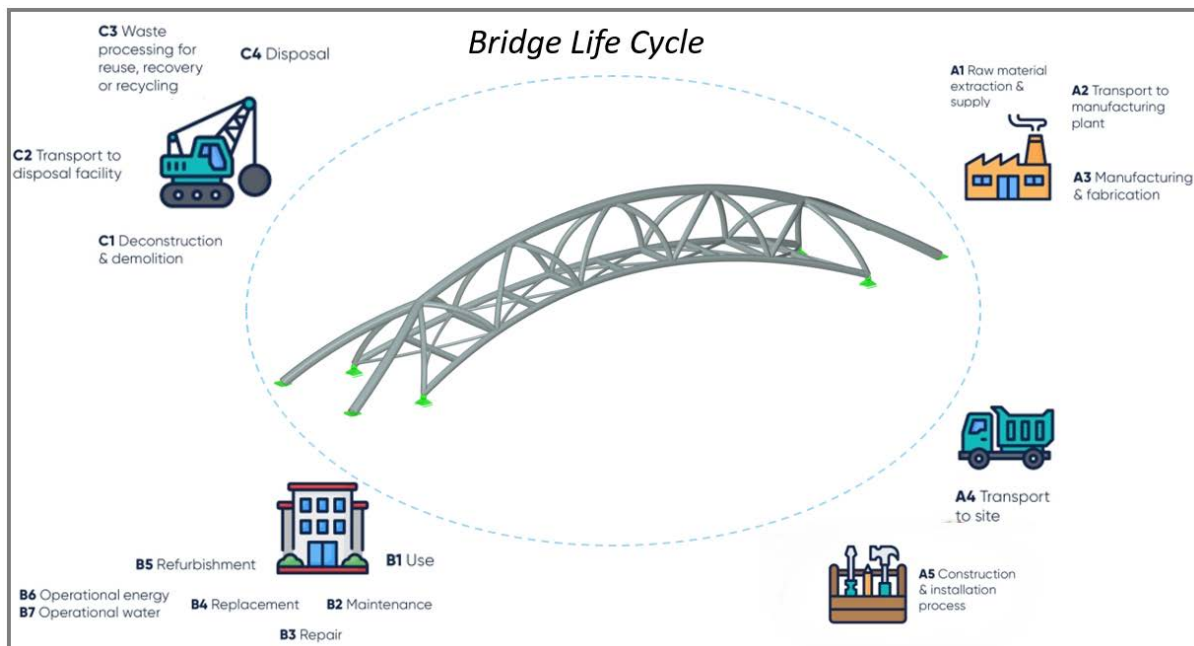




National Technical University of Athens
Postgraduate Programme
Analysis and Design of Structures
School of Civil Engineering
Institute of Steel Structures



Structural Performance and Sustainability Assessment of a Pedestrian Bridge: A comparative study of Aluminum and Steel



Master Thesis

Apostolos Zantzas

EMK ME 2025 2

Supervisor: Professor. D. Charalampos Gantes Dr

Co-Supervisor: Dr.-Ing. Stefanos Gkatzogiannis

Athens, March 2025

Copyright © Απόστολος Ζάντζας, 2025

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Apostolos Zantzas, 2025

All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Απόστολος Ζάντζας (2025)

Δομοστατικός Σχεδιασμός και Αξιολόγηση Βιωσιμότητας Πεζογέφυρας:
Συγκριτική Μελέτη Αλουμινίου και Χάλυβα
Μεταπτυχιακή Εργασία ΕΜΚ ΜΕ 2025 2
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Apostolos Zantzas (2025)

MasterThesis ΕΜΚ ΜΕ 2

Structural Performance and Sustainability Assessment of a Pedestrian Bridge:
A comparative study of Aluminum and Steel
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Aknowledgements

I would first like to express my deepest gratitude to my family for their unwavering support throughout these years. Their encouragement has been invaluable in my pursuit of both my Master's degrees, enabling me to stay focused and ultimately bring this journey to completion.

I am also sincerely grateful to my colleague, Vana Pappa, for dedicating countless hours to answering my questions and offering her support throughout the course of this thesis. Her assistance and willingness to help made a significant difference in overcoming challenges along the way.

Last but not least, I extend my sincere gratitude to my co-supervisor, Dr.-Ing. Stefanos Gkatzogiannis, whose guidance and expertise were instrumental throughout this study. His continuous feedback and insightful advice helped me navigate every difficulty, ensuring the successful completion of this research.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
POSTGRADUATE PROGRAMME
ANALYSIS AND DESIGN OF STRUCTURES
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES



MASTER THESIS

EMK ME 2025 2

**Structural Performance and Sustainability Assessment of a Pedestrian Bridge:
A comparative study of Aluminum and Steel**

Apostolos Zantzas

Supervisor: Professor Dr. Charalampos Gantes

Co-supervisor: Dr.-Ing Stefanos Gkatzogiannis

SUMMARY

The structural design and sustainability assessment of pedestrian bridges, as well as other structures, play a crucial role in modern infrastructure, balancing performance, environmental impact, and cost efficiency. This study evaluates an aluminum pedestrian bridge as an alternative to an existing steel design, assessing both structural feasibility and sustainability through Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Costing (LCC).

The bridge was modeled in RFEM 6 and structural verifications were carried out by hand according to EN 1999-1-1, with a detailed analysis of aluminum's mechanical behavior, including the effects of welding, which induce strength reduction in the Heat-Affected Zone (HAZ). Design verifications were conducted under both Ultimate Limit States (ULS) and Serviceability Limit States (SLS), ensuring compliance with structural safety and performance criteria. Comparisons with the steel model revealed that aluminum can achieve equivalent structural adequacy, provided that cross-section selection accounts for its lower stiffness and HAZ-related strength reductions.

Based on the drawn assumptions and the input data that were used, to which the results of LCA and LCC show significant sensitivity, the sustainability analysis involved a cradle-to-grave LCA and LCC comparison between the aluminum and steel bridge designs, considering material extraction, transportation, construction, maintenance, and end-of-life scenarios. Results indicate that while aluminum exhibits a lower overall weight and enhanced corrosion resistance, it has a higher embodied energy and CO₂ footprint in the production phase. However, the carbon benefit from its high recyclability and potential for material reuse mitigate long-term environmental impacts even though aluminum has higher carbon emissions than steel throughout the life cycle of the structure. From a cost perspective, initial investment in aluminum is higher, but its lower maintenance requirements offer economic advantages over time.

The findings highlight that material selection should not be solely based on structural criteria but also must integrate sustainability and life-cycle considerations. The study provides valuable insights for optimizing pedestrian bridge design by balancing mechanical performance, cost efficiency, and environmental responsibility.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΜΚ ΜΕ 2025 2

**Δομοστατικός Σχεδιασμός και Αξιολόγηση Βιωσιμότητας Πεζογέφυρας:
Συγκριτική Μελέτη Αλουμινίου και Χάλυβα**

Απόστολος Ζάντζας

Επιβλέπων: Καθηγητής Dr. Χαράλαμπος Γαντές

Συνεπιβλέπων: Dr.-Ing Στέφανος Γκατζογιάννης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο δομοστατικός σχεδιασμός και η αξιολόγηση βιωσιμότητας των πεζογεφυρών (από άποψη εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και κόστους) αποτελούν βασικές παραμέτρους στον σύγχρονο σχεδιασμό υποδομών, συνδυάζοντας απόδοση, περιβαλλοντικό αποτύπωμα και οικονομική αποδοτικότητα. Η παρούσα μελέτη διερευνά τη χρήση αλουμινίου ως εναλλακτική επιλογή σε σχέση με τον υπάρχοντα σχεδιασμό πεζογέφυρας από χάλυβα, αξιολογώντας τόσο τη δομοστατική του επάρκεια όσο και τη βιωσιμότητα μέσω Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment-LCA) και Κοστολόγησης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Costing-LCC).

Το μοντέλο της πεζογέφυρας αναπτύχθηκε στο RFEM 6, ακολουθώντας τον Ευρωκώδικα 9 (EN 1999-1-1:2021), με έμφαση στη μηχανική συμπεριφορά του αλουμινίου και τις επιπτώσεις της συγκόλλησης στη μείωση αντοχής στη θερμοεπηρεαζόμενη ζώνη (HAZ). Η δομοστατική ανάλυση περιλάμβανε ελέγχους Οριακής Κατάστασης Αστοχίας (Ultimate Limit State-ULS) και Οριακής Κατάστασης Λειτουργικότητας (Serviceability Limit State-SLS), εξασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις ασφάλειας και λειτουργικότητας. Τα αποτελέσματα σύγκρισης με το μοντέλο χάλυβα έδειξαν ότι το αλουμίνιο μπορεί να επιτύχει ισοδύναμη δομοστατική επάρκεια, εφόσον η επιλογή διατομών λαμβάνει υπόψη τη σημαντική μείωση αντοχής λόγω της θερμοεπηρεαζόμενης ζώνης.

Η ανάλυση βιωσιμότητας πραγματοποιήθηκε μέσω LCA και LCC με προσέγγιση «από την παραγωγή έως το τέλος του κύκλου ζωής του έργου» (cradle-to-grave), λαμβάνοντας υπόψη την εξόρυξη υλικών, τη μεταφορά, την κατασκευή, τη συντήρηση και το τέλος ζωής της κατασκευής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, παρά το μικρότερο βάρος και την αυξημένη αντοχή στη διάβρωση, το αλουμίνιο παρουσιάζει υψηλότερη ενσωματωμένη ενέργεια και αποτύπωμα CO₂ κατά τη φάση παραγωγής. Ωστόσο, ο βαθμός ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του υλικού μειώνει τις μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις παρότι ο χάλυβας έχει μικρότερες εκπομπές καθόλη την διάρκεια ζωής του έργου. Από οικονομική άποψη, το αρχικό κόστος του αλουμινίου είναι υψηλότερο, αλλά οι μειωμένες ανάγκες συντήρησης και η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής προσφέρουν οικονομικά οφέλη σε βάθος χρόνου.

Τα ευρήματα της μελέτης υπογραμμίζουν ότι η επιλογή υλικού δεν πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά σε δομοστατικά κριτήρια, αλλά να ενσωματώνει παραμέτρους βιωσιμότητας και κόστους. Η έρευνα παρέχει χρήσιμες γνώσεις για τη βέλτιστη σχεδίαση κατασκευών γενικότερα, εξισορροπώντας τη μηχανική απόδοση, την οικονομική αποδοτικότητα και την περιβαλλοντική υπευθυνότητα.