

## ΡΕΑΛΙΣΤΙΚΗ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ 3D ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Ε. Άγα, Ε. Γκανιάτσα, Γ. Καρράς, Χ. Μπιτζιλέκη, Β. Νάκος  
Τομέας Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αναλύεται μια διαδικασία για την τρισδιάστατη αναπαράσταση αντικειμένων που συνδυάζουν εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, αποτελούμενους κυρίως από επίπεδες επιφάνειες. Η μεθοδολογία βασίζεται στην φωτογραμμετρική παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων με τη βοήθεια λογισμικού επίγειας φωτογραμμετρίας, τον συνδυασμό τους με τυχόν προϋπάρχουσα πληροφορία και, τέλος, την ενσωμάτωση σε αυτά στοιχείων ρεαλισμού με την «επένδυσή» τους με ψηφιακές εικόνες. Η απόδοση περιλαμβάνει τις εικόνες των επιπέδων που αποτελούν το αντικείμενο, φυσικό και τεχνητό φωτισμό, ουράνιο θόλο, ατμοσφαιρικές συνθήκες κ.λπ. Ως τρόπος απόδοσης επιλέγεται η δημιουργία μιας «εικονικής διαδρομής» στο χώρο του μοντέλου. Η μεθοδολογία δοκιμάστηκε σε εφαρμογή που παρουσιάζει την κύρια είσοδο και τμήμα εσωτερικού χώρου από το ισόγειο του Κτιρίου του Τμήματος Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οπτικοποίηση είναι ένας ευρέως διαδεδομένος σήμερα τρόπος παρουσίασης 3D πληροφοριών σε διάφορους τομείς της επιστήμης και τεχνολογίας (τοπογραφία, οδοποιία, αρχιτεκτονική, χωροταξία, αλλά ακόμα και ιατρικές ή βιομηχανικές εφαρμογές). Οι περιπτώσεις που είναι πλησιέστερα στο αντικείμενο του μηχανικού αφορούν κυρίως αναπαραστάσεις ψηφιακών μοντέλων εδάφους, αστικών περιοχών, αρχιτεκτονικών σχεδίων και μελλοντικών αρχιτεκτονικών εφαρμογών (ανέγερση νέων κτιρίων, αναπλάσεις, αναπαλαιώσεις κ.λπ.), αλλά οι χρήσεις της αφορούν και την παραγωγή άλλων προϊόντων, πχ. σε προσομοιώσεις πτήσεων για την εκπαίδευση πιλότων.

Ειδικότερα όσον αφορά την Χαρτογραφία, ένας από τους βασικούς στόχους της είναι η όσο το δυνατόν πιο κατανοητή στον άνθρωπο απεικόνιση του φυσικού ανάγλυφου. Η οπτικοποίησή διευκολύνει την αντίληψη της μορφολογίας του, ενώ παρουσιάζει το σημαντικό πλεονέκτημα να συνδυάζει την δυνατότητα άντλησης όλων των πληροφοριών (ποσοτικές, ποιοτικές, θεματικές) που μπορούν να εξαχθούν από έναν δισδιάστατο χάρτη με την ρεαλιστική αναπαράσταση της περιοχής που απεικονίζεται.

Η οπτικοποίηση του ανάγλυφου χρησιμοποιείται επίσης στην ανάλυση τοπίου, το αντικείμενο της οποίας είναι ακριβώς η ανάλυση, η αξιολόγηση, ο σχεδιασμός και η διαχείριση του οπτικού περιβάλλοντος, δηλαδή η μελέτη και παρουσίαση των επιπτώσεων στο τοπίο από τη χωροθέτηση διαφόρων δραστηριοτήτων σε αυτό (Γσουχλαράκη, 1996). Όσον αφορά τα αστικά τρισδιάστατα μοντέλα, η ρεαλιστική οπτικοποίηση ζητείται εν προκειμένω κυρίως στον σχεδιασμό νέων κτιρίων ή τις αναπαλαιώσεις. Οι όψεις των κτιρίων μπορούν να αποδοθούν με εικόνες ώστε να είναι πιο ρεαλιστική η αναπαράστασή τους (Höhle & Praest Joergensen, 1996). Σε τέτοιες περιπτώσεις κατασκευάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου σε κάποιο σχεδιαστικό πακέτο και προσαρμόζονται σε αυτό οι εικόνες των αντικειμένων του, πχ. όψεις κτιρίων, δρόμοι, πεζοδρόμια (Νάκος & Τζελέπης, 1998).

Συχνά, χρειάζεται να εκτιμώνται οι επιπτώσεις μιας αρχιτεκτονικής μελέτης σε κάποια περιοχή πριν πραγματοποιηθούν τα σχέδια χωροθέτησης. Η σημερινή τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών παρέχει τη δυνατότητα να δημιουργούνται προς τούτο ρεαλιστικά τρισδιάστατα μοντέλα (Στεργιόπουλος, 1997· Lemmens, 2000). Η οπτικοποίηση τείνει έτσι, με μια έννοια, να αντικαταστήσει λειτουργίες της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής μακέτας, μιας και είναι σχετικά απλό από τα αρχιτεκτονικά σχέδια να προκύψει το τρισδιάστατο ρεαλιστικό μοντέλο ενός κτιρίου, και μάλιστα υπό διάφορες συνθήκες φωτισμού, κίνησης, κ.λπ. που προσομοιάζουν την πραγματικότητα, καλύπτοντας έτσι βασικές απαιτήσεις μιας μακέτας.

Τα τελευταία χρόνια, και ιδίως μετά την εξάπλωση της χρήσης του Διαδικτύου (Internet), υπάρχει η τάση να διευρυνθούν οι χρήσεις του και σε άλλους τομείς, αφού προσφέρει αμφίδρομη ανταλλαγή πληροφοριών και επικοινωνία. Ειδικά με την διαθέσιμη για το Διαδίκτυο γλώσσα VRML είναι δυνατή η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων με στοιχεία ρεαλισμού και η εξαγωγή τους σε αυτό.

Στην εργασία παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη πορεία για την τρισδιάστατη αναπαράσταση αντικειμένων που συνδυάζουν εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται φωτογραμμετρική απόδοση τμήματος κτιρίου με τη βοήθεια λογισμικού επίγειας φωτογραμμετρίας, ακολουθεί τρισδιάστατη σχεδίαση των εσωτερικών χώρων και των λεπτομερειών τους έτσι ώστε το

μοντέλο να αποτελείται από ένα σύνολο τρισδιάστατων εδρών. Κατόπιν, γίνεται «επένδυση» των εδρών με τις εικόνες που απεικονίζουν τις ορθογώνιες επιφάνειες τους, ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία. Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε για το κτίριο του ΤΑΤΜ του ΕΜΠ (Γκανιάτσα & Μπιτζιλέκη, 2000) και ουσιαστικά περιλαμβάνει την κύρια είσοδο, τον προθάλαμο, τον χώρο μεταξύ των αμφιθεάτρων και την νότια είσοδο του κτιρίου, όπως αυτά παρουσιάζονται στην Εικ 1.



**Εικόνα 1.** Χαρακτηριστικές εικόνες του μοντέλου

Η εφαρμογή έγινε με απλά μέσα, και συγκεκριμένα με τη βοήθεια του λογισμικού επίγειας φωτογραμμετρίας 3D BUILDER, έκδοση Pro για Windows, του σχεδιαστικού πακέτου AutoCAD, ίδιου λογισμικού ψηφιακής αναγωγής, του λογισμικού επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων Adobe PhotoShop και του λογισμικού οπτικοποίησης 3D Studio MAX.

#### **ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ**

Αρχικό στάδιο στην διαδικασία της οπτικοποίησης είναι η δημιουργία του ίδιου του τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου, είτε πρόκειται για μοντέλο ανάγλυφου είτε για αστικό μοντέλο είτε για το μοντέλο οποιουδήποτε άλλου αντικειμένου ή φαινομένου του χώρου. Ανάλογα με το βαθμό της λεπτομέρειας που πρέπει να αποδοθεί, την απαιτούμενη ακρίβεια καθώς και το σκοπό της οπτικοποίησης, το μέγεθος, την ποιότητα αλλά και την ποσότητα των πληροφοριών, υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα οπτικοποίησης των προαναφερθέντων προϊόντων (σε μορφή πλέγματος, με σκίαση, με χρωματισμό, με εικόνες, με παρεμβολή και άλλων δεδομένων όπως δρόμοι, κτίρια ή θεματική πληροφορία).

Ωστόσο, μειονέκτημα αυτών των αποδόσεων θα έλεγε κανείς ότι είναι η έλλειψη ευελιξίας. Η “παγωμένη” προοπτική απεικόνιση ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους με σκίαση ή με διαφορετικές αποχρώσεις δίνει μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση του τοπίου ή ακόμα και ευρύτερων περιοχών, εντούτοις παραμένει μια στατική άποψη ενός αρκετά πιο πολύπλοκου συνόλου. Για να αποδοθεί αυτή η πολυπλοκότητα πρέπει να δημιουργηθούν αρκετά σχέδια και από διάφορες οπτικές γωνίες (Dorffner, 2000). Από αυτή λοιπόν την άποψη ένας ιδιαίτερα πρόσφορος τρόπος παρουσίασης είναι η οπτικοποίηση και κίνηση ενός δυναμικού ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Η “περιήγηση” μπορεί να γίνει είτε μέσα σε ένα μοντέλο στο οποίο έχει δοθεί τεχνητή υφή και χρώμα (πχ. Γεωργαράς κ.ά., 1995) είτε, για μια πιο ρεαλιστική εντύπωση, με “επένδυση” του μοντέλου με ψηφιακές εικόνες.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας περιορίζεται στην κατασκευή μοντέλου αντικειμένων που αποτελούνται από επίπεδες επιφάνειες. Έτσι, το σύνολο που επελέγη ικανοποιεί αυτή την προϋπόθεση. Τα αρχικά δεδομένα είναι ψηφιακές εικόνες τμήματος του κτιρίου και οριζοντιογραφικά στοιχεία που παρέχονται από τα αρχιτεκτονικά σχέδια των κατόψεων του. Η δημιουργία της τρισδιάστατης πληροφορίας χωρίζεται σε δύο μέρη:

1) Φωτογραμμετρική απόδοση της κυρίας εισόδου του κτιρίου από ψηφιακές εικόνες μέσω του λογισμικού επίγειας φωτογραμμετρίας 3D Builder. Το λογισμικό αυτό δουλεύει με φωτογραφίες που καταγράφουν διαφορετικές όψεις του αντικειμένου. Εκμεταλλευόμενο τις σχέσεις μεταξύ των σημείων που αναγνωρίζονται ως “ομόλογα” σε διάφορες εικόνες, το λογισμικό μπορεί – βάσει των γνωστών παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού και των φωτοσταθερών σημείων – να ορίσει την θέση και τον προσανατολισμό της μηχανής για κάθε εικόνα (εξωτερικός προσανατολισμός). Στην συνέχεια υπολογίζονται οι συντεταγμένες XYZ κάθε μετρούμενου σημείου στο αντικείμενο. Τα σημεία συλλέγονται ως στοιχεία ενός χαρακτηριστικού (γραμμή, πολύγωνο) και κατόπιν το πρόγραμμα παρουσιάζει το αποτέλεσμα του μαθηματικού υπολογισμού ως ένα τρισδιάστατο μοντέλο («πλέγμα») και σε τύπο αρχείου αναγνωρίσιμο από σχεδιαστικά πακέτα. Σημαντική δυνατότητα του προγράμματος είναι ότι μπορεί να “δεσμεύσει” στοιχεία του σχεδίου (πχ. κατακόρυφες ευθείες, παραλληλία προς τους άξονες κ.λπ.).

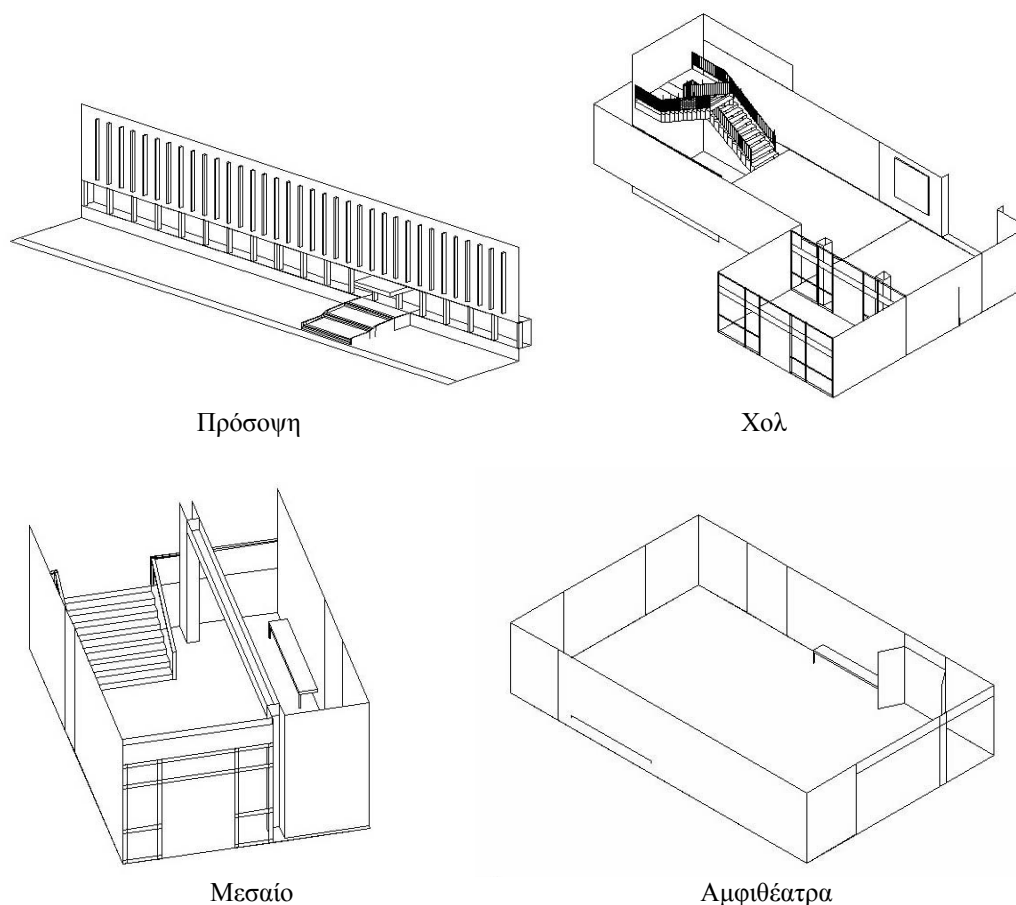
2) Τρισδιάστατη σχεδίαση του υπόλοιπου τμήματος του κτιρίου. Ουσιαστικά, η κάτοψη του εσωτερικού χώρου σχεδιάστηκε σε περιβάλλον AutoCAD με βάση τις κατόψεις του ισόγειου και του πρώτου ορόφου της αρχιτεκτονικής μελέτης. Στη συνέχεια διαχωρίστηκε σε

ανεξάρτητες πλευρές και, για να προκύψει το τρισδιάστατο σχέδιο, δόθηκαν τα ύψη των εσωτερικών χώρων στις πλευρές που τα απαρτίζουν και σχεδιάστηκαν τα διανυσματικά στοιχεία (πχ. σκελετός των θυρών στην είσοδο του κτιρίου αλλά και στο εσωτερικό, κάγκελα στις σκάλες). Τέλος, σχεδιάστηκαν τα επίπεδα των οροφών. Συνολικά, ο αριθμός των επιπέδων ανέρχεται σε 155.

Η φωτογραμμετρική ακρίβεια του μοντέλου, που εξαρτάται και από την όλη διαδικασία φωτογραμμετρικής απόδοσης, ήταν της τάξης των 3cm, ενώ για τους εσωτερικούς χώρους η ακρίβεια εξαρτάται από την κλίμακα των αρχιτεκτονικών σχεδίων (1:200).

Επόμενο βήμα ήταν η συνένωση των τρισδιάστατων αυτών μοντέλων που προέκυψαν με τους δύο τρόπους. Το τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου αποτελείται από ένα σύνολο επιπέδων εδρών οι οποίες ταξινομούνται σε διαφορετικό επίπεδο η κάθε μία για την καλύτερη διαχείρισή τους. Το τελικό αντικείμενο είναι αρκετά περίπλοκο, με μεγάλο αριθμό επιπέδων και είναι προτιμότερο να κατασκευαστεί τμηματικά (Εικ. 2).

Διαπιστώθηκε πως το 3D STUDIO έχει τη δυνατότητα να διακρίνει παράλληλες και ίσες επίπεδες όψεις που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο πληροφορίας (layer) και να “επικολλά” σε αυτές την ίδια εικόνα. Έτσι, αρκετά από τα επίπεδα του εσωτερικού χώρου του κτιρίου που πληρούν αυτόν τον όρο τοποθετήθηκαν στο ίδιο επίπεδο πληροφορίας. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο αριθμός των επιπέδων πληροφορίας που χρησιμοποιούνται για αντικείμενα με πολλά επίπεδα.



**Εικόνα 2.** Τέσσερα επιμέρους τμήματα του μοντέλου

### **ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Η επεξεργασία των εικόνων συνίσταται σε ραδιομετρικούς/γεωμετρικούς μετασχηματισμούς και διορθώσεις που αποβλέπουν στην παραγωγή εικόνων καλής ποιότητας αλλά και με τις ορθογώνιες διαστάσεις των επιπέδων όψεων που συγκροτούν το αντίστοιχο στοιχείο του αντικείμενο. Τα στάδια επεξεργασίας των εικόνων είναι:

### *Λήψη εικόνων*

Ειδικά για τις αναγωγές ελήφθησαν νέες εικόνες των επιπέδων επιφανειών που αποδόθηκαν στο τελικό αντικείμενο. Η πλειοψηφία των λήψεων έγινε με την ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Agfa ePhoto 1680 στη μέγιστη διαθέσιμη ανάλυση (φορματ εικόνας 1600×1200 εικονοψηφίδες). Για τα οριζόντια επίπεδα – όπως το δάπεδο στο εσωτερικό του κτιρίου ή οι σκάλες της κύριας εισόδου – χρησιμοποιήθηκε αναλογική φωτογραφική μηχανή Fujī μεσαίου φορμάτ, η οποία είχε στερεωθεί κατάλληλα σε ειδικό “καλάμι” μήκους 5m (Εικ. 3).



**Εικόνα 3.** Λήψη εικόνων για τα οριζόντια επίπεδα

### *Αναγωγή εικόνων*

Οι εικόνες ανήχθησαν βάσει των τεσσάρων κορυφών του κάθε επιφανειακού στοιχείου, με τελικό αποτέλεσμα την ορθογώνια όψη της ζητούμενης επιφάνειας (Εικ. 4). Η επιλογή της ανάλυσης της τελικής εικόνας έγινε έτσι ώστε να υπάρχει παντού η ίδια διάσταση εικονοψηφίδας. Σε κάθε ανηγμένη εικόνα προφανώς απεικονίζονται όλες οι επιφάνειες που υπήρχαν στην αρχική, έτσι απαιτείται μια επεξεργασία ώστε να αποκοπεί μόνο η ζητούμενη επιφάνεια.



(4α)



(4β)

**Εικόνα 4.** Αποτέλεσμα αναγωγής (4β) προεπιλεγμένης επιφάνειας (4α)

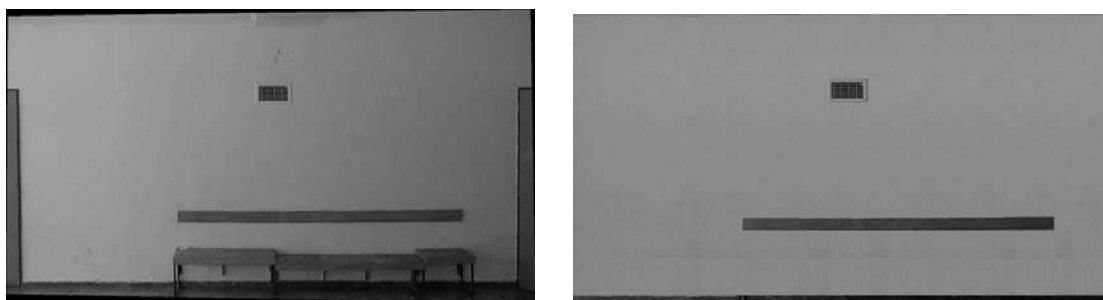
### ***Ενοποίηση λήψεων και συμπλήρωση εικόνων***

Αν μία επιφάνεια αποτελείται από επιμέρους τμήματα που έχουν καταγραφεί σε διαφορετικές λήψεις, αυτά αντιγράφονται σε μια νέα εικόνα με εφαρμογή μετασχηματισμών κλίμακας ώστε να είναι ίσου μεγέθους και να προσαρμόζονται μεταξύ τους (Εικ. 5.).



**Εικόνα 5.** Ένα αποτέλεσμα ενοποίησης επιμέρους λήψεων

Σε περιπτώσεις όπου στην εικόνα εμφανίζονται αντικείμενα που έχουν σχεδιαστεί ξεχωριστά (πχ. πάγκοι) ή κρύβονται λεπτομέρειες εξαιτίας της οπτικής γωνίας που έγινε η λήψη, γίνεται επεξεργασία της εικόνας ώστε με αντιγραφή δειγμάτων από παρόμοια σημεία να καλυφθούν ή να αποκατασταθούν οι ελλείψεις (Εικ. 6).



**Εικόνα 6.** Επεξεργασία λεπτομερειών των εικόνων

### ***Τελική επεξεργασία - βελτίωση των εικόνων***

Λόγω διαφορών που οφείλονται κυρίως σε διαφορετικό φωτισμό έπρεπε να βελτιωθούν οι τόνοι και τα χρώματα της τελικής εικόνας. Αυτή η προσαρμογή μπορεί να προηγηθεί της ενοποίησης, κυρίως όσον αφορά τα επιμέρους τμήματα μιας ενιαίας επιφάνειας.

### ***Η Χάρτα του Ρήγα***

Τα χρώματα της Χάρτας του Ρήγα, που βρίσκεται στο χολ του ισόγειου του κτιρίου, έχουν αλλοιωθεί από την πολυκαιρία και δεν φαίνονταν καθαρά στην εικόνα της ψηφιακής μηχανής. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε αντίγραφο του πρωτότυπου χάρτη από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού το οποίο σαρώθηκε σε ανάλυση 75 dpi. Συνολικά, για την απόδοση “φωτογραφικού” ρεαλισμού στο μοντέλο, χρησιμοποιούνται 81 εικόνες, μεταξύ των οποίων υπάρχουν και 10 “αναπτύγματα” (ενοποιημένες επιμέρους λήψεις).

## **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ «ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟΥ» ΡΕΑΛΙΣΜΟΥ**

Τα τρισδιάστατα γραφικά αντικείμενα, μετά τη διόρθωση και ταξινόμησή τους σε επίπεδα πληροφορίας και τον διαχωρισμό τους σε τέσσερα αρχεία (όσοι και οι χώροι του κτιρίου), εισάγονται στο περιβάλλον λογισμικού σχεδίασης και απεικόνισης τρισδιάστατων μοντέλων 3D Studio MAX. Το περιβάλλον του, όπως αρχικά παρουσιάζεται στην οθόνη, αποτελείται από τέσσερα επιμέρους παράθυρα, σε καθένα από τα οποία απεικονίζεται το μοντέλο από διαφορετική οπτική γωνία (που μπορεί να ρυθμιστεί από το χρήστη). Χρησιμοποιούνται οι όψεις: κάτοψη, πρόσοψη, όψη από δεξιά και προοπτική όψη. Στις όψεις αυτές ο ορισμός των αξόνων του συστήματος απεικόνισης ταυτίζεται με το τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων, όπως αυτό ορίστηκε κατά την φωτογραμμετρική κατασκευή του μοντέλου στο λογισμικό 3D BUILDER. Η προοπτική όψη είναι και η πιο ρεαλιστική. Σημειώνεται πως το μοντέλο απεικονίζεται σε μορφή πλέγματος. Λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων, για τη

διαχείρισή του μεγάλου αριθμού εδρών ακολουθείται η ταξινόμηση σε επίπεδα και η διάσπαση του εσωτερικού χώρου του κτιρίου σε διαφορετικά αρχεία.

Στη συνέχεια, για να αποδοθεί ρεαλισμός στο μοντέλο πρέπει να επικολληθεί σε κάθε επίπεδο είτε η αντίστοιχη εικόνα είτε μια εικόνα που συγκροτείται από την επανάληψη ενός μοτίβου (πλακάκια πεζοδρομίου, πεζούλι εκατέρωθεν των σκαλιών στην είσοδο, δάπεδο στους εσωτερικούς χώρους). Όλες οι επεξεργασίες εισαγωγής, επικόλλησης και προσαρμογής των εικόνων στις διαστάσεις των επιπέδων γίνονται με το υποπρόγραμμα διαχείρισης υλικών (Material Editor) για κάθε ένα από τα επιμέρους αρχεία, λόγω δε του μεγάλου αριθμού των εικόνων γίνεται οργάνωση και αποθήκευσή τους σε βιβλιοθήκη υλικών, όπου οι εικόνες μετονομάστηκαν με την κωδική αριθμητική ονομασία των επιπέδων στα οποία θα “επικολληθούν”. Για την απεικόνιση μιας εικόνας πρέπει να επιλεγεί σύστημα επίπεδης προβολής της στην έδρα και να μετακινηθεί το επίπεδο αυτό παράλληλα στην έδρα. Εάν πρόκειται για εικόνα επαναλαμβανόμενου μοτίβου (πχ. δάπεδο εσωτερικών χώρων), μετρούνται οι διαστάσεις του επιπέδου και υπολογίζεται ο αριθμός επαναλήψεων που θα καλύψει όλο το επίπεδο. Ειδικά για τα καθαρά διανυσματικά στοιχεία του μοντέλου (σκελετός θυρών στο εσωτερικό του κτιρίου, κάγκελα σκάλας κ.λπ.), επιλέγεται και αποδίδεται στο τρισδιάστατο μοντέλο τους χρώμα από εικόνα που τα απεικονίζει σε συνδυασμό με κάποιες ιδιότητες της υφής του υλικού.

Ο εμπλουτισμός του μοντέλου με εικόνες αυξάνει βέβαια κατά πολύ το μέγεθος των αρχείων, με συνέπεια να επιβραδύνεται η απεικόνισή του κατά τη διάρκεια δοκιμών για την επιλογή κατάλληλων οπτικών γωνιών και αποστάσεων.

Τελικά, όλα τα επιμέρους αρχεία συγχωνεύονται σε ένα ώστε το μοντέλο να αποτελεί μία οντότητα. Ταυτόχρονα, μιας και πρόκειται για την αναπαράσταση κτιρίου, γίνεται προσομοίωση περιβάλλοντος, και ειδικότερα του ουρανού. Αυτή πραγματοποιείται με το σχεδιασμό ενός ημισφαιρίου, αρκετά μεγάλου ώστε να καλύπτει το αντικείμενο, και την απόδοση σε αυτό μοτίβου που προσομοιάζει τον ουρανό και τα σύννεφα.

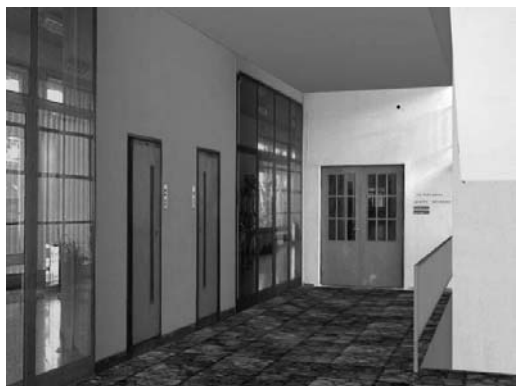
Το μοντέλο εμπλουτίζεται με τον φωτισμό, το τελευταίο αλλά σημαντικότερο στοιχείο ρεαλισμού που είναι απαραίτητο προκειμένου να φωτιστούν και να τονιστούν τα αντικείμενα. Για τέτοιου είδους εφαρμογές όπου το μοντέλο αναπαριστά ένα πραγματικό κτίριο (εσωτερικοί και εξωτερικοί χώροι) οι συνθήκες φωτισμού πρέπει κι αυτές με τη σειρά τους να αναπαριστούν, κατά το δυνατόν, τις πραγματικές συνθήκες φωτισμού. Η σωστή επιλογή έγκειται τόσο στον τρόπο όσο και στο είδος φωτισμού. Ο τρόπος φωτισμού συγκροτείται από ορισμένους παράγοντες όπως η ένταση, η γωνία πρόσπτωσης, η εξασθένιση, η ακτινοβολία, ο φωτισμός περιβάλλοντος, το χρώμα και η ύπαρξη ή μη σκίασης. Το είδος φωτισμού αφορά κυρίως το αν πρόκειται για προσομοίωση φυσικού ή τεχνητού φωτός. Με τα διαθέσιμα από το λογισμικό εργαλεία κατασκευάστηκαν φώτα για να προσομοιωθεί ο πραγματικός φωτισμός εξωτερικών και εσωτερικών χώρων. Ειδικά για τους εξωτερικούς χώρους υπάρχει η δυνατότητα επιλογής για την προσομοίωση του φωτός του ήλιου ή της σελήνης και, σε αντίθεση με το φωτισμό εσωτερικών χώρων, χρησιμοποιείται μία μόνο φωτεινή πηγή. Στη παρούσα εργασία επιλέγεται μία ηλιόλουστη μέρα.

Το ηλιακό φως έχει πρακτικά παράλληλες ακτίνες. Η διεύθυνση και η γωνία πρόσπτωσης των ακτινών εξαρτάται από την ώρα, την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος. Η προσομοίωση του ηλιακού φωτός έγκειται στην τοποθέτηση συστήματος αποτελούμενου από ένα ειδικό φωτιστικό σώμα (ελεύθερης κατεύθυνσης φωτιστικό: free directional light) και μια πυξίδα. Το ελεύθερης κατεύθυνσης φωτιστικό προσομοιάζει το ηλιακό φως ως προς την παράλληλη κατεύθυνση των ακτινών του. Η πυξίδα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του προσανατολισμού του κτιρίου που φωτίζεται.

Ουσιαστικά, τοποθετείται το φωτιστικό και επιλέγεται η θέση (Αθήνα στη συγκεκριμένη περίπτωση) ώστε να προσδιοριστεί το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Κατόπιν επιλέγεται η ημερομηνία (10 Ιουλίου 2000) και η ώρα (12:30) για να καθοριστούν πλήρως η διεύθυνση και η γωνία πρόσπτωσης του φωτός και στην συνέχεια επιλέγεται το χρώμα (R:250, G:255, B:176) του φωτιστικού για να προσδιοριστεί το πόσο φωτεινή είναι η μέρα. Τέλος, τοποθετείται η πυξίδα στο χώρο του αντικειμένου.

Όσον αφορά τους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, γίνεται προσομοίωση τεχνητού φωτισμού. Τονίζεται ότι κατά την τοποθέτηση φωτιστικών υπάρχει η δυνατότητα να εξαιρεθούν αντικείμενα του χώρου από το φωτισμό. Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται όταν ορισμένα τμήματα του αντικειμένου φωτίζονται από πολλά φωτιστικά συγχρόνως έτσι που τελικά να αλλοιώνεται η ρεαλιστική απόδοσή τους ή όταν αντανακλάται το φως πάνω σε κάποια επιφάνεια του αντικειμένου. Τέλος, ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στον λεγόμενο “φωτισμό περιβάλλοντος” που αφορά κυρίως τον φωτισμό του φόντου. Επιλέχθηκε μια ανοιχτή απόχρωση του γκριζου (με τιμή 176).

Εν τέλει, η οριστική μορφή του μοντέλου είναι βέβαια το προϊόν γενίκευσης (πχ. στην απόδοση του θυρωρείου, των θυρών και σωμάτων θέρμανσης στους εσωτερικούς χώρους). Ορισμένα “καρέ” από το αποτέλεσμα της απόδοσης παρουσιάζονται στην Εικ. 7.



Εικόνα 7. Χαρακτηριστικά «καρέ» της εικονικής περιήγησης στο μοντέλο

## ΠΑΡΑΓΩΓΗ «ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ» ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η παραγωγή “εικονικής διαδρομής” υλοποιείται με την παραγωγή σειράς “κινούμενων” εικόνων του μοντέλου, εικόνων δηλαδή που αναπαριστούν την μεταβαλλόμενη σχετική θέση του παρατηρητή ως προς το μοντέλο σε διάφορες χρονικές στιγμές. Ο σχεδιασμός της κίνησης έγκειται στα εξής:

- *Σχεδιασμός μηχανής λήψης που απεικονίζει το οπτικό πεδίο του παρατηρητή.* Για τη μηχανή λήψης επιλέγεται το είδος του φακού (κανονικός, οξυγώνιος, ευρυγώνιος ή υπερευρυγώνιος). Κατόπιν γίνονται ορισμένες ρυθμίσεις για να ελεγχθούν το μέγεθος της σκηνής που θα είναι ορατό από το φακό της μηχανής, η απόσταση λήψης και ο προσανατολισμός της. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιλέγονται με δοκιμές για την εύρεση της πιο ρεαλιστικής απεικόνισης του μοντέλου κατά την κίνηση.

- *Σχεδιασμός πορείας της “εικονικής διαδρομής” (της μηχανής λήψης).* Η σχεδίαση της διαδρομής έγκειται στο σχεδιασμό μιας γραμμής στις τρεις διαστάσεις, το υψόμετρο της οποίας μεταβάλλεται σε όλο το μήκος για να διατηρηθεί το ύψος παρατήρησης αντίστοιχο με υποθετικό παρατηρητή που περπατά μέσα στο κτίριο.

- *Ορισμός των “καρέ” σε χαρακτηριστικές χρονικές στιγμές της κίνησης (key frames).* Η διάρκεια της «εικονικής κίνησης» καθορίζεται από τον συνολικό αριθμό των “καρέ” που την αποτελούν και από τη συχνότητα αναπαραγωγής τους. Διαφορετική κατανομή του χρόνου της κίνησης μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση κόμβων-στάσεων κατά μήκος της διαδρομής.

Η σειρά των κινούμενων εικόνων αποθηκεύεται σε αρχείο μορφής AVI. Η αποθήκευση μπορεί να γίνει και σε μία από τις άλλες δύο μορφές αποθήκευσης αρχείων, δηλαδή MOV Quick Time File (\*.mov) και Autodesk Flic Image File (\*.flc, \*.fli, \*.cel), αλλά επιλέχθηκε η AVI γιατί είναι συμβατή με το λογισμικό αναπαραγωγής video clip που συνοδεύει τα WINDOWS και χρησιμοποιείται ευρέως στο Διαδίκτυο.

Το τελικό προϊόν της εφαρμογής, με την χρήση “κανονικού” φακού (50mm), είναι μια “εικονική διαδρομή” στους χώρους του κτιρίου συνολικής διάρκειας 1’ 10” και αποτελούμενη από ένα σύνολο 1500 καρέ και συχνότητα αναπαραγωγής 20 καρέ/δευτερόλεπτο. Ο όγκος του τελικού αρχείου κίνησης είναι 103 Mb και απαιτήθηκαν 15 ώρες για την εγγραφή του.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν τα βήματα για μια ρεαλιστική οπτικοποίηση αντικειμένων αποτελούμενων από επίπεδες επιφάνειες σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Στην προκειμένη περίπτωση ένα μέρος του τρισδιάστατου μοντέλου δημιουργήθηκε φωτογραμμετρικά και συγχωνεύτηκε με προϋπάρχουσα αρχιτεκτονική πληροφορία, ενώ για την απόδοση ρεαλισμού χρησιμοποιήθηκαν οι ανηγμένες ψηφιακές εικόνες των επίπεδων όψεων που συγκροτούν το αντικείμενο. Το αντικείμενο που επιλέχθηκε προσφέρεται λόγω και της σχετικής πολυπλοκότητάς του αλλά και των δυνατοτήτων γενίκευσης που παρέχει.

Σημειώνεται ότι στο μοντέλο ορισμένοι χώροι του φόντου (βάθους) δεν έχουν σχεδιαστεί. Για παράδειγμα, έχουν σχεδιαστεί τα επίπεδα θυρών και έχουν απλώς “επικολληθεί” σε αυτά οι αντίστοιχες προοπτικές εικόνες που δίνουν την εικόνα του βάθους. Για να διατηρηθεί σωστή η προοπτική σε όλη την κίνηση στο χώρο του μοντέλου, η διαδρομή σχεδιάζεται έτσι που τα επίπεδα αυτών των εικόνων να εμφανίζονται κατά το δυνατόν κάθετα στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Η χρήση αυτού του οπτικού τεχνάσματος έχει ως αποτέλεσμα να «ξεγελά» τον παρατηρητή και οι συγκεκριμένοι χώροι να παρουσιάζονται σαν να έχουν όντως αποδοθεί και να μετασχηματίζονται προοπτικά κατά την διαδρομή.

Οι περισσότερες λήψεις έγιναν με ψηφιακή μηχανή σε ανάλυση 1600×1200, η οποία αποδείχθηκε καθ’ όλα επαρκής για τις ανάγκες της εργασίας. Όπως διαπιστώθηκε από δοκιμαστικές “επικολλήσεις” εικόνων μικρότερης ανάλυσης (640×480) δεν υπήρχε αισθητή διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων. Οι διαφορές εντοπίζονται στις περιπτώσεις που η διαδρομή περνάει πολύ κοντά από αντικείμενα.

Η εφαρμογή αυτή πραγματοποιήθηκε με έναν συγκεκριμένο συνδυασμό διαθέσιμου λογισμικού, κυρίως για να διαπιστωθεί πόσο ρεαλιστικά μπορεί να αποδοθεί ένας “συνηθισμένος” συνδυασμός εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Και πράγματι, από ποιοτική άποψη τα αποτελέσματα κρίνονται απολύτως ικανοποιητικά. Η μελλοντική ενασχόληση με το θέμα θα εστιαστεί δε δύο σημεία. Κατ’ αρχάς, οι όγκοι των παραγόμενων αρχείων είναι πολύ μεγάλοι. Ένα επόμενο βήμα είναι λοιπόν να διερευνηθούν οι δυνατότητες και άλλων λογισμικών που πιθανώς θα επιτρέψουν μεγαλύτερη ευελιξία. Παράλληλα, η προσπάθεια θα αποβλέπει στο να ξεπεραστεί ο περιορισμός των επίπεδων όψεων ώστε ο φωτογραφικός ρεαλισμός και η κίνηση να είναι δυνατοί με την “επικόλληση” ψηφιακών εικόνων και σε στοιχεία με πιο σύνθετο ανάγλυφο.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- Γεωργαράς Ν., Δούκας Μ., Παπαδάκης Ν., 1995. *Απόδοση Παραδοσιακού Οικισμού Φολεγάνδρου με Συνδυασμό Φωτογραμμετρικών Μεθόδων και Αρχιτεκτονικών Σχεδίων και Φωτορρεαλιστική Περιήγηση*. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ.
- Dorffner L., 2000. Interactive visualization of terrain models and orthophotos. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXII, Part 6W8/1, 50-54.
- Höhle J. & Praest Joergensen M., 1996. Photogrammetry for 3-D Visualisation. *GIM International*, March, 52-55.
- Lemmens M., 2000. Virtualising the 3D World. *GIM International*, April, 48-51
- Γκανιάτσα Ε. & Μπιτζιλέκη Χ., 2000. *Ρεαλιστική Οπτικοποίηση με Ψηφιακές Εικόνες σε Επίγειες Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές*. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ.
- Νάκος Β. & Τζελέπης Ν., 1998. Τρισδιάστατη αναπαράσταση του αστικού χώρου με στοιχεία ρεαλισμού. *5<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας*, Θεσσαλονίκη.
- Στεργιόπουλος Γ., 1997. *Η Αντίστροφη Φωτογραμμετρία στην Αρχιτεκτονική*. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ.
- Τσουχλαράκη Α., 1996. Ψηφιακή εικονική αναπαράσταση ανάγλυφου στην ανάλυση του τοπίου. *Τεχνικά Χρονικά*, Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Ι, τεύχος 3, 27-40.