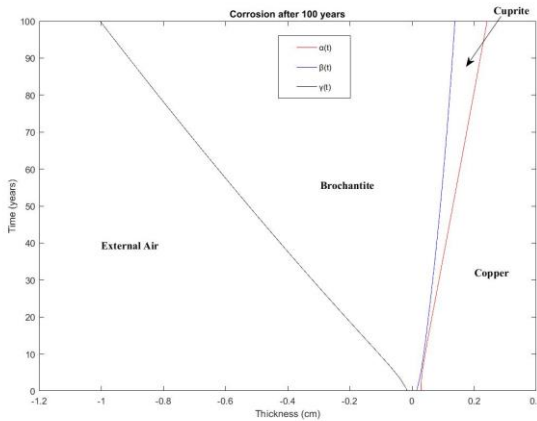


Σχήμα 3. Εξέλιξη του βροχαντίτη και του κυπρίτη πάνω σε δείγμα χαλκού μετά από 50 έτη



Σχήμα 4. Εξέλιξη του βροχαντίτη και του κυπρίτη πάνω σε δείγμα χαλκού μετά από 100 έτη

Είναι φανερό επομένως ότι με την πάροδο των ετών η διάβρωση εξελίσσεται αργά αλλά συνάμα και σταθερά πάνω στο υλικό. Παρατηρείται ότι ενώ αρχικά το κύριο προϊόν της διάβρωσης, ο βροχαντίτης επεκτείνεται με ένα σταθερό σχετικά ρυθμό πάνω στον κυπρίτη, στο διάστημα περίπου από 5 έως 20 έτη η επέκταση αυτή γίνεται με πιο γρήγορο ρυθμό και όπως φαίνεται και γραφικά το σύνορο β (μπλε γραμμή) συγκλίνει προς το σύνορο α (κόκκινη γραμμή). Στην συνέχεια η διαφορά αυτή των δύο συνόρων αυξάνει και προκύπτει ξανά την εικόνα μεταξύ αυτών όπως στα πρώτα έτη. Η συμπεριφορά αυτή πιθανώς να οφείλεται σε κάποιο μικρό αριθμητικό σφάλμα της αριθμητικής μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε, ωστόσο τα αποτελέσματα αποτυπώνουν με σαφήνεια την όλη πορεία της διάβρωσης πάνω στο δείγμα του χαλκού.

Τέλος στον παρακάτω Πίνακα Ι αναγράφονται κατά μέσο όρο ανά δεκαετία η επέκταση του κυπρίτη πάνω στον χαλκό (α), η επέκταση του βροχαντίτη πάνω στον κυπρίτη (β) και το αποκαλούμενο ως «πρήξιμο» του υλικού (γ) μέσα στα 100 έτη, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που ληφθήκαν από την υλοποίηση του μοντέλου.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΟΡΩΝ ΑΝΑ ΔΕΚΑΕΤΙΑ

Σύνορα	Μέσος Όρος Τιμών (cm)	Τυπική Απόκλιση
--------	-----------------------	-----------------

α	$2.421 \cdot 10^{-2}$	$1.6729 \cdot 10^{-2}$
β	$1.43 \cdot 10^{-2}$	$1.6524 \cdot 10^{-2}$
γ	$1.0037 \cdot 10^{-1}$	$6.2691 \cdot 10^{-2}$

ΟΡΟΛΟΓΙΑ

ρ_C, ρ_B, ρ_D : πυκνότητες χαλκού, βροχαντίτη, κυπρίτη, $M_C, M_B, M_D, M_S, M_W, M_G = M_C$: μοριακά βάρη χαλκού, βροχαντίτη, κυπρίτη, SO_2, H_2O, O_2 , D_S, D_W, D_G, D_G : συντελεστές διάχυσης SO_2, H_2O, O_2 σε βροχαντίτη και κυπρίτη, n_B, n_D : ποράδες κυπρίτη, βροχαντίτη, ω_B, ω_D : μεταβολές όγκου κυπρ.-βροχ., χαλ.-κυπρ., t_r : χαρακτηριστικός χρόνος, λ : χαρακτηριστικό μήκος, $S_r, W_r, O_r = G_r$: χαρακτηριστικές τιμές SO_2, H_2O, O_2 .

ΙV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάστηκε σε αυτήν την εργασία αποτελεί ένα πρώτο στάδιο μιας πειραματικής προσπάθειας για την περιγραφή και πρόβλεψη της πολύπλοκης διαδικασίας της διάβρωσης. Κύριος στόχος με αυτήν την μοντελοποίηση ήταν η δημιουργία ενός καλά σταθμισμένου μοντέλου, το οποίο θα έχει τη δυνατότητα να προσομοιάζει την εξέλιξη της διάβρωσης πάνω σε ένα μέταλλο για να λειτουργήσει ως ένα εργαλείο με το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί και να αξιολογηθεί η εξέλιξη αυτού του φαινομένου. Σε ένα επόμενο στάδιο το μοντέλο θα μπορούσε να εμπλουτιστεί, λαμβάνοντας υπόψιν και άλλους παράγοντες που συντελούν σε αυτή την διαδικασία, όπως οι εναλλαγές στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή η αύξηση της ανθεκτικότητας του μετάλλου χρησιμοποιώντας κάποια αντιδιαβρωτική επικάλυψη.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Νικολόπουλο Χρήστο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση καθώς και την οικογένεια μου για την στήριξη τους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Chawla, S. K. & Payer, J. H. (1990). *The Early Stage of Atmospheric Corrosion of Copper by Sulfur Dioxide*, J. Electrochem. Soc. 137 (1).
- Clarelli, F., De Filippo, B., Natalini, R. (2014). *Mathematical Model of Copper Corrosion*, Appl. Math. Model. 38 (19–20), 4804–4816.
- Clarelli, F., Fasano, A. & Natalini, R. (2008). *Mathematics and Monument Conservation: Free Boundary Models of Marble Sulfation*, SIAM j. Appl. Math. 69 (1), 149–168.
- Crank J. (1984). *Free and Moving Boundary Problem*, Clarendon Press, Oxford.
- Filippo, B. De., Campanalla, L., Brotzu, A., Natalini S. & Ferro, D. (2010). *Characterization of Bronze Corrosion Products on Exposition to Sulphur dioxide*, Adv. Mater. Res. 138, 21–28.
- Larson, R. S. (2002). *A Physical and Mathematical Model for the Atmospheric Sulfidation of Copper by Hydrogen Sulfide*, J. Electrochem. Soc. 149 (2), B40–B46.
- Logan, J. D. (2009). *Εφαρμοσμένα Μαθηματικά*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Mac Load, I. D. (1981). *Bronze Disease: An Electrochemical Explanation*, ICCM Bull, 7 (1) 16.
- Odneval Wallander, I. & Leygraf, C. (1995). *Atmospheric Corrosion of Copper in a Rural Atmosphere*, J. Electrochem. Soc. 142, 3682–3689.
- Smith, G. D. (1985). *Numerical Solution of Partial Differential Equations: Finite Difference Method*, Third Edition, Oxford University Press.