

ΕΡΕΥΝΑ ΠΑΓΕΤΩΔΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΦΡΥΔΑΣ Δ.

Τμήμα Γεωλογίας – Τομέας Θαλάσσιας Γεωλογίας και Γεωδυναμικής
Πανεπιστήμιο Πατρών, Τ.Τ. 261 10 – Ρίο – Πάτρα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Χρησιμοποιώντας για παράδειγμα την περιοχή Ammersee στη Ν.Α. Γερμανία (Βαυαρία), της οποίας η επιφάνεια προέρχεται από τον κερματισμό των Τεταρτογενών παγετώνων, η εργασία αυτή επιδεικνύει την εφαρμογή της γεωμορφολογικής ερμηνείας των αεροφωτογραφιών για την αναγνώριση παγετωδών αποθέσεων. Η φωτογεωλογική ανάλυση διευκολύνει αμέσως την ταξινόμησή τους. Διάφορες παγετώδεις αποθέσεις, οι οποίες διακρίνονται συχνά μόνο με μορφολογικά κριτήρια, όπως *äser*, *drumlins*, *kames* και καιλότητες «νεκρού πάγου» μπορούν να χαρτογραφηθούν με μεγάλη ακρίβεια, η οποία δύσκολα επιτυγχάνεται με εργασία υπαίθρου.

ABSTRACT

Using as example the Ammersee area – southeastern Germany (Bavaria) – the relief of which is due to the disintegration of the Quaternary ice sheet, the paper demonstrates the applicability of geomorphological interpretation of air photographs for identifying glacial deposits. Photo-geological analysis facilitates their immediate classification. Various glacial landforms which are frequently only distinguishable on a morphological basis, such as *äser*, *drumlins*, *kames* and kettleholes, can thus be mapped with a degree of precision hardly attainable in field mapping.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

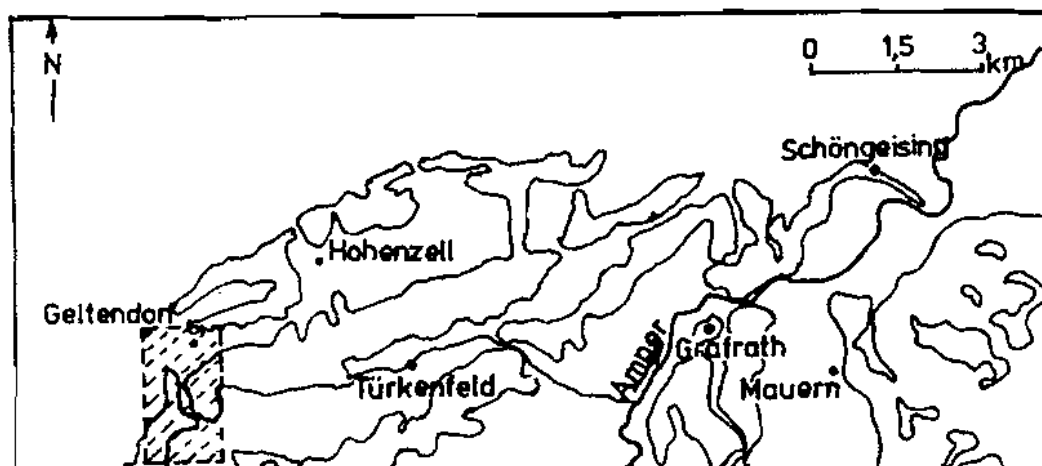
Η φωτογεωλογική και γεωμορφολογική ανάλυση μιας αεροφωτογραφίας εξαρτάται από διάφορες μορφολογικές ενότητες της επιφάνειας του εδάφους και είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για περιοχές με παγετώδεις ή αιολικές αποθέσεις, όπου η παικίλια του ανάγλυφου μικρών επιφανειών περιπλέκει την ολική εικόνα στο πεδίο.

Στο παράδειγμα των παγετωδών αποθέσεων η στερεοσκοπική παρατήρηση των αεροφωτογραφιών επιτρέπει εκτός της εκτενέστερης παρατηρήσεως της περιοχής, μια λεπταμερή έρευνα των διαφόρων μορφών που συχνά ταξινομούνται σύμφωνα μόνο με το σχήμα τους. Επίσης πολύ ευναϊκή αποδεικνύεται και η διπλή έως τετραπλή μεγέθυνση της υπό μελέτη επιφάνειας κατά την στερεοσκοπική παρατήρηση. Μ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται να διακρίνονται εμφανώς και οι μικρότερες διαφορές ύψους

από τις διάφορες επιφάνειες.

Η εργασία αυτή περιλαμβάνει ένα τμήμα ΒΔ των λιμνών Amper και Wörthsee (ROTHPLETZ 1917, KNAUER 1929, 1931) που βρίσκονται στο ΝΔ τμήμα του Μονάχου στη Βαυαρία. Η περιοχή αυτή των λιμνών χαρακτηρίζεται από τον κερματισμό του παγετώνα και την υποχώρησή του στην τελευταία παγετώδη περίοδο της Βούρμιας (Würmeiszeit) εποχής μέχρι τους πρόποδες των Αλπεων (TROLL, 1938).

Το ερευνηθέν υπό το στερεοσκόπιο ζεύγος αεροφωτογραφιών επικαλύπτεται 60% και περιλαμβάνει ένα τμήμα που βρίσκεται στο κατώτερο άκρο από τα τοπογραφικά φύλλα 7831 Geltendorf και 7832 Türkenfeld (1:25.000) (εικ. 1) στη Νότιο Βαυαρία.



Εικ. 1. Συνοπτικός χάρτης της Βούρμιας παγετώδους εποχής ΝΔ του Μονάχου με τη θέση της ερευνηθείσας περιοχής (κατά Rothpletz, 1917, 1:150.000).

ΦΩΤΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Κατά τη διάρκεια της φωτογεωλογικής επεξεργασίας των εικόνων δεν χρησιμοποιήθηκε ούτε η υπάρχουσα βιβλιογραφία ούτε οι γεωλογικοί χάρτες της περιοχής. Μετά το τέλος της ανάλυσης των αεροφωτογραφιών συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα με τις εργασίες παλαιότερων συγγραφέων και επαληθεύτηκαν στο πεδίο. Για την πληρέστερη κατανόηση των φαινομένων έχουμε να προσθέσουμε τα εξής σημεία:

– Με την τήξη του μεγάλου παγετώνα της Βούρμιας εποχής στην προχώρα των Αλπεων, παρέμειναν τεράστιες μάζες «νεκρού πάγου» εγκλωβισμένες στην αρκετά βαθειά λεκάνη που είχε σχηματίσει η γλώσσα του παγετώνα στην περιοχή της λίμνης Amper. Στα περιθώρια των μαζών αυτών του πάγου που έλυωνε σιγά-σιγά συσσωρεύτηκε πλούσιο ποταμο-παγετώδες υλικό (ταράτσες), το οποίο προερχόταν από τα άκρα των πλευρών του παγετώνα (Ew) που υποχωρούσε προς το νότο στους πρόποδες των Αλπεων, και άφησε κατά την υποχώρησή του τον τυπικό λιθώνα της λεκάνης

που εκινείτο (Gw).

Κατά τη διάρκεια που οι γιγάντιες μάζες του «νεκρού πάγου» ήταν ακόμη στη λεκάνη της σημερινής λίμνης Amper σαν ένας τεράστιος ομογενής όγκος πάγου, άρχισαν να λιώνουν τα λιγότερα ισχυρά τμήματα του εγκλωβισμένου πάγου.



Εικ. 2. Τυπικό βαθούλωμα «νεκρού πάγου» από το λιθώνα της κοίτης του παγετώνα.

Κατ' αυτό τον τρόπο συσσωρεύτηκε κατ' αρχάς υλικό στον εγκλωβισμένο πάγο το οποίο δημιούργησε γύρω από τον πάγο τεράστιες πλευρικές ταρατίσες ή Kames*. Ο πάγος έλυσε σιγά-σιγά και σχημάτισε Äser** στα υποπαγετώδη αυλάκια αποστραγισμού. Ο τεράστιος όγκος του πάγου κατακερματίστηκε σε χονδροειδή τεμάχια, στα ενδιάμεσα των οποίων έγινε απόθεση των Kames. Μετά την ολοκληρωτική υποχώρηση του παγετώνα έλυωσαν και τα τελευταία υπολείμματα του νεκρού πάγου. Τοιουτοτρόπως πραέκυψαν σαν εκμαγείο του νεκραύ πάγου, διάφορες κοιλότητες

* **Kames** = (ιρλ.) Λόφος από άμμο και χάλυκες ποταμοπαγετώδους προελεύσεως. Η απόθεσή τους γίνεται σε χαράδρες ή σε άλλα κενά τμήματα του παγετώνα, προπάντων σε περιοχές με «νεκρό πάγο» (πάγας που έχει χάσει την επαφή του με την κυρίως μάζα του παγετώνα).

** **Äser** = (σουηδ. Äs, πληθ. Äsar, αγγλ. Esker) εκτεταμένες επιμήκεις λοφοειδείς μορφές σε περιοχές πρώην παγετώνων. Μπορεί να είναι ελαφρά κεκαμμένοι λοφίσκοι που διακλαδίζονται (Bi-äs). Αποτελούνται από καλά στρωμένους και αποστρογγυλωμένους χάλυκες οι οποίοι αποτέθηκαν από το τηκόμενο νερό του παγετώνα σε μεγάλες ρωγμές και σπηλιές κάτω και μέσα στον παγετώνα.

* **Drumlins** = (ιρλ./γαλ. «drumlin»), λόφοι ελλειπτικού σχήματος, μήκους εκατοντάδων μέτρων και ύψους από 10 έως 40 μ., που είναι τοποθετημένοι στη διεύθυνση της κινήσεως του πρώην παγετώνα.

στο έδαφος (εικ. 2), οι οποίες μετά την ολοκληρωτική οπισθοχώρηση του παγετώνα δεν τροφοδοτήθηκαν πλέον με ποταμοπαγετώδεις χάλυκες και παρέμειναν μέχρι σήμερα ακάλυπτες. Νεκρός πάγος, που ήταν εγκλωβισμένος σε χάλυκες ταρασών δημιουργήσε τα τυπικά βαθουλώματα που διακρίνονται με μεγάλη ακρίβεια στην αεροφωτογραφία, μετά το τήξιμο του πάγου και τον κατακρημνισμό των χαλύκων.

Η ανάλυση της αεροφωτογραφίας δείχνει ένα τμήμα από αυτή την κερματισμένη παγετώδη περιοχή με τους πιο πάνω αναφερθέντες χαρακτηριστικούς σχηματισμούς. Ένα εμφανές μορφολογικό στοιχείο στο λιθώνα της κοίτης του παγετώνα (Gw) στο ΝΑ άκρο της φωτογραφίας είναι οι ελλειψοειδείς λόφοι (Drumlins*) που είναι παρατεταγμένοι στη διεύθυνση του πρώην παγετώνα, καθώς και διάφοροι λοφίσκοι διαφόρων σχημάτων (Kames) που συνοδεύουν τους πρώτους.

Το μεγαλύτερο μέρος της φωτογραφίας καταλαμβάνεται από τους πλευρικούς λιθώνες (Ew) της Βούρμιας εποχής που είχαν ένα τοξοειδές σχήμα και έφθαναν στα άκρα του παγετώνα μέχρι 92 μ. ύψος. Το πρηνές των λιθώνων αυτών σε μερικά σημεία παρουσιάζει αρκετή κλίση, η οποία χωρίστηκε σε τέσσερις κατηγορίες (10⁰-20⁰-30⁰-40⁰). Στο ΒΑ άκρο της περιοχής συναντάται λιθώνας της Ρίσσιου εποχής (ER). Χαρακτηρίζεται από την διαφορετική διεύθυνση και την αποστρογγυλεμένη του μορφή. Στα άκρα του παγετώνα στο ΒΔ άκρο της φωτογραφίας φαίνεται μια σχεδόν τελείως επίπεδη επιφάνεια, η οποία είναι τράτσσα που σχηματίστηκε από ποταμοπαγετώδεις αποθέσεις στα άκρα του πλευρικού λιθώνα (Ew) και αποτελείται κυρίως από αμμοχάλικες (εικ. 3 και 4).

Αλλά τα πιο εμφανή μορφολογικά στοιχεία των αεροφωτογραφιών είναι τα βαθουλώματα του «νεκρού πάγου», τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

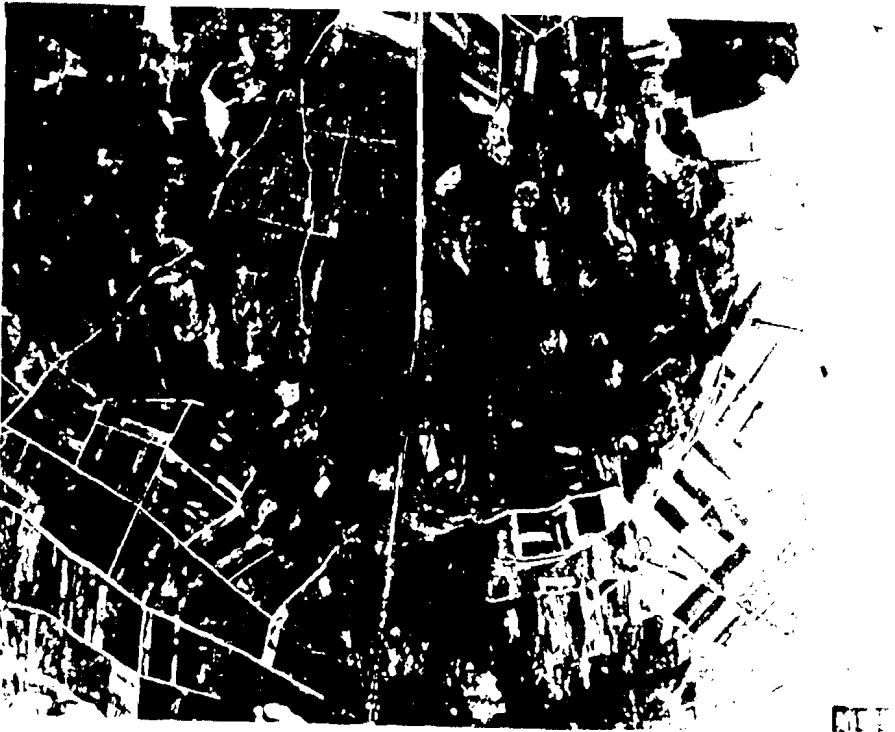
– Στην πρώτη ανήκουν μικρότερα υπολείμματα πάγου, που ήταν εγκλωβισμένα στους αμμοχάλικες του λιθώνα της κοίτης (Gw) του παγετώνα. Μετά το τήξιμο του πάγου και τον κατακρημνισμό των χαλύκων που βρισκόταν πάνω ή γύρω από τον πάγο, δημιουργήθηκαν οι μικροί αυτοί κρατήρες στο ΝΑ τμήμα της αεροφωτογραφίας.

– Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει μεγαλύτερες κοιλότητες νεκρού πάγου, οι οποίες υπάρχουν και σήμερα, είτε υπό την μορφή λιμνών που σχηματίστηκαν από τα υπολείμματα του παγετώνα της Βούρμιας εποχής (π.χ. Ammersee, Wörthsee και Pilsensee) είτε υπό την μορφή ελών. Στις περιπτώσεις αυτές ο πάγος δεν οκεπάστηκε από αδρομερές υλικό. Στην περιφέρειά του μόνο συσσωρεύτηκε πλούσιο χερσαγενές υλικό υπό τη μορφή διαφόρων λαφίσκων που αναφέραμε πάρα πάνω ή υπό τη μορφή της πλευρικής τράτσας του λιθώνα (Ew).

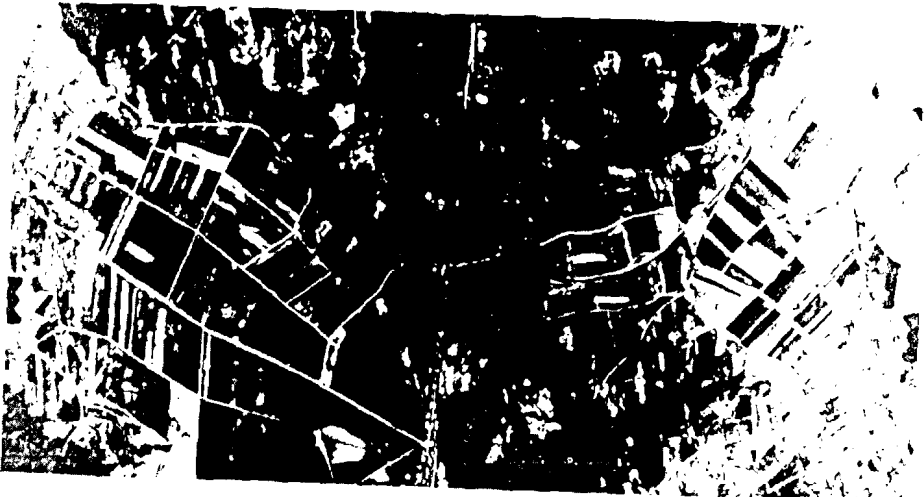
Όταν πλέον σταμάτησε η τροφοδοσία από χερσαγενές υλικό, τότε έλιωσε τελείως ο πάγος. Κατ' αυτό τον τρόπο διατηρήθηκαν τα βαθουλώματα αυτά και στις περιοχές όπου αυτά βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του νερού είναι γεμίστα με νερό.

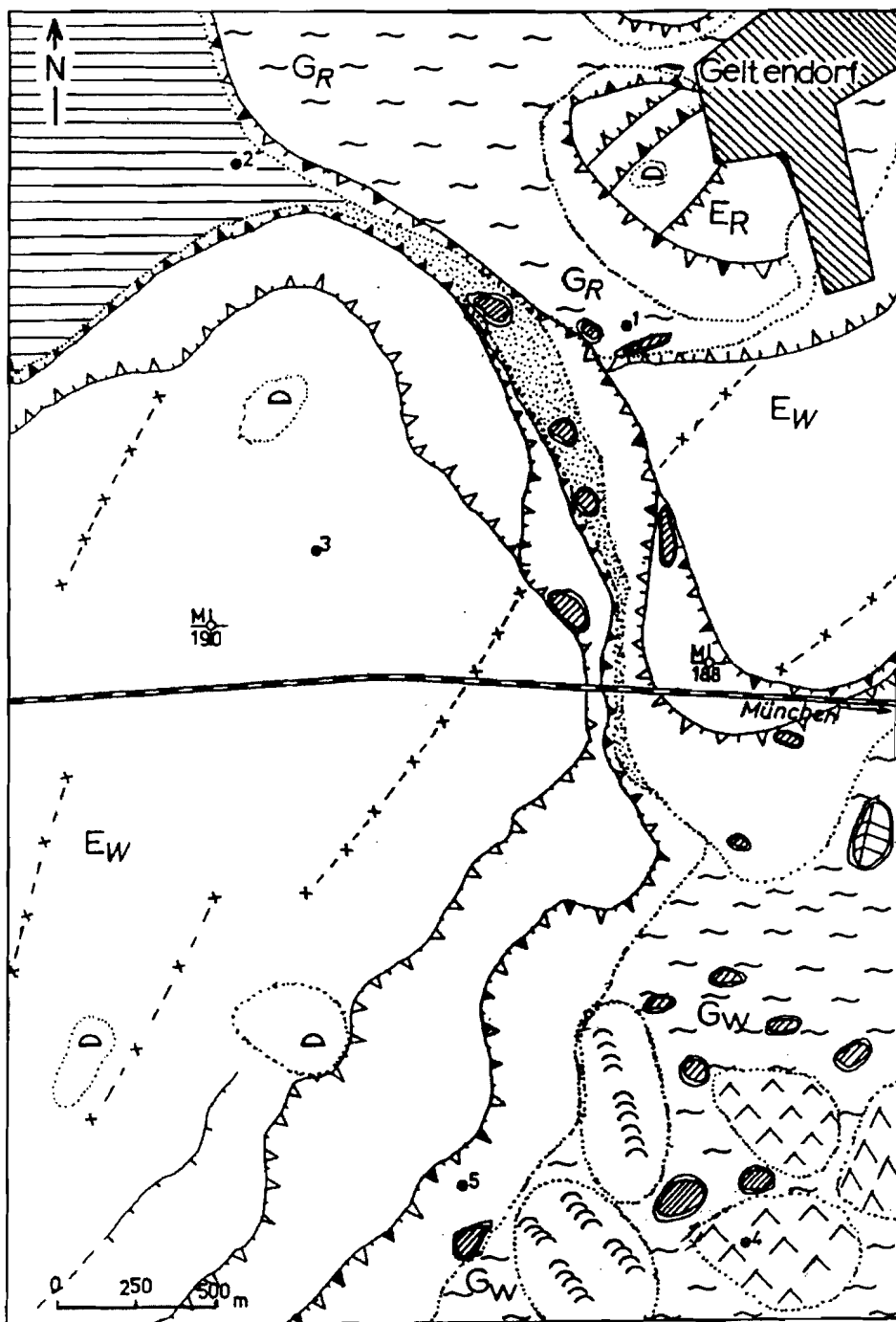
Το έλος που βρίσκεται στο μέσον της αριστερής πλευράς της φωτογραφίας χαρακτηρίζεται με μεγάλη ακρίβεια, πρώτα από το ευκρινές ανάγλυφό του και έπειτα

* **Drumlins** = (Γρλ./γαλ. «drummen»), λόφοι ελλειπτικού σχήματος, μήκους μερικών εκατοντάδων μέτρων και ύψους από 10 έως 40 μ., που είναι τοποθετημένοι στη διεύθυνση της κινήσεως του πρώην παγετώνα.

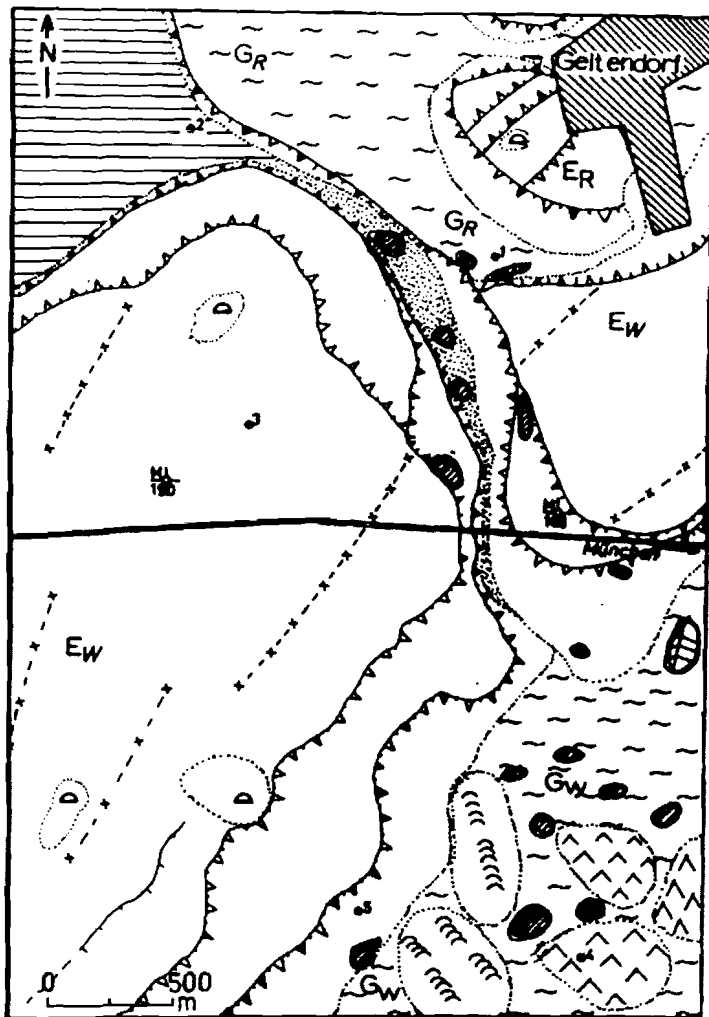


Εικ. 3. Η ερευνηθείσα περιοχή όπως φαίνεται από τις αεροφωτογραμμίες. Το ζεύγος των αεροφωτογραμμιών έχει τοποθετηθεί για οπτικοποίηση (παρατήρηση).

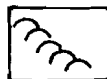




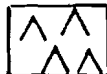
Φωτογεωλογικός Χάρτης.



ΛΕΖΑΝΤΑ



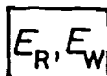
Drumlins (ελλειψοειδείς λοφίσκοι)



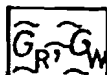
Kames (λόφοι διαφόρων σχημάτων)



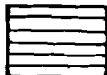
Κοιλώματα νεκρού πάγου*



Πλευρικοί λιθώνες
ER: Ρίσσιο, EW: Βούρμιο



Λιθώνες κοίτης του παγετώνα
GR: Ρίσσιο, GW: Βούρμιο



Ταράτσα



Αλλούβιο



Κλίση πρανούς (10°-20°-30°-40°)

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
Ειχ. 4. Φωτογεωλογικός-μορφολογικός χάρτης της περιοχής που ερευνήθηκε από τις αεροφωτογραφίες.

από το σκούρο γκριζό τόνο του εδάφους που απεικονίζεται στην αεροφωτογραφία. Αντίθετα οι διάφοροι λοφίσκοι (Drumlins, Kames) με το ανοιχτόχρωμο ανάγλυφό τους ξεχωρίζουν αμέσως από τα γκριζόφαια βαθουλώματα του νεκρού πάγου.

Οι περισσότερες από τις κοιλοότητες αυτές του νεκρού πάγου παρουσιάζουν ένα χαρακτηριστικό προσανατολισμό στον επιμήκη τους άξονα. Διακρίνονται κυρίως δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη έχει ΒΒΔ-ΝΝΑ και η δεύτερη ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση. Σίγουρα οι κατευθύνσεις αυτές των αξόνων εξαρτώνται από τον μηχανισμό της κατακερματίσεως του παγετώνα στο τέλος της Βούρμιας παγετώδους εποχής.

Η ΒΒΔ-ΝΝΑ κατεύθυνση αντιστοιχεί σε επιμήκεις χαράδρες και σχισμές του εν κινήσει ακόμα παγετώνα. Η ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση οφείλεται σε εφελκυστικές δυνάμεις δύο τεμνόμενων υπό οξεία γωνία συστημάτων. Η επικάλυψη αυτή δύο διαφόρων εφελκυστικών συστημάτων παρατηρείται και στους σημερινούς παγετώνες (BODECHTEL, 1965). Εμφανίζονται πάντοτε στα μέρη εκείνα που ο παγετώνας έχει να υπερσκελίσει ένα εμπόδιο του εδάφους, το οποίο έχει διαφορετικό ύψος.

Στην προκειμένη περίπτωση το εμπόδιο του εδάφους είναι η μη πτυχωμένη πλευρά της τριτογενούς Μολάσσας στη Ν. Βαυαρία που κατευθύνεται από Α. προς Δ. Επομένως η ερμηνεία διεύθυνσης, από τους άξονες των κοιλοτήτων του νεκρού πάγου παρέχει πληροφορίες για τις κινήσεις του πρώην παγετώνα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι ανωτέρω παρατηρήσεις μαζί με την δυνατότητα της ακριβούς οριοθετήσεως των διαφόρων μορφολογικών ενοτήτων, είναι κατορθωτή με τόση αποτελεσματικότητα μόνο από αεροφωτογραφίες. Με τη στερεοσκοπική παρατήρηση της περιοχής αναγνωρίζεται αμέσως η τυπική αυτή τοποθεσία των παγετωδών αποθέσεων χωρίς να ληφθεί υπόψη ο γεωλογικός χάρτης του ROTHPLETZ (1917). Οι διάφορες παγετώδεις τaráτσες, ελλειψοειδείς λοφίσκοι (drumlins, äser και kames) διακρίνονται με μεγάλη ακρίβεια. Η έρευνα των βαθουλωμάτων του νεκρού πάγου παρουσιάζει τέτοια ακρίβεια, η οποία θα ήταν πολύ δύσκολη να γίνει στην ύπαιθρο χωρίς τη βοήθεια των αεροφωτογραφιών. Η φωτογεωλογική ανάλυση της περιοχής επιτρέπει κατευθείαν τον προσδιορισμό των διαφόρων μορφών από τη φωτογραφία, λόγω του ότι πρωτεύοντα ρόλο κατέχει η γεωμορφολογία και όχι τα πετρώματα. Δεν είναι αναγκαίο να καταστρωθεί πρώτα ένα φωτογεωλογικό κλειδί, το οποίο κατόπιν συγκρινόμενο στο πεδίο διασαφηνίζει τις διάφορες λιθολογικές ή στρωματογραφικές ενότητες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BODECHTEL, J. (1965): Die südlichen Osterseen bei Iffeldorf in Oberbayern. Luftbildinterpretation einer Jungglaziallandschaft. Erdkunde, Archiv. für wissen. Geographie 19: 150-155, Bonn.

- FRYDAS, D. (1975): Photogeologische und Sedimentologische Untersuchungen der Glazialablagerungen im Bereich des nördlichen Ammergletschers. Inst. allgem. angew. Geol. (unveröff. Dipl. Arb.) 96 S., 42 Abb., 3 Tab., 1 Photogeol. karte, 4 Beil. Karten, München.
- (1987): Die Erforschung vulkanischer Gebiete durch Anwendung des Fernerkundungs Verfahrens. *Mineral Wealth*, 47; p. 47-54, Athens.
- (1990): Das Gebiet von Rabigh nördlich Jeddah/S. Arabien. Die Luftbildinterpretation im Dienst der Ingenieurgeologie und Hydrologie. *Bull. Geol. Soc. Greece*. vol. 21, p. 27-43, Athens.
- KNAUER, J. (1929): Teilbalt Landsberg der geognostischen Karte von Bayern mit Erläuterungen. 1:100.000, München.
- (1931): Teilbalt München-Strarnberg der geognostischen Karte von Bayern mit Erläuterungen. 1:100.000, München.
- KRONBERG, P. (1967): Photogeologie. Eine Einführung in die geologische Luftbildauswertung. *Clausthale Tekton. Hefte* 6, 235 S., Clausthal-Zellerfeld.
- LOUIS, H. (1960): Allgemeine Geomorphologie. S. 1-354, Berlin.
- ROTHPLETZ, A. (1917): Geologische Karte des Isar-Vorlandgletschers. *Mitt., Geogr., Ges., München*, 12; 1:150.000, München.
- TROLL, K. (1938): Der Eiszerfall beim Rückzug der alpinen Vorlandgletscher in die Stammbecken. *Verh. III. Intern. Quartärkonferenz, Wien 1936*, S. 152-160, Wien.
- VERSTAPPEN, H. Th. & van ZUIDAM, R.A. (1978): Use of aerial photographs, in geomorphology. *ITC Textbook of Photo-Interpretation*, 7/Z, 49 S. Netherland.