass K11 at Oberhausen Germany	Rhineland highways department at Essen	1994	40.0	15.2	20		1300
Overpass 10c at Oberhausen Germany	Rhineland highways department at Essen	1992	123.5	22.3	42		1370
<b>Incremental Launching</b>							
Bergères Viaduct France	Scetauroute	1998	282.0	19.8	65	33	1220
Schnaittach Viaduct Germany	State of Bayern	1998	1139.6 1287.6	18.0 18.0	105	30	1080
Mulde Valley Bridge at Dessau Germany	Bundesministerium für Verkehr, Bau - und Wohnungswesen	1998	431.0 431.0	17.4 17.4	44	6	825
Hirschfeld Valley Bridge	German Unity Freeway Planning and construction company	1996	160.0 19.3	19.3			160.0
Saubach Valley Bridge Germany	German Unity Freeway Planning and construction company	1996	363.0 363.0	19.3 19.3	46		825
Zenn Valley Bridge Germany	Road construction department of Nürnberg	1991	484.0	13.2	44	12	1335
Petra Tou Romiou Viaduct Cyprus	Cyprus Public works department	2001	422.0 422.0	12.0 12.0	55.4	60	985
<b>Travelling Formwork</b>							
Wallbach Valley Bridge Germany	State road construction Rheinland - Pfalz	1998	446.0 446.0	10.5 10.5	42		1080
Ulmach Valley Bridge K607 Germany	State of Hesse	1994	225.0 225.0	14.5 14.5	50		1020
<b>Cantilever Construction</b>							
Mentue Bridge Switzerland	Canton of Vaud	1999	565.0 571.0	13.4 13.4	149	104	1335
La Barricade Viaduct France	Scetauroute	1999	420.0	19.0	150	60	1780
<b>Other Bridges</b>							
Kochertalbrücke Hüttlingen Germany	Land Baden-Württemberg	1998	311.2	13.1-19	60	17	1370
Schornbach Valley Bridge Germany	Land Baden-Württemberg	1996	618.0	25.5	46		1110
Neisse Bridge at Görlitz Germany	State of Sachsen	1994	339.5	29.5	39		1040
Francois Mitterand Bridge France	Direction of Equipment of Gironde	1993	642.0 642.0	14.0 14.0	102		1340
Schwarzenbeck Bridge Germany	Land Schleswig - Holstein	1992	318.0	15.0	30		2000

Source: i) SEI Journal [9, 10], ii) Structurae International Database (www.structurae.de), iii) Köhler + Seitz Beraten und Planen GmbH.





## 7. REFERENCES

- [1] Trans-European Transport Network TEN-T Priority Projects. (2002) European Communities, Luxembourg.
- [2] AHMADI-KASHANI, K. and KONSTANTINIDIS, D. (2003) Design of Egnatia motorway bridges. Accepted for publication in the Proceedings of the fib-Symposium Concrete Structures in Seismic Regions, 6-9 May, Athens.
- [3] Value of Transport Construction Put in Place 1993-2001. (2002) American Road and Transportation Builders Association.
- [4] STRELOW H. (2002) Statistics in Focus (Transport Theme 7): Transport Infrastructure in the European Union and Central European Countries 1990-1999, EUROSTAT, Luxembourg.
- [5] BRODERICK, B. M. and ELNASHAI, A. S. (1995) Analysis of the failure of Interstate 10 ramp during the Northridge earthquake of 17 January 1994. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 24, 189-208.
- [6] Proposal on Earthquake Resistance for Civil Engineering Structures. (1995) Special Task Committee of Earthquake Resistance of Civil Engineering Structures, Japan Society of Civil Engineers.
- [7] ABEYSINGHE R. S., KONSTANTINIDIS G. and LAMBROPOULOS S. (1999) Managing the design of structures in a mega project, *Computer Techniques for Civil and Structural Engineer*, CIVIL-COMP PRESS, Topping B.H.V. and Kumar B. (eds).
- [8] HINDLEY, G., ABEYSINGHE, R., KONSTANTINIDIS, D., PAPAIOGA, I. and KONSTANTINIDIS, G. (2000) "Six ravine bridges for the Egnatia Motorway, Greece", *Structural Engineering International*, IABSE 10 (4), 231-232.
- [9] HOURIET, B. and VAUCHER, A. (2000) Design and construction of the Mentue bridge, *Structural Engineering International*, IABSE 10 (1), 19-20.
- [10] LLOMBART, J. A. and REVOLTOS J. (2000) Petra tou Romiou Viaduct, *Structural Engineering International*, IABSE 10 (4), 233-234.

# Statistiques sur les coûts de construction pour les ponts de l' Autoroute Egnatia

Dimitrios Konstantinidis et Alexander Maravas  
Egnatia Odos A.E., 6ème Km Thessaloniki-Thermi, P.O. Box 30,  
57001 Thermi – Thessaloniki, Grèce

## RÉSUMÉ

L' autoroute Egnatia est l'un des projets les plus importants actuellement en construction en Europe avec 646 ponts tout le long de l' autoroute (680km). Son coût global est de 4.3 milliards d'euros. Les méthodes employées pour la construction des ponts sur l' autoroute Egnatia sont à l'avant-garde de la technologie concernant la construction de ponts, notamment : pont à flèche équilibré, technique du pont poussé, coffrage mobile, poutres préfabriquées, dalles évidées coulées en place, caisson continu précontraint par post-tension et coulé en place.

Ce document présente une analyse du coût de la construction des ponts de l' Autoroute Egnatia, par type de pont, méthode de construction et zone de tablier. Les données analysées sont issues des informations réelles sur site concernant les coûts, obtenues à partir des quantités relevées et des taux unitaires figurant dans les contrats de construction. Les révisions de prix dues à l'inflation, aux frais généraux et aux prises de bénéfices des entrepreneurs sont prises en compte et réévaluées en prix courants (premier trimestre 2003).

## 1. INTRODUCTION

Les ponts et les tunnels constituent les composants les plus importants des projets d'infrastructures routières, en termes de complexité technique comme de viabilité financière. Il ne s'agit pas simplement d'éléments structurels vitaux du réseau routier, permettant de traverser des sections montagneuses difficiles ou des rivières et des vallées profondes, mais aussi de projets qui font date, démontrant le savoir de génie civil ou même la prospérité de la société à une certaine période. Il est évident que l'impact sur la société de l'écroulement d'un pont de ce type ou d'un incendie accidentel dans un tunnel est considérable. Malgré le défi en matière de génie civil impliqué par la construction de projets de cette ampleur, ceux-ci doivent être fonctionnels, esthétiques, bien adaptés à l'environnement, structurellement efficaces, rapidement construits et peu coûteux. Lorsqu'ils planifient la construction de telles structures majeures, les décideurs se doivent d'atteindre un équi-

bre délicat entre tous les facteurs cités ci-dessus, sous peine de risquer un tollé dans l'opinion publique. Dans le cadre de ce document, les coûts de construction des ponts de l' autoroute Egnatia seront présentés et évalués par rapport à ceux de projets comparables réalisés en Europe. Il convient de noter qu'à la connaissance des auteurs, les chiffres comparatifs concernant les coûts sont rares dans les publications disponibles.

## 2. LE PROJET

L' autoroute Egnatia constitue une partie du Réseau transeuropéen de transport et fait partie des quatorze projets prioritaires de l'Union européenne. L'axe principal, long de 680 km, part du port d'Igouménitsa, sur la mer Ionienne, à l'ouest de la Grèce, et s'achève à l'est, à la frontière gréco-turque. Il relie les principales villes de la Grèce du Nord, dessert cinq ports et permet d'atteindre six aéroports. L'axe principal est relié à d'autres pays de l'Europe du Sud-Est via neuf itinéraires d'une longueur totale de 720 km (Illustration 1). Ce projet, associé aux autres Réseaux transeuropéens de transport, devrait accélérer l'établissement d'un marché intérieur, relier des régions périphériques au cœur de l'Union européenne et ouvrir l'Europe aux pays voisins [1].



Illustration 1 – Réseau de l' autoroute Egnatia

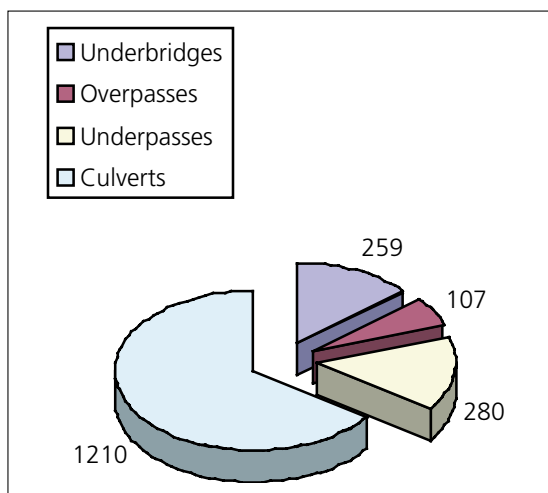


La construction de 94 km de l'Autoroute Egnatia a été réalisée avant 1994 par le Ministère des Travaux Publics. L'organisation cliente, 'EGNATIA ODOS A.E.' a été créée en septembre 1995 afin de gérer la conception, la construction, l'entretien et l'exploitation de l'Autoroute. Environ 90 % du financement requis a été obtenu grâce aux 2ème et 3ème Cadres communautaires d'appui, ainsi qu'à des sources nationales et à la Banque européenne d'investissement. En ce qui concerne les 10 % restants, des sources de financement autres sont en cours d'examen, éventuellement sous la forme de contrats de partenariat public-privé. Plus de 60 % de l'autoroute ont déjà été réalisés et sont en service, tandis que plus de 80 % devraient être opérationnel en 2004.

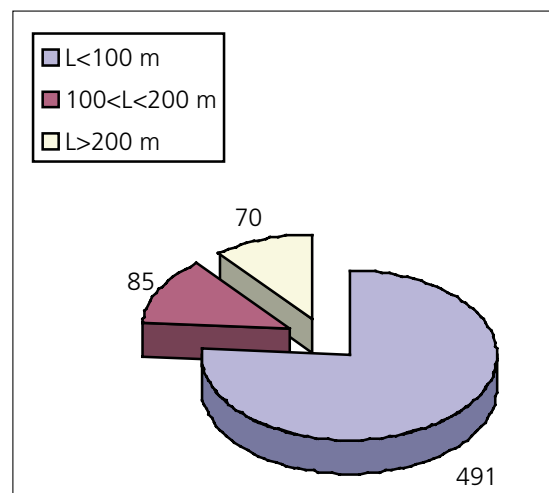
### 3. PONTS SUR L'AUTOROUTE EGNATIA

L'autoroute Egnatia est conçue et construite dès le départ pour être une autoroute à grande vitesse d'un haut niveau de qualité, consistant en une route à double chaussée avec accotements stabilisés et une largeur combinée de 24.5 m pour la plupart des sections et 22 m pour les zones de montagne difficiles. Elle comprend 50 échangeurs avec séparation des niveaux de circulation, 2 x 50 km de tunnel et 2 x 40 km de ponts, représentant presque 6 % de la longueur totale de l'autoroute. L'autoroute comprend environ 1856 structures routières (dont 646 ponts) sur l'axe principal, d'une longueur allant de quelques dizaines de mètres à un

peu plus d'1 km, représentant 20 % du coût total de construction. Parmi ces ponts, 119 sont des ponts jumeaux (2 x 119), tandis que les 408 autres sont des ponts simples, sur lesquels passent soit des routes à double chaussée faisant partie de l'Autoroute Egnatia, soit des autoponts destinés aux routes locales. L'illustration 2a présente la répartition de toutes les structures par types structurels, tandis que l'illustration 2b concerne la répartition des ponts en fonction de leur longueur. L'autoroute traverse différentes chaînes de montagnes et vallées nécessitant la construction d'un certain nombre de grands ponts avec des tabliers relativement hauts et/ou des travées/envergures relativement longues. Le Tableau 1 donne des informations concernant les ponts de plus de 200 m de long, qui représentent 35 % de la longueur totale des ponts de l'Autoroute Egnatia, actuellement à différents stades de conception ou de construction. Le pont Arachthos, d'une longueur de 1036 m, est le pont le plus long de l'axe principal, tandis que les ponts Metsovitikos et Votonosi, dont les travées principales, longues d'environ 235 m, seront parmi les ponts à flèche équilibrés ayant les travées les plus importantes d'Europe. La durée de vie minimum spécifiée des éléments structurels de l'ensemble des ponts et de 120 ans. Atteindre cet objectif dans la zone la plus sismique d'Europe, lieu de libération d'environ la moitié de l'énergie sismique annuelle en Grèce, nécessite une conception prudente et des mesures de contrôle qualité plus strictes durant la construction.



a. – Types de structures



b. – Répartition selon la longueur

Illustration 2 - Structures de l'autoroute Egnatia

En Grèce, les tremblements de terre sont généralement peu profonds, avec des profondeurs focales inférieures à 18 km et des magnitudes allant jusqu'à 7.5 degrés sur l'échelle de Richter. L'Autoroute Egnatia traverse les zones I, II et III de la carte sismique grecque, dont les accélérations maximales au sol sont de 0,12g, 0,16g et 0,24g. Conformément à la législation grecque en

vigueur, les ponts sont conçus sur la base des Standards allemands DIN, à l'exception de la charge sismique, pour laquelle on utilise les standards grecs, alignés sur les Standards européens (Eurocodes). La majorité des ponts de l'Autoroute Egnatia sont conçus pour avoir un comportement élastique en cas de tremblement de terre, mais en ce qui concerne les grands ponts, cela

conduit à des dépenses exorbitantes et/ou à une conception excessivement détaillée et donc impraticable. Par conséquent, les grands ponts sont conçus de façon à comporter une ductilité inhérente afin de disperser l'énergie sismique subie [2].

Tous les ponts de ce projet sont construits en béton renforcé ou pré-compressé, pour des raisons telles que leur faible coût, leur durée excellente et leur facilité d'entre-

tien. Différentes formes de ponts, de types de tabliers et de méthodes de construction sont utilisés pour la livraison des ponts. On peut notamment citer les dalles évidées, les caissons, les poutres préfabriquées, les ponts à flèche, la technique du pont poussé et les coffrages mobiles. Les longueurs maximales des travées et la hauteur des piles suivant la méthode de construction sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 1 – Liste des principaux ponts de l'autoroute Egnatia

Bridge Name	Section	Length (m)		Span Arrangement (m)	Construction Method
		L	R		
Arachthos	2.3	1036	1036	98-6x140-98	balanced cantilever
Nestos	14.1.2	950	950	35-4x45-65-120-65-10x45-35	balanced cantilever & incremental launching
Greveniotikos	4.1.56	920	920	8x100-2x60	balanced cantilever
Kristalopigi	1.1.8	638	849	44-10x55-44 43-14x54.5-43	travelling formwork
Venetikos	4.1.3s	470	580	40-65-2x110-65-2x40 40-65-3x110-65-2x40	balanced cantilever
G3	4.1.3s	540	540	40-65-3x110-65-40	balanced cantilever
Metsovitikos	3.2	539	539	45-119-235-140	balanced cantilever
Votonosi	3.2	490	477	130-230-130 126-224-127	balanced cantilever
Megalorema	3.2	471	481	37-8x45.5-2x35 37-9x45.5-35	incremental launching
T9	2.4	405	475	65-2x105-2x65 61-70-2x102-2x70	balanced cantilever
G12	5.1	457	457	61-3x107-75	balanced cantilever
Lissos	15.2	433	433	29-3x37-6x44.5-26	incremental launching
G2	4.1.3s	426	426	57-3x104-57	balanced cantilever
Kompsatos	14.3	416	416	13x32	precast beams
G2	4.1.2s	313	378	50-85-110-68 50-75-100-75-50-28	balanced cantilever
Ionia	8.2	373	373	25-35-2x32-38-33-4x32-2x25	precast beams
Volos I/C	4.1.1s	345	348	94-157-94 95-158-95	balanced cantilever
Kavala No 5	13.7	345	270	37-2x39-3x43-2x38-25 26-2x39-3x43-37	precast beams
Panagia I/C	4.1.1s	281	325	86-110-85 61-2x100-64	balanced cantilever
T10	2.4	300	300	65-105-2x65	balanced cantilever
G11	5.1	300	247	27-34-62-115-62 64-119-64	balanced cantilever
Katouna	2.3	289	289	87-132-70	balanced cantilever
Kalogirou T5	4.2.2	280	280	7x40	precast beams
Aliakmonas T6	4.2.2	280	280	7x40	precast beams
G7	3.5.1	276	-	83-110-83	balanced cantilever
Mesovouni	1.1.7	269	268	48-61-100-60 48-60-100-60	balanced cantilever
G10	5.1	265	234	60-110-60-35 61-112-61	balanced cantilever
T8	2.3	182	246	28-3x42-28 28-5x38-28	in-situ span by span
T5	2.4	240	240	34-4x43-34	in-situ span by span
G4	4.1.3s	240	240	65-110-65	balanced cantilever
T11	11.2	240	240	8x30	precast beams



Bridge Name	Section	Length (m)		Span Arrangement (m)	Construction Method
		L	R		
G4	4.1.3s	240	240	65-110-65	balanced cantilever
G4	1.1.6	220	220	67-106-57	balanced cantilever
T4	8.1	214	214	17-5x36-17	balanced cantilever
T6	11.2	210	210	6x35	precast beams
Troumpeta	4.2.2	200	200	5x40	precast beams

Tableau 2 – Longueurs maximales des travées et hauteur des piles des ponts de béton de l'Autoroute Egnatia pour différentes méthodes de construction

Construction Method	Max. Span (m)	Max. Pier Height (m)
Traditional scaffolding	65.0	17.0
Precast prestressed beams with continuity slab	43.0	61.0
Incremental launching	45.5	27.0
Travelling formwork	55.0	30.0
Balanced cantilever	235.0	105.0

Pour des travées moyennes jusqu'à 45 m, la méthode de construction de tablier la plus largement utilisée est celle des poutres préfabriquées, dont la rapidité et le coût modéré sont reconnus. En Grèce, les tabliers de ponts constitués de poutres préfabriquées ont été traditionnellement construits sans qu'il y ait continuité des hourdis supérieurs en place sur les piles. Cependant, l'existence de nombreux joints d'expansion a causé des problèmes d'entretiens et eu un effet négatif sur le confort de circulation de ces ponts. Afin d'éviter ce type de défauts en ce qui concerne les ponts de l'autoroute Egnatia, les poutres préfabriquées sont utilisées en association avec des hourdis supérieurs en place avec continuité sur les piles. Les poutres de pont préfabriquées, qu'elles soient postcontraintes, précontraintes, ou qu'elles soient en béton renforcé, sont généralement construites par les entreprises sur site plutôt qu'en usine. Dans le cas des ponts ayant des piles relativement hautes, les poutres préfabriquées sont mises en place au moyen de grues mobiles.

En ce qui concerne les ponts comportant des travées allant jusqu'à 55 m, pour lesquels l'accès des grues mobiles est limité, d'autres types de construction, comme la technique du pont poussé et les coffrages mobiles, sont occasionnellement utilisés comme alternatives à la méthode de la poutre préfabriquée. Dans le cas des ponts traversant des ravins, la méthode du pont à flèche équilibré en place a été utilisée lorsque cela était nécessaire, en raison de la topographie ou de facteurs géotechniques, afin de réduire le nombre de piles par une augmentation significative de la longueur des travées, généralement de l'ordre de 100 m. Malgré sa rapidité de construction, la méthode du pont à flèche équilibré à segments préfabriqués n'est pas utilisée dans le cadre de ce projet, car elle n'est pas encore autorisée par les Standards allemands DIN.

Lorsque les tabliers sont construits au moyen de poutres préfabriquées, les piles sont habituellement soutenues par les piles au moyen de chevêtres et d'appareils d'appui, tandis que pour les tabliers construits en place, les piles sont généralement construites en continuité avec le tablier. Les piles des autoponts et les

piles plus courtes des passages inférieurs ont généralement des sections rectangulaires ou circulaires massives. Les sections creuses rectangulaires sont utilisées pour la construction de la plupart des piles hautes de ce projet, car elles sont économiques et ont une efficacité structurelle maximale en termes de ratios rigidité/masse et force/masse. Dans un petit nombre de cas, des piles à double volée, offrant une plus grande flexibilité que les sections creuses, ont également été utilisées pour la construction de piles hautes.

#### 4. CONSIDÉRATIONS SUR LA CONSTRUCTION DES PONTS

Le transport de fret et de personnes jouant un rôle crucial dans les économies modernes, la création d'un réseau routier adéquat est d'une grande importance d'un point de vue national et international. C'est pourquoi une part substantielle des dépenses gouvernementales est consacrée à la construction et à l'entretien de l'infrastructure routière. Des données publiées par l'American Road and Transportation Builders Association [3] indiquent que la valeur des travaux de construction réalisés aux Etats-Unis dans le cadre de projets de transport a atteint 75.7 milliards d'euros en 2001 (1 € = 1.05 \$), contre 46.1 milliards d'euros en 1993. Pour la même période, les autoroutes, ponts et tunnels représentaient 73.3 % des constructions liées au transport. En ce qui concerne les ponts en particulier, la valeur des travaux de constructions a augmenté de 83.7 % au cours de la période susmentionnée, et de 12.8 % rien qu'en 2001. En ce qui concerne l'Union européenne, le réseau autoroutier a été étendu de 32900 km en 1990 à 49200 km en 1999 [4]. En Grèce, les dépenses les plus significatives en matière d'infrastructures routières se font dans le cadre du Réseau transeuropéen de transport, pour un montant de 13.6 milliards d'euros.

La conception et la construction des ponts jouent un rôle significatif dans le processus de développement d'un système de transport durable. Lors de la réalisation des études de faisabilité destinées à estimer la via-

bilité de la construction de projets d'infrastructures de transport, outre la conception initiale et les coûts de construction, on considère également les coûts sur toute la durée de service des constructions.

Ces coûts incluent les coûts d'inspection, d'entretien et de réparation, d'éventuelles opérations de renforcement nécessitées par l'accroissement de la charge, ainsi que des possibles modifications ou même des remplacements des ponts en vue d'un élargissement destiné à faire face à de futures augmentations des charges de circulation. En Grèce, comme dans d'autres régions sujettes aux tremblements de terre, le coût des dégâts causés aux ponts par les séismes et les coûts supplémentaires liés à la perturbation du trafic qui en résulte sont également pris en compte dans le calcul des coûts sur toute la durée de service des constructions, ce qui conduit à des systèmes structurels remplissant toutes les conditions de prudence. Ce dernier point est illustré par le séisme de Northridge, survenu en 1994 aux Etats-Unis [4], ainsi que par celui de Hyogoken-Nanbu, survenu en 1995 au Japon, qui ont montré que malgré le nombre réduit de victimes (dans le cas de Northridge), les coûts faisant suite à la catastrophe se sont révélés intolérables. Ce document n'est pas destiné à fournir des analyses coûts-avantages prenant en compte les coûts sur toute la durée de service des ponts de l'autoroute Egnatia ainsi que les répercussions sociales de catastrophes éventuelles.

En matière de génie civil, on constate, tout au moins dans les pays développés, un souci accru d'améliorer l'esthétique des ponts et donc de minimiser leur impact négatif sur l'environnement. On peut débattre de la question de savoir si cela provient de l'application de critères environnementaux très stricts ou de l'abondance des progrès technologiques, qui permettent une plus grande créativité de conception. Dans le cadre de ce projet, qui traverse 250 sites d'importance historique, 17 zones du Réseau européen Natura 2000, 4 Zones humides protégées par la Convention internationale RAMSAR et environ 70 zones protégées par les Services Forestiers, l'attention particulière accordée à l'apparence visuelle des ponts ainsi qu'au choix de la méthode de construction se justifie pleinement. La standardisation des conceptions, la construction de tabliers à profondeur variable, l'accroissement de la

finesse des ponts, la réduction du nombre de piles et de joints d'expansion, ainsi que l'utilisation de matériaux à haute résistance visent à améliorer l'esthétique des ponts de béton de l'Autoroute Egnatia.

## 5. COÛTS DES PONTS DE L'AUTOROUTE EGNATIA

Le coût de la construction de ponts conçus en fonction des facteurs ci-dessus varie suivant le type de pont, la méthode de construction utilisée et les conditions du site (topographie, conditions concernant les fondations, risque sismique, importance du pont lui-même). Afin de mettre en lumière les variations affectant les coûts de construction de ponts ayant des caractéristiques différentes, on a utilisé des informations se rapportant à 141 ponts et stockées dans la base de données de la Structure autoroutière Egnatia [7]. Cette base de données a été mise à jour afin d'inclure, outre les caractéristiques techniques de chaque structure, des informations entrées sur site, comme les quantités matérielles relevées, les taux unitaires contractuels les plus récents et le coût total par construction. Les coûts enregistrés ont été réévalués au niveau des prix du premier trimestre 2003 conformément aux taux de variation annuelle des indices harmonisés des prix à la consommation fournis par Eurostat. Le coût total de construction de chaque pont comprend les coûts suivants:

- fondations
- nфраstructure
- superstructure et
- accessoires

Le coût des fondations inclut la construction des fondations des butées et des piles, la stabilisation des pentes et les travaux d'amélioration des sols, ainsi que les travaux de terrassement et tous les travaux nécessaires à l'accès au site de construction. Le coût des infrastructures inclut la construction des butées et des piles, tandis que le coût de la superstructure se rapporte au coût de construction du tablier. Enfin, le terme « accessoire » concerne le coût des appareils d'appui, des joints d'expansion, du système de drainage, des barrières de sécurité, de l'étanchéification et de la couche d'asphalte du pont. Les coûts moyens par catégorie de coût et méthode de construction et les résultats présentés dans les graphiques de l'illustration 3.

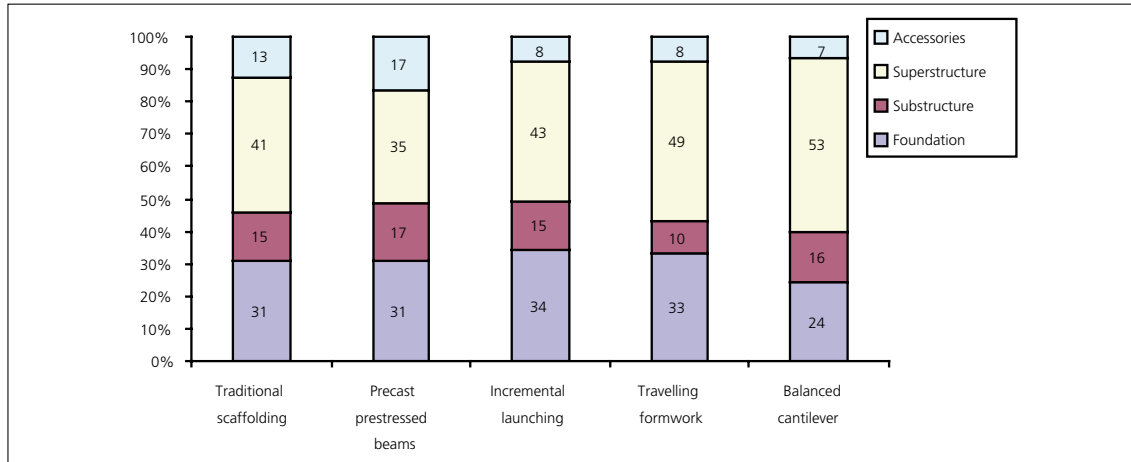


Illustration 3 – Répartition des coûts des ponts de l’Autoroute Egnatia

L’analyse de ces données montre que pour toutes les méthodes de construction, le coût de construction du tablier représentait la plus grande part du coût total, dans une proportion allant de 35 % pour les ponts avec poutres préfabriquées à 53 % pour les ponts à flèche équilibrés. Cette variation du coût du tablier est justifiée par le fait que les ponts à flèche équilibrés nécessitent des délais de construction plus longs et des sections transversales de plus grande dimension en raison de l’augmentation considérable de la longueur des travées, alors que les poutres préfabriquées permettent des économies d’échelle en raison de la répétition des éléments de poutres. Ensuite, la catégorie de coût la plus importante en ce qui concerne ces ponts est celle des fondations (entre 24 et 34 % du coût total de construction). Des proportions similaires (31 à 34 %) ont été observées pour toutes les méthodes, à l’exception de la méthode du pont à flèche équilibré, ce qui est attribué à la réduction du nombre de piles. Le coût des infrastructures se situait entre 10 % pour les ponts construits au moyen de coffrages mobiles, à 17 % pour les ponts comportant des tabliers à poutres préfabriquées et précontraintes, ce qui peut être attribué à la con-

struction de six ponts jumeaux traversant des ravins et comportant des piles relativement hautes [8]. Du fait de l’utilisation de nombreux appareils d’appui dans le cas des ponts à poutres précontraintes, le coût des accessoires représentait 17 % du coût total de construction, contre seulement 7 % dans le cas des ponts à flèche équilibrés, les appareils d’appui n’étant utilisés qu’au niveau des butées.

L’Illustration 4 montre clairement que sur l’autoroute Egnatia les ponts les plus coûteux au mètre carré sont les ponts à flèche équilibrés (1245 €/m<sup>2</sup>), tandis que les moins coûteux sont les ponts à travées multiples construits au moyen d’échafaudages traditionnels (745 €/m<sup>2</sup>). Il est normal que les ponts à flèche équilibrés soient les plus coûteux, car ils sont utilisés afin de faire face aux contraintes de terrain les plus difficiles, lorsque des travées de grande dimension sont inévitables et nécessitent donc des profondeurs de section et des hauteurs de piles considérablement plus importantes. En conséquence, le coût des tabliers des ponts à flèche équilibrés est directement proportionnel à la longueur de travée maximale, comme le montre l’Illustration 5.

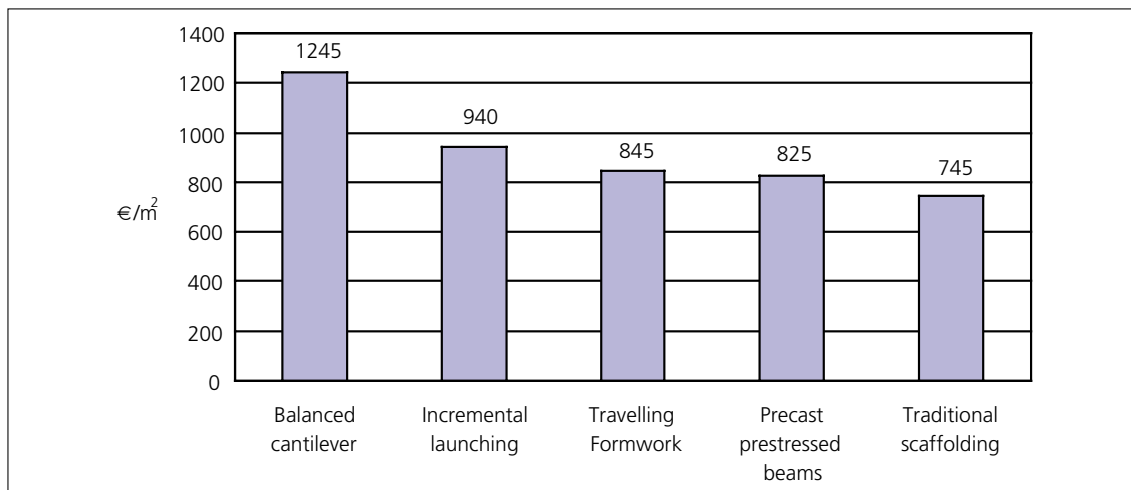


Illustration 4 - Coût des ponts de l’autoroute Egnatia

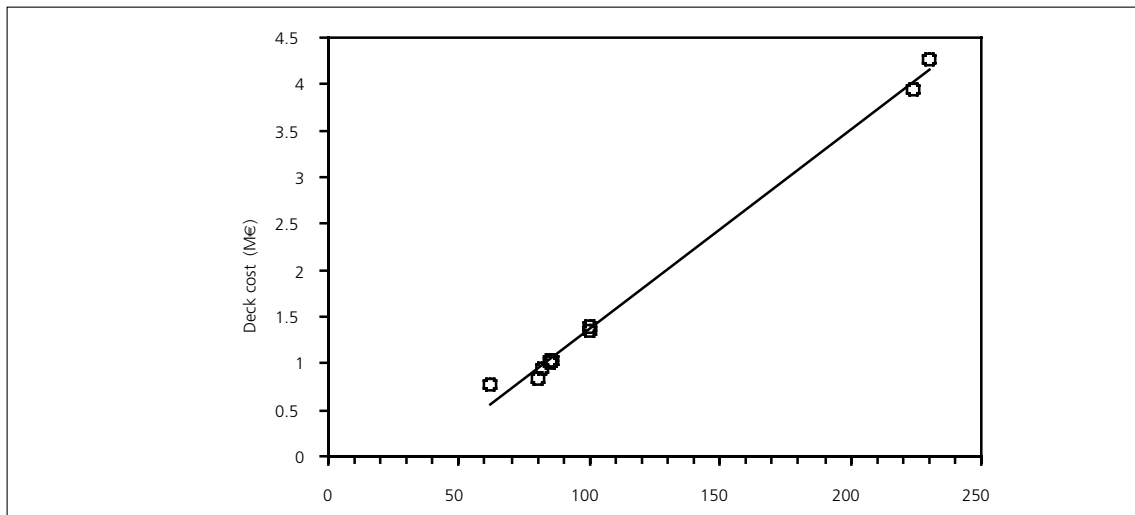


Illustration 5 – Relation du coût de la superstructure et de la longueur maximum des travées de certains ponts à flèche équilibrés de l'Autoroute Egnatia

Les ponts les plus économiques permettant de faire passer l'autoroute Egnatia au-dessus des routes locales, des ruisseaux, des cours d'eau et des vallées sont des ponts à travées multiples utilisant des méthodes d'échafaudages traditionnelles, puisque la hauteur moyenne des piles est d'environ 10 m. Les ponts appartenant à cette catégorie comprennent à la fois des ponts en béton précontraint, avec différentes sections transversales. Il peut s'agir de dalles pleines, évidées ou de caissons, tous coulés en place.

Les trois autres méthodes de construction ont des coûts moyens similaires. Plus précisément, les ponts à poutres préfabriquées ont un coût moyen de 825 €/m<sup>2</sup>, ceux qui sont construits à l'aide de la technique du coffrage mobile coûtent 845 €/m<sup>2</sup>, tandis que le coût de la construction par la technique du pont poussé est en moyenne de 940 €/m<sup>2</sup>. Ces trois méthodes ont été utilisées pour les ponts de l'autoroute Egnatia afin de traverser des vallées et ravins profonds, la hauteur maximale des piles étant de 61 m. Plus précisément, les poutres préfabriquées ont été utilisées non seulement dans des situations nécessitant des piles hautes, mais aussi lorsque la rapidité de construction était un facteur important. En ce qui concerne la différence de coût moyen entre la construction par la technique du pont poussé et les ponts construits à l'aide de coffrages mobiles, on peut conclure que l'utilisation des coffrages mobiles conduisait à des coûts plus importants pour les tabliers, mais que le coût global par mètre carré pouvait être réduit de manière significative lorsque cette méthode était utilisée pour la construction de ponts plus longs avec répétition multiple des mêmes longueurs de travées.

Le coût moyen ressortant de l'analyse des données disponibles quant au coût de construction des ponts de l'autoroute Egnatia est de 920 €/m<sup>2</sup>. Le Tableau 3 présente les coûts de construction de ponts de béton similaires en Europe réévalué en prix courants, sur un

échantillon de 19 ponts. Le coût moyen au mètre carré de ces ponts est de 1220 €/m<sup>2</sup>. Plus précisément, l'analyse des données disponibles montre les coûts moyens de construction par méthode de construction sont de 1320 €/m<sup>2</sup> pour les ponts de béton préfabriqués, 1020 €/m<sup>2</sup> pour la technique du pont poussé, 1050 €/m<sup>2</sup> pour les ponts construits au moyens de coffrages mobiles et enfin 1560 €/m<sup>2</sup> pour les ponts à flèche équilibrés. Il est intéressant de noter que même si presque tous les ponts de l'échantillon obtenu étaient situés dans des zones à très faible sismicité, à l'exception du viaduc de Petra tou Romiou à Chypre, les coûts résultants étaient significativement plus importants que les ponts de l'Autoroute Egnatia, tous conçus de manière plus prudente afin de supporter des forces sismiques considérables.

Cependant, une comparaison directe des coûts de construction n'est pas réalisable, car ceux-ci dépendent de plusieurs facteurs liés de manière interne et externe à l'industrie de la construction de ponts. Les faibles coûts de main-d'œuvre sont un facteur important dans la décision des entrepreneurs de procéder à la construction des poutres préfabriquées sur site plutôt qu'en usine. Les coûts de main-d'œuvre plus élevés dans les autres pays explique la tendance à industrialiser le plus possible le processus de production des ponts, ce qui nécessite moins de main-d'œuvre mais entraîne des frais généraux plus élevés. Afin de pallier cela, il faut qu'il existe une demande suffisante d'unités préfabriquées, ce qui n'a pas fait l'objet d'une promotion suffisante en Grèce. Pour cette raison et dans la mesure où l'industrie du béton est bien établie, les entrepreneurs grecs préfèrent les méthodes de construction de béton en place.

Enfin, la taille des entreprises de construction, la concurrence qui règne actuellement, le système d'attribution des marchés et l'importance des contrats sont d'autres aspects qui affectent les coûts de construction.





Table 3 - Technical and cost data of various bridges constructed in Europe

Construction Method	Client	Year of Completion	Length (m)	Width (m)	Max Span (m)	Max Pier (m)	Total Cost €/m <sup>2</sup>
<b>Precast beams with cast in-situ deck</b>							
Overpass K9 in Oberhausen Germany	Rhineland highways department at Essen	1994	52.0	13.7	26		1290
Overpass K11 at Oberhausen Germany	Rhineland highways department at Essen	1994	40.0	15.2	20		1300
Overpass 10c at Oberhausen Germany	Rhineland highways department at Essen	1992	123.5	22.3	42		1370
<b>Incremental Launching</b>							
Bergères Viaduct France	Scetauroute	1998	282.0	19.8	65	33	1220
Schnaittach Viaduct Germany	State of Bayern	1998	1139.6 1287.6	18.0 18.0	105	30	1080
Mulde Valley Bridge at Dessau Germany	Bundesministerium für Verkehr, Bau - und Wohnungswesen	1998	431.0 431.0	17.4 17.4	44	6	825
Hirschfeld Valley Bridge	German Unity Freeway Planning and construction company	1996	160.0 19.3 19.3	34	865		160.0
Saubach Valley Bridge Germany	German Unity Freeway Planning and construction company	1996	363.0 363.0	19.3 19.3	46		825
Zenn Valley Bridge Germany	Road construction department of Nürnberg	1991	484.0	13.2	44	12	1335
Petra Tou Romiou Viaduct Cyprus	Cyprus Public works department	2001	422.0 422.0	12.0 12.0	55.4	60	985
<b>Travelling Formwork</b>							
Wallbach Valley Bridge Germany	State road construction Rheinland - Pfalz	1998	446.0 446.0	10.5 10.5	42		1080
Ulbach Valley Bridge K607 Germany	State of Hesse	1994	225.0 225.0	14.5 14.5	50		1020
<b>Cantilever Construction</b>							
Mentue Bridge Switzerland	Canton of Vaud	1999	565.0 571.0	13.4 13.4	149	104	1335
La Barricade Viaduct France	Scetauroute	1999	420.0	19.0	150	60	1780
<b>Other Bridges</b>							
Kochertalbrücke Hüttlingen Germany	Land Baden-Württemberg	1998	311.2	13.1-19	60	17	1370
Schornbach Valley Bridge Germany	Land Baden-Württemberg	1996	618.0	25.5	46		1110
Neisse Bridge at Görlitz Germany	State of Sachsen	1994	339.5	29.5	39		1040
Francois Mitterand Bridge France	Direction of Equipment of Gironde	1993	642.0 642.0	14.0 14.0	102		1340
Schwarzenbeck Bridge Germany	Land Schleswig - Holstein	1992	318.0	15.0	30		2000

Source: i) SEI Journal [9, 10], ii) Structurae International Database (www.structurae.de), iii) Köhler + Seitz Beraten und Planen GmbH.

## 6. CONCLUSIONS

L'autoroute Egnatia est un projet qui sera réalisé conformément aux standards actuels les plus perfectionnés en s'efforçant d'atteindre un équilibre entre les coûts financiers et les avantages apportés à la société grâce à l'établissement d'un lien vital entre les villes et villages de la Grèce du Nord, tout en faisant preuve du respect qui convient envers l'environnement.

Ce document a mis l'accent sur l'analyse des données de coût réel des ponts, achevés ou actuellement en cours d'achèvement, afin de fournir une image claire des coûts moyens des ponts par mètre carré et par méthode de construction. Ce document montre, comme on pouvait s'y attendre, que la méthode la plus économique pour la construction de ponts est l'utilisation de méthodes traditionnelles d'échafaudage et que la plus chère est celle des ponts à flèche équilibrés, utilisée pour la construction de ponts à travées longues. Dans les situations où l'utilisation des méthodes d'échafaudage traditionnelles est physiquement impossible, il semble que les poutres préfabriquées soient la solution la plus économique, suivie par celle des coffrages mobiles et la technique du pont poussé, qui n'apporte d'avantages potentiels que pour les ponts de grande longueur.

Les résultats de cette analyse pourraient être utilisés pour calculer des devis de coûts lors des études de faisabilité de projets d'infrastructures similaires en Grèce. En tout état de cause, en dépensant judicieusement les budgets alloués, on sera récompensé au centuple, en bénéficiant d'une infrastructure de transport sûre, fiable et durable.

## 7. RÉFÉRENCES

- [1] Trans-European Transport Network TEN-T Priority Projects. (2002) European Communities, Luxembourg.
- [2] AHMADI-KASHANI, K. and KONSTANTINIDIS, D. (2003) Design of Egnatia motorway bridges. Accepted for publication in the Proceedings of the fib-Symposium Concrete Structures in Seismic Regions, 6-9 May, Athens.
- [3] Value of Transport Construction Put in Place 1993-2001. (2002) American Road and Transportation Builders Association.
- [4] STRELOW H. (2002) Statistics in Focus (Transport Theme 7): Transport Infrastructure in the European Union and Central European Countries 1990-1999, EUROSTAT, Luxembourg.
- [5] BRODERICK, B. M. and ELNASHAI, A. S. (1995) Analysis of the failure of Interstate 10 ramp during the Northridge earthquake of 17 January 1994. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 24, 189-208.
- [6] Proposal on Earthquake Resistance for Civil Engineering Structures. (1995) Special Task Committee of Earthquake Resistance of Civil Engineering Structures, Japan Society of Civil Engineers.
- [7] ABEYSINGHE R. S., KONSTANTINIDIS G. and LAMBROPOULOS S. (1999) Managing the design of structures in a mega project, *Computer Techniques for Civil and Structural Engineer*, CIVIL-COMP PRESS, Topping B.H.V. and Kumar B. (eds).
- [8] HINDLEY, G., ABEYSINGHE, R., KONSTANTINIDIS, D., PAPAIOGA, I. and KONSTANTINIDIS, G. (2000) "Six ravine bridges for the Egnatia Motorway, Greece", *Structural Engineering International*, IABSE 10 (4), 231-232.
- [9] HOURIET, B. and VAUCHER, A. (2000) Design and construction of the Mentue bridge, *Structural Engineering International*, IABSE 10 (1), 19-20.
- [10] LLOMBART, J. A. and REVOLTOS J. (2000) Petra tou Romiou Viaduct, *Structural Engineering International*, IABSE 10 (4), 233-234.