



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΛΑΦΙΚΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ  
ΠΡΟΛΗΨΗ – ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ  
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΑΓΓΕΛΟΣ ΤΣΑΓΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. ΕΙΡΗΝΗ ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ**

**ΠΑΤΡΑ, 2020**

*Φύσις κρύπτεσθαι φιλεῖ.*  
~ Ηράκλειτος ~

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια μου, κ. Βγενοπούλου Ειρήνη, Καθηγήτρια και Πρόεδρο του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, που με τις πολύτιμες υποδείξεις και παρατηρήσεις της που μου πρόσφερε αλλά και με την ουσιαστική υποστήριξη και το ενδιαφέρον της, συνέβαλε στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας μου.

Ευχαριστώ οφείλω και στον κ. Μαλαπέρδα Γεώργιο, συμβασιούχο καθηγητή για την βοήθεια και τις χρήσιμες συμβουλές του.

Τσάγας Άγγελος  
Πάτρα, 2020

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τα εκτεταμένα φαινόμενα υποχωρήσεων της επιφάνειας του εδάφους γνωστά ως εδαφικές υποχωρήσεις (land subsidence), τα οποία προκαλούνται από ενδογενείς παράγοντες όπως η αφαίρεση ρευστών ή η κατάρρευση φυσικών και τεχνητών εγκοίλων.

Πρωτίστως, αναφέρεται η διαφορετική σημασία της εδαφικής υποχώρησης (Subsidence) σε σχέση με την καθίζηση (Settlement). Επιπλέον, περιγράφεται η μεταβολή στη στάθμη ρευστών μέσα στο έδαφος και γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις των εδαφικών υποχωρήσεων.

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται οι αιτίες που εκδηλώθηκαν οι εδαφικές υποχωρήσεις και γίνεται μελέτη των εδαφικών περιπτώσεων με ποικίλα παραδείγματα τόσο στον Ελλαδικό χώρο όσο και στο Εξωτερικό.

Τέλος, περιγράφονται η πρόληψη - τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου μέσα από σημαντικά παραδείγματα και αναλύονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ (SUBSIDENCES).....	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	1
1.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ.....	4
2.1 ΑΙΤΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ .....	4
2.2 ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ .....	5
2.2.1 Η ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ Η ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.....	6
2.2.1.1 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΥΠΕΡΑΝΤΛΗΣΗΣ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ .....	7
2.2.1.1.1 ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΞΙΚΟΥ .....	7
2.2.1.1.2 ΑΓΓΛΙΑ .....	7
2.2.1.1.3 ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ ΑΜΕΡΙΚΗΣ .....	8
2.2.1.1.4 Η ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΜΠΑΝΓΚΟΚ ΤΗΣ ΤΑΪΛΑΝΔΗΣ.....	11
2.2.1.1.5 ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ CHANGZHOU ΤΗΣ ΚΙΝΑΣ .....	12
2.2.1.1.6 ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΣΥΡΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΠΕΔΙΑΔΑ ΤΟΥ ΠΕΚΙΝΟΥ, ΚΙΝΑ .....	12
2.2.1.1.7 ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ ΜΑΣΗΗΑΔ, ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΙΡΑΝ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ INSAR, ΙΣΟΠΕΔΩΣΗ ΚΑΙ GPS.....	13
2.2.1.1.8 Η ΕΥΣΤΑΣΙΑ* ΚΑΙ Η ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΤΗΣ ΒΕΝΕΤΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΧΙΛΙΕΤΙΑΣ .....	16
2.2.1.1.9 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ GIPPSLAND ΤΗΣ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΛΟΣ PALSAR.....	16
2.2.1.1.10 ΕΞΟΡΥΞΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ, ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΟ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΜΕΚΟΝΓΚ ΤΟΥ ΒΙΕΤΝΑΜ.....	17
2.2.1.2 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΥΠΕΡΑΝΤΛΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	17
2.2.1.2.1 ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΩΝ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ .....	17
2.2.1.2.2 ΚΑΛΟΧΩΡΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ .....	18
2.2.1.2.3 ΠΕΡΑΙΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ .....	22
2.2.1.2.4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΥΤΙΚΑ ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ, Ν. ΦΛΩΡΙΝΑΣ.....	23

2.2.1.2.5	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ Ν. ΦΑΛΗΡΟΥ – ΜΟΣΧΑΤΟΥ – ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ, Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ.....	25
2.2.1.2.6	ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΘΕΣΣΑΛΙΚΟΣ ΚΑΜΠΟΣ .....	26
2.2.1.2.7	ΔΥΤΙΚΟΣ ΘΕΣΣΑΛΙΚΟΣ ΚΑΜΠΟΣ .....	27
2.2.2	ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	30
2.2.2.1	ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ .....	31
2.2.2.1.1	ΟΛΛΑΝΔΙΑ.....	31
2.2.2.1.2	ΤΑ ΔΕΛΤΑ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ SACRAMENTO-SAN JOAQUIN, CALIFORNIA .....	31
2.2.2.1.3	ΤΡΙΑ ΕΤΗ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑ SAR, ΚΟΝΤΑ ΣΤΗΝ GARDANNE, ΓΑΛΛΙΑ .....	31
2.2.3	ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΔΙΑΒΡΩΣΙΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ .....	31
2.2.3.1	ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΙΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ.....	33
2.2.3.1.1	ΚΑΤΑΒΟΘΡΕΣ ΣΤΗ ΠΟΛΗ GUATEMALA, ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΜΕΡΙΚΗ.....	33
2.2.3.1.2	WINTER PARK SINKHOLE, FLORIDA .....	34
2.2.3.1.3	JOHANNESBURG ΝΟΤΙΑΣ ΑΦΡΙΚΗΣ.....	35
2.2.3.1.4	AKRON ΤΟΥ ΟΗΙΟ.....	35
2.2.3.1.5	HERSHEY VALLEY ΤΗΣ PENNSYLVANIA.....	36
2.2.3.1.6	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕΣΩ GPS ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΟΙΙΥΑ, ΝΙΙΓΚΑΤΑ, ΙΑΠΩΝΙΑ .....	37
2.2.3.1.7	ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟ-ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΜΕΓΑΛΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΛΑΣΚΑ .....	38
2.2.3.1.8	Η ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΟΙ ΔΟΛΙΝΕΣ* ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ ΠΕΤΡΩΜΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΓΥΨΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΠΟΤΑΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΆΝΩ ΤΙΓΡΗ (ΜΕΤΑΞΥ BISMIL-BATMAN, ΤΟΥΡΚΙΑ) .....	39
2.2.3.2	ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΙΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ .....	40
2.2.3.2.1	ΛΙΜΝΗ ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ.....	40
2.2.4	ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ.....	41
2.2.4.1	ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ.....	42
2.2.4.2	ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ.....	46
2.2.4.3	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ ΑΥΤΗΣ ΤΗΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ .....	49
2.2.4.3.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ .....	50

2.2.4.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ (SUBSIDENCE) ΑΠΟ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ .....	51
2.2.4.4.1 ΓΩΝΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ .....	52
2.2.4.4.2 ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (ΣΤΟΑΣ).....	52
2.2.4.4.3 ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	53
2.2.4.4.4 ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ .....	53
2.2.4.4.5 Η ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ.....	54
2.2.4.4.6 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ Ο ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	55
2.2.4.4.7 Ο ΠΑΡΑΓΩΝ ΧΡΟΝΟΣ .....	56
2.2.4.4.8 Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ .....	56
2.2.4.4.9 Η ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	57
2.2.4.4.10 ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	58
2.2.4.5 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ.....	58
2.2.4.5.1 ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΑΛΑΤΩΡΥΧΕΙΩΝ ΣΤΗ ΠΟΛΗ NORTHWICH ΣΤΟ CHESHIRE ΒΔ ΑΓΓΛΙΑ .....	58
2.2.4.5.2 ΚΑΤΑΒΟΘΡΑ ΤΟΥ ΒΑΥΟΥ CORNE ΣΤΟ TEXAS .....	59
2.2.4.5.3 ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΑΝΘΡΑΚΩΡΥΧΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ SHERIDAN, WYOMING .....	59
2.2.4.6 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ .....	60
2.2.4.6.1 ΤΑ ΛΙΓΝΙΤΩΡΥΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝΘΟΥΠΟΛΗΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ .....	60
2.2.4.6.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΡΟΛΗΨΗ - ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ .....	66
3.1 ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ, ΚΙΝΑ.....	66
3.2 LONG BEACH, ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ .....	66
3.3 ΚΑΛΟΧΩΡΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ .....	67
3.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ .....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ .....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	74

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ (SUBSIDENCES)

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βαρυντικές και οι τεκτονικές δυνάμεις που ασκούνται στους σχηματισμούς που περιβάλλουν μια υπόγεια εκσκαφή, τείνουν να προκαλέσουν το κλείσιμό της. Παραμορφώσεις που σχετίζονται ή όχι με το χρόνο, σε συνδυασμό με τον κερματισμό των πετρωμάτων προκαλούν υποχώρηση των υπερκειμένων σχηματισμών του υπόγειου ανοίγματος προς αυτό.

Η διαδικασία αυτή ονομάζεται εδαφική υποχώρηση (Subsidence). Αρχικά εμφανίζεται στο υπόγειο άνοιγμα, για να μεταναστεύσει στη συνέχεια στην επιφάνεια και να προκαλέσει βυθίσματα στην επιφάνεια.

Συνεπώς ο όρος εδαφική υποχώρηση (Subsidence) χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τις συνέπειες στην επιφάνεια του εδάφους που προέρχονται από την εξάλειψη της υποστήριξης του σε βάθος ή από τον υποβιβασμό της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και μετανάστευση των αστοχιών που προκύπτουν από αυτές τις αιτίες στην επιφάνεια.

Με βάση την περιγραφή αυτή, οι εδαφικές υποχωρήσεις (Subsidence) διαφοροποιούνται από τις καθιζήσεις (Settlements) ή την συμπίεστικότητα των αργίλων (consolidation of clays), καθώς σε αυτή την περίπτωση αναφερόμεθα σε προβλήματα επιβολής πρόσθετης (εξωτερικής) φόρτισης.

Συνεπώς, εδαφική υποχώρηση είναι ο υποβιβασμός της επιφάνειας του εδάφους λόγω αλλαγών είτε στη στάθμη κάποιου υπόγειου ρευστού (υποβιβασμός στάθμης νερού, πετρελαίου) είτε στη μεταβολή της αντοχής του εδάφους, λόγω αφαίρεσης της υποστήριξης αυτού σε συγκεκριμένη θέση.

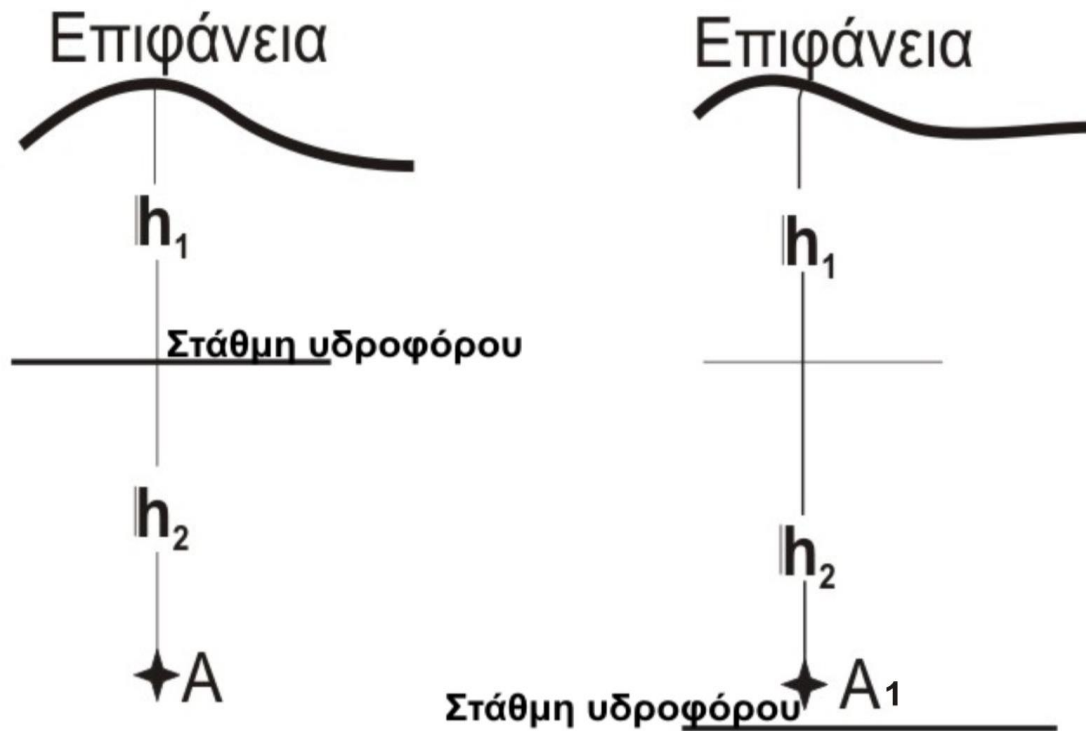
### 1.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

Γενικά ο υποβιβασμός της στάθμης του υπόγειου νερού ισοδυναμεί και με προφόρτιση των οριζόντων που θα απαλλαγούν από την παρουσία του.

Για μια συσσώρευση εδαφικών σωματιδίων στη θέση A του σχήματος που ακολουθεί και η οποία αρχικά βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, με πυκνότητα  $\gamma_g$ , ενώ η πυκνότητα του νερού είναι  $\gamma_w$ , η τάση  $S_A$  στο A θα είναι:  $S_A = h_1 \gamma_g + h_2 (\gamma_g - \gamma_w)$ .

Με φυσικό ή και τεχνητό υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα κάτω από το επίπεδο του σημείου A, η τάση  $S_{A1}$  στο σημείο διαμορφώνεται ως εξής:  $S_{A1} = (h_1 + h_2) \gamma_g$ .





$$S_A = h_1 \gamma_g + h_2 (\gamma_g - \gamma_w)$$

$$S_{A1} = (h_1 + h_2) \gamma_g$$

**Εικόνα 1.1** - Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αύξησης της φόρτισης του εδάφους με τον υποβιβασμό του υδροφόρου.

Γίνεται αντιληπτό ότι  $S_{A1} > S_A$  και επομένως διαπιστώνεται σημαντική αύξηση της τάσης στο εδαφικό κομμάτι στο A και επομένως εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων.

Γενικά, το μέγεθος της εδαφικής υποχώρησης εξαρτάται από:

- το πάχος των στρωμάτων που μπορεί να υποστούν συμπίκνωση,
- την συμπιεστότητά τους, αλλά και
- την ποσότητα του νερού που απομακρύνεται με τον υποβιβασμό της στάθμης.

Συνεπώς όλα αυτά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κυρίως για την προστασία των γειτονικών κατασκευών, από ανεπιθύμητες εδαφικές υποχωρήσεις.

### 1.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ

Οι συνηθέστερα παρατηρούμενες επιπτώσεις των εδαφικών υποχωρήσεων είναι:

- Εδαφικές διαρρήξεις
- Αστοχίες δύσκαμπτων κτιριακών κατασκευών
- Φθορές στα γραμμικά δίκτυα παροχών κοινής ωφέλειας (ηλεκτροδότησης, υδροδότησης, κ.α.) καθώς και στα έργα οδοποιίας
- Προέλαση της θάλασσας στην ενδοχώρα (κατά μήκος παράκτιων περιοχών)
- Καταστροφή των υδρογεωτρήσεων



*Εικόνα 1.2 - Εδαφική διάρρηξη.*



*Εικόνα 1.3 - Αστοχία κτιρίου.*



*Εικόνα 1.4 - Καταστροφή σε έργο οδοποιίας.*



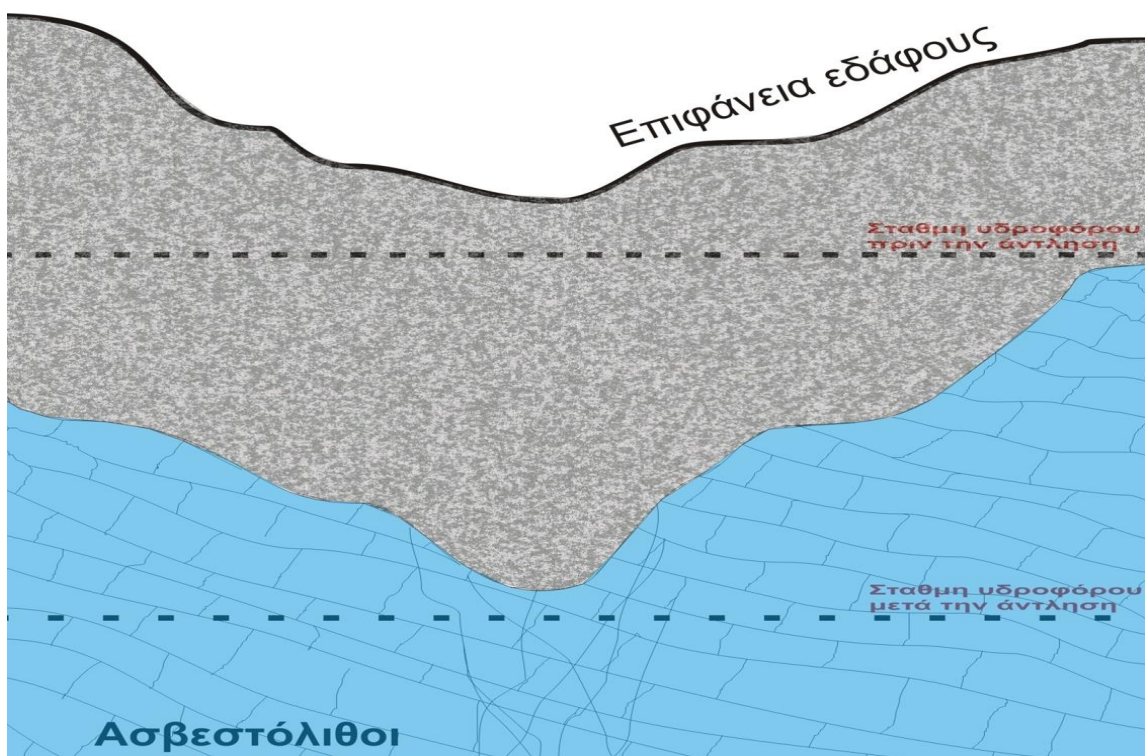
*Εικόνα 1.5 - Καταστροφή υδρογεώτρησης.*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ

#### 2.1 ΑΙΤΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ

Αν τα εδαφικά υλικά καλύπτουν ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από την παρουσία καρστικών εγκοίλων και η στάθμη του υδροφόρου υποβιβάζεται λόγω άντλησης, η αύξηση της φόρτισης επιφέρει την εμφάνιση στην επιφάνεια βαθιών εδαφικών (βυθίσεων) υποχωρήσεων περίπου κυκλικής μορφής (sink holes) ή και αβαθών (sallow holes), λόγω κατάρρευσης των διαβρωσιγενών κοιλοτήτων στον ασβεστόλιθο.

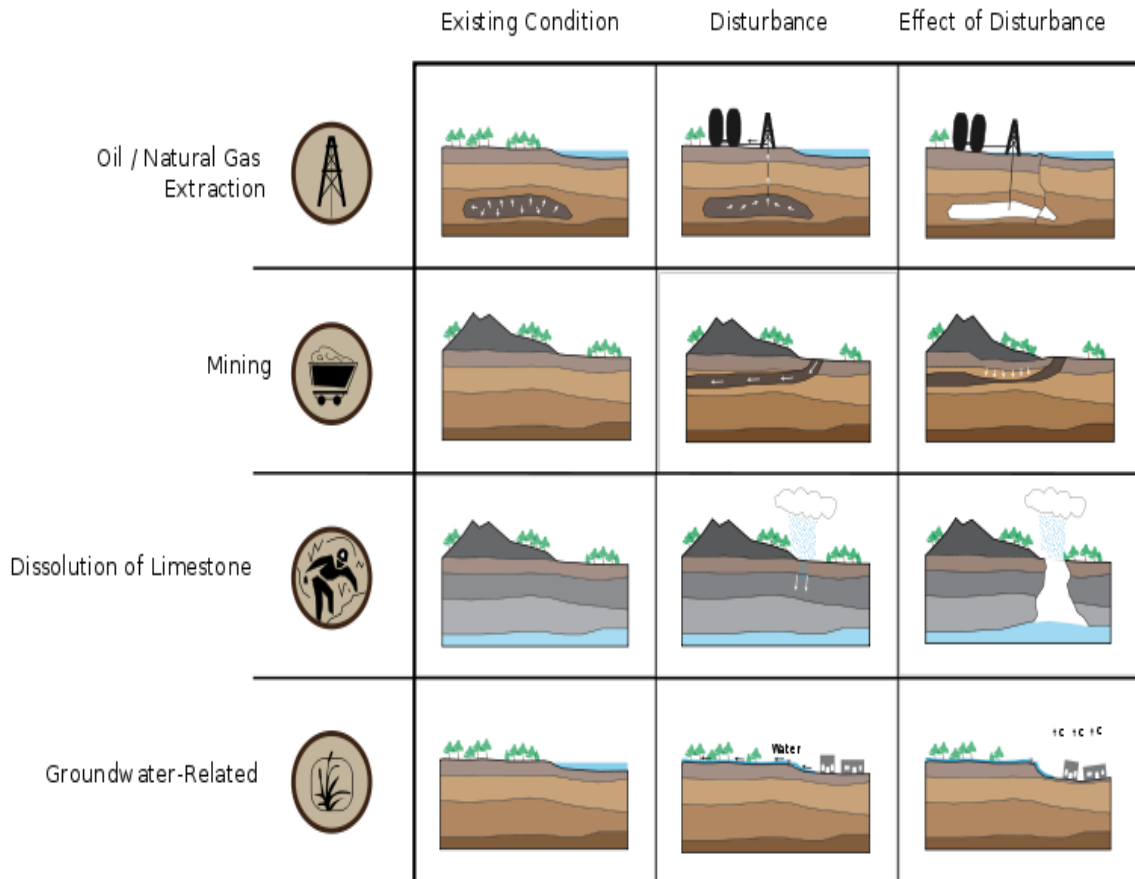


**Εικόνα 2.1** - Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αύξησης της φόρτισης του εδάφους με τον υποβιβασμό του υδροφόρου.

Άρα, οι κύριες αιτίες πρόκλησης εδαφικών υποχωρήσεων είναι:

- Η αφαίρεση ρευστών από το έδαφος και η στερεοποίηση λόγω μεταβολής του γεωστατικού πεδίου των τάσεων.
- Η οξείδωση οργανικών εδαφών ως συνέπεια του υποβιβασμού της στάθμης των υδροφόρων.

- Η κατάρρευση διαβρωσιγενών κοιλοτήτων, κυρίως σε εβαποριτικούς και δευτερευόντως ανθρακικούς σχηματισμούς. Λόγω προοδευτικής διάβρωσης, είτε λόγω αύξησης των φορτίσεων της οροφής.
- Η κατάρρευση ανθρωπογενών κοιλοτήτων (π.χ. στοές, θάλαμοι μεταλλείων, θύλακες υδρογονανθράκων κ.α.).



*Εικόνα 2.2 - Κατηγορίες εδαφικών υποχωρήσεων.*

## 2.2 ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αιτίες που εκδηλώθηκε το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων και γίνεται μελέτη ποικίλων περιπτώσεων τόσο σε περιοχές της Ελλάδας όσο και σε χώρες του Εξωτερικού.

## 2.2.1 Η ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ Η ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Με την απομάκρυνση ενός ρευστού από το έδαφος όπως προαναφέρθηκε επέρχεται αύξηση των τάσεων. Η αύξηση αυτή επιφέρει επαναπροσανατολισμό των εδαφικών σωματιδίων, δηλαδή αύξηση στην πυκνότητα του εδάφους που υφίσταται την όλη διαδικασία και κατά συνέπεια μείωση του όγκου του που εκδηλώνεται με τη μορφή της εδαφικής υποχώρησης. Όταν η εδαφική υποχώρηση είναι ομαλή υπάρχουν ομοιόμορφες συνθήκες στην περιοχή. Αν οι εδαφικές υποχωρήσεις διαφοροποιούνται από θέση σε θέση τότε τα προβλήματα είναι πολύ σημαντικά για την ασφάλεια των κατασκευών (διαφοροποίηση στην ένταση του εφελκυσμού).

Ακόμη, εδαφικές υποχωρήσεις μπορεί να συμβούν και από άλλες αιτίες, λόγω εισπίεσης ρευστού μέσα στο έδαφος. Για παράδειγμα σε αργιλικά (clays) ή και ασβεστιτικά (losses) εδάφη που έχουν μικρή πυκνότητα, δηλαδή υψηλό λόγο κενών, η προσθήκη νερού επιφέρει την κατάρρευσή τους. Αυτό συμβαίνει:

(α) στην περίπτωση των αργίλων γιατί το αργιλικό φιλμ γύρω από τους κόκκους της ιλύος με την προσθήκη του νερού λειτουργεί σαν λιπαντικό επιτρέποντας την ολίσθηση των κόκκων της ιλύος, άρα την εκδήλωση υποχωρήσεων και

(β) στην περίπτωση των ασβεστούχων πηλών (losses) γιατί το νερό απομακρύνει το ασθενές ασβεστιτικό συνδετικό υλικό.

Τέλος, το ίδιο μπορεί να συμβεί με την εισπίεση νερού σε αλλουβιακές αποθέσεις που βρίσκονται σε οριακές συνθήκες ισορροπίας. Στις περιπτώσεις αυτές το πρόσθετο νερό μειώνει τη διατμητική αντοχή και αυξάνει τις διατμητικές τάσεις επιφέροντας κατάρρευση του εδαφικού υλικού. Έτσι εκδηλώνονται στην επιφάνεια εφελκυστικές ρωγμές, που επηρεάζουν τα τεχνικά έργα. Επιπρόσθετα είναι γνωστή η τάση των μοντοριλλονιτικών\* εδαφών να διογκώνονται μέχρι και 60% όταν αποκτούν νερό στη δομή τους.

Η κυριότερη αιτία πρόκλησης εδαφικών υποχωρήσεων είναι η πτώση του υδροφόρου ορίζοντα από υπεράντληση λόγω άναρχης εντατικοποίησης των αντλήσεων σε πεδινές περιοχές, οι συνέπειες όμως αυτών των προβλημάτων είναι σημαντικές, γιατί πλήττουν και κατοικημένες περιοχές. Όπου αυτό φαίνεται μέσα από ποικίλα παραδείγματα εδαφικών υποχωρήσεων αυτής της μορφής σε χώρες του Εξωτερικού αλλά και στην Ελλάδα.

\*Μοντοριλλονίτης (montmorillonite): αργιλικό ορυκτό, που παίρνει το όνομα του από τη γαλλική πόλη Montmorillon, με μεγάλη ειδική επιφάνεια και ικανότητα να συγκρατεί νερό.

## 2.2.1.1 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΥΠΕΡΑΝΤΛΗΣΗΣ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ

### 2.2.1.1.1 ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΞΙΚΟΥ

Η πόλη του Μεξικού είναι ίσως η μεγαλύτερη πόλη στον κόσμο και έχει κτιστεί σε αλλουβιακές αποθέσεις που καλύπτουν ηφαιστειακά πετρώματα. Η συνεχής άντληση του υδροφόρου ορίζοντα των αλλούβιων για τις ανάγκες της πόλης επί σειρά ετών, οδήγησε στον υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα κατά 10-50m, με αποτέλεσμα την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων 8m, λόγω επαναπροσανατολισμού των εδαφικών σωματιδίων και της εξ αυτού μείωσης του όγκου. Οι υπόψη εδαφικές υποχωρήσεις εκδηλώθηκαν σε μια έκταση 25km<sup>2</sup>, προκαλώντας γενικά προβλήματα στην περιοχή, όπως προεξοχή σωλήνων υδρογεωτρήσεων κατά 8m πάνω από το έδαφος κλπ., αλλά και υποχωρήσεις των μεγάλων κτηρίων μεγαλύτερες από το βάθος θεμελίωσης αυτών, καθώς οι τάσεις στο χώρο θεμελίωσης αυτών είναι σημαντικά αυξημένες. Έτσι, η προσπάθεια αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού στράφηκε στην θεμελίωση των κατασκευών βαθύτερα με τη βοήθεια πασσάλων, κάτι φυσικά που είναι πολύ δαπανηρό, ιδιαίτερα για τα μικρά κτήρια.



*Εικόνα 2.3 - Ναός της Basilica of Our Lady στην Γουαδελούπη.*

Ο καθεδρικός ναός της Basilica of Our Lady of Guadalupe σε πρόσφατη φωτογραφία όπου φαίνεται να κλείνει προς τα αριστερά. Κατασκευή θεμελιωμένη σε πασσάλους η οποία ανθίσταται στις υποχωρήσεις.

### 2.2.1.1.2 ΑΓΓΛΙΑ

Στην Αγγλία κύρια παραδείγματα εδαφικών υποχωρήσεων είναι αυτά που σημειώθηκαν στο Cheshire και στο Staffordshire με την αφαίρεση νερού και αλατιού από εβαποριτικούς (Τριαδικούς) ορίζοντες. Η δραστηριότητα αυτή αφορούσε την παραγωγή αλατιού, που έφθανε και τους 2.000.000 τόνους ανά έτος. Η αφαίρεση του διαλυμένου ορυκτού άλατος προκαλούσε τη δημιουργία σπηλαιωδών ανοιγμάτων, η κατάρρευση των οποίων οδηγούσε σε ζημιές στην επιφάνεια του εδάφους. Η εισπίεση νερού σαν μέτρο αντιμετώπισης δεν θα μπορούσε να βοηθήσει στη συγκεκριμένη περίπτωση, αφού η στάθμη του υδροφόρου ήταν κοντά στην επιφάνεια και έτσι η περιοχή, που δεν ήταν ακατοίκητη, θα πλημμύριζε με νερό.

### 2.2.1.1.3 ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ ΑΜΕΡΙΚΗΣ

Σε πολλές περιοχές των ΗΠΑ, έχουν σημειωθεί εδαφικές υποχωρήσεις λόγω άντλησης νερού ή και πετρελαίου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι περιπτώσεις που ακολουθούν:

Στην Αριζόνα, όπου σε περιοχή αλλουβιακών αποθέσεων η υπεράντληση προκάλεσε εδαφικές υποχωρήσεις βάθους 23m. Εδαφικές διαρρήξεις άρχισαν να εμφανίζονται το 1990. Η συνολική πληττόμενη έκταση είναι μεγαλύτερη από 7800 km<sup>2</sup> και περιλαμβάνει τις πόλεις Phoenix, Tucson και το βόρειο τμήμα της Pinal.



*Εικόνα 2.4 - Εδαφικές διαρρήξεις σε περιοχή της Αριζόνας.*

Στην Καλιφόρνια, υπεράντληση νερού προκάλεσε εδαφική υποχώρηση με βύθιση 4m σε μια περιοχή με έκταση 200 τετραγωνικά μίλια.



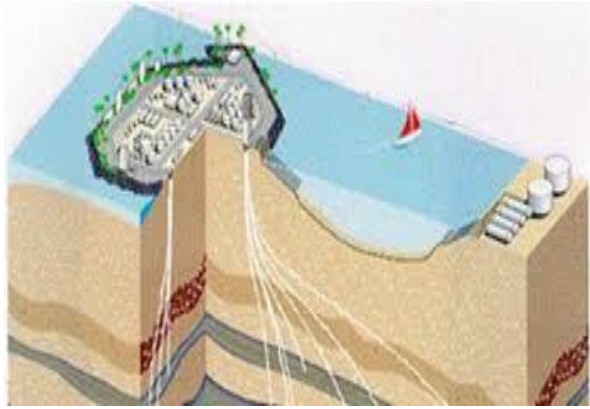
**Εικόνα 2.5** - Υποχώρηση εδάφους στην κοιλάδα του San Joaquin στην California.

Η εικόνα παρουσιάζει την υποχώρηση μεταξύ του 1925 και του 1977 στην κοιλάδα του San Joaquin στην California. Η υποχώρηση προκλήθηκε από την υπεράντληση των υπόγειων υδροφόρων.

Στο Χιούστον του Τέξας για τον ίδιο λόγο εκδηλώθηκε εδαφική υποχώρηση 1-2 μέτρων σε μια έκταση 10.000km<sup>2</sup>.

Το Long Beach ήταν παλαιότερα γνωστό ως η «Sinking City». Η άντληση πετρελαίου και φυσικού αερίου από το «Wilmington Oil Field» προκάλεσε έντονες εδαφικές υποχωρήσεις.





**Εικόνα 2.6** - Αντλίες σε πάρκο του Long Beach. **Εικόνα 2.7** - Παραγωγικές γεωτρήσεις ανορυγμένες από νησί κοντά στην ακτή.

Δημιούργησε ένα βύθισμα 9 μέτρα γύρω από το λιμάνι του Long Beach και κατά μήκος της ακτογραμμής της πόλης. Πάνω από 52 km<sup>2</sup> επηρεάστηκαν από τις υποχωρήσεις. Στην αρχή της δεκαετίας του 1940 η υποβίβαση των υδροφόρων οριζόντων συνέβαλε και αυτή στην εξέλιξη των εδαφικών υποχωρήσεων αλλά η πλειονότητα των υποχωρήσεων αλλά η πλειονότητα των υποχωρήσεων προκλήθηκε από την άντληση των υδρογονανθράκων. Το Wilmington Oil Field είναι το τρίτο μεγαλύτερο πεδίο στις Ηνωμένες Πολιτείες και το αποθεματικό του υπολογίζονταν στα τρία δισεκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου. Έχει μήκος 21 km και πλάτος 4.8 km. Το πετρέλαιο εγκλωβίζεται εντός αμμωδών οριζόντων που εντοπίζονται σε βάθη από 600m έως 3.4 km. Συνολικά έως σήμερα έχουν ανορυχθεί 6.150 γεωτρήσεις για την εκμετάλλευση του πεδίου.



**Εικόνα 2.8** - Βύθισμα 9 μέτρα γύρω από το λιμάνι του Long Beach και κατά μήκος της ακτογραμμής της πόλης.

#### 2.2.1.1.4 Η ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΜΠΑΝΓΚΟΚ ΤΗΣ ΤΑΪΛΑΝΔΗΣ

Η εδαφική υποχώρηση από την άντληση μεγάλων πηγών έχει επηρεάσει τη Μπανγκόκ τα τελευταία 35 χρόνια. Ο αντίκτυπός του είναι ιδιαίτερα κρίσιμος, λόγω της επίπεδης χαμηλής τοπογραφίας και της παρουσίας ενός μεγάλου πάχους μαλακού στρώματος αργίλου στην επιφάνεια του εδάφους που αυξάνει τον κίνδυνο πλημμύρας και τα προβλήματα μηχανικής θεμελίωσης αντίστοιχα. Η εδαφική υποχώρηση έφθασε στην πιο κρίσιμη κατάσταση στις αρχές της δεκαετίας του 1980, όταν σημειώθηκε σε ρυθμό ύψους 120 mm / έτος. Το ποσοστό μειώθηκε στην επόμενη περίοδο, αλλά η περιοχή που επηρεάστηκε από την υποβάθμιση επεκτάθηκε μετά την ανάπτυξη της πόλης. Παρά τις διάφορες προσπάθειες που έγιναν για την αντιμετώπιση της κρίσης, η άντληση υπογείων υδάτων από το πυκνό υδροφόρο σύστημα κάτω από την πόλη συνέχισε να αυξάνεται από 1.2 εκατομμύρια m<sup>3</sup> / ημέρα στις αρχές της δεκαετίας του 1980 σε πάνω από 2.0 εκατομμύρια m<sup>3</sup> / ημέρα στις αρχές του αιώνα. Τα πιεζομετρικά επίπεδα στα κύρια στρώματα του υδροφόρου ορίζοντα λαμβάνονται μέχρι και 65 μ. Τα δεδομένα παρακολούθησης έδειξαν σαφή συσχέτιση μεταξύ της υποχώρησης του εδάφους και της πιεζομετρικής άντλησης. Τα στοιχεία υποδηλώνουν ότι για 1 m<sup>3</sup> υπόγειων υδάτων που αντλήθηκαν στην πεδιάδα της Μπανγκόκ, στην επιφάνεια εμφανίστηκαν περίπου 0,10 m<sup>3</sup> απώλειας εδάφους. Σημαντική ανάπτυξη έχει γίνει σε αριθμητικές μεθόδους για την πρόβλεψη διαφορικών διακανονισμών μεταξύ θεμελίων κτιρίων που προκαλούνται από την πιεζομετρική άντληση στους υδροφόρους ορίζοντες. Τα πρόσφατα αυστηρά μέτρα μετριασμού, που περιλαμβάνουν μια τιμολογιακή πολιτική για τη διαχείριση των υπόγειων υδάτων, μια επέκταση της παροχής νερού και αυστηρή επιβολή των νόμων για τα υπόγεια ύδατα, οδήγησαν σε σημαντική μείωση της χρήσης των υπόγειων υδάτων. Εντούτοις, η εδαφική υποχώρηση θα συνεχιστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω της εξαρτώμενης από το χρόνο συμπεριφοράς του μαλακού, χαμηλής διαπερατότητας στρώματος αργίλου εντός του υδροφορέα.



*Εικόνα 2.9 - Ζημιές που προκλήθηκαν από εδαφικές υποχωρήσεις του εδάφους στην Μπανγκόκ.*

#### **2.2.1.1.5 ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ CHANGZHOU ΤΗΣ ΚΙΝΑΣ**

Η πόλη Changzhou, που υποκρύπτεται από ένα πολυστρωματικό σύστημα υδροφόρου ορίζοντα σε τεταρτοταγή ιζήματα στην περιοχή του Μεγάλου Δέλτα του ποταμού Yangtze, γνώρισε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 ένα μέγιστο ποσοστό υποχώρησης εδάφους 147 mm / έτος λόγω της υπερβολικής εξόρυξης υπογείων υδάτων. Ένας μεγάλης κλίμακας σταθμός παρακολούθησης 11 επιταχυνόμενων γεωτρήσεων ιδρύθηκε στην πόλη το 1983 για να ερευνήσει την υποχώρηση εδάφους. Εννέα στρώματα ήταν προκαθορισμένα στο διάστημα του τεταρτογενούς βάρους και παρακολουθούνταν από εκτενείς μετρητές γεωτρήσεων. Σύμφωνα με την εργασία<sup>[8]</sup>, παρουσιάζονται οι μακροχρόνιες παρατηρήσεις της υποχώρησης εδάφους, της συμπίεσης των στρωμάτων και της στάθμης των υπογείων υδάτων σε τέσσερις υδροφορείς από το 1984 έως το 2002 και η συζήτηση για τη συμπίεση των στρωμάτων με βάση τα μετρούμενα δεδομένα με αναφορά στη στρωματογραφία, τις ιδιότητες του εδάφους, παρόμοιες καταστάσεις. Η συμπίεση των στρωμάτων ποικίλλει σημαντικά και επηρεάζεται έντονα από την άντληση υπογείων υδάτων στον δεύτερο περιορισμένο υδροφόρο ορίζοντα ή CA2. Η στάθμη των υπογείων υδάτων στην CA2 μειώθηκε από - 55 μ. Το 1981 σε - 76 μ. Το 1994 και το ποσοστό υποχώρησης εδάφους παρέμεινε υψηλό. Αφού η κυβέρνηση της πόλης επέβαλε περιορισμούς στην εξόρυξη υπογείων υδάτων το 1995, ο βαθμός εξόρυξης μειώθηκε απότομα, η στάθμη των υπογείων υδάτων στην CA2 ανέκαμψαν σταθερά σε - 56 μέτρα μέχρι το 2003 και το ποσοστό υποχώρησης εδάφους μειώθηκε στα 10 mm / έτος το 2002. Από το 1984 έως το 2002, η υποχώρηση εδάφους οφειλόταν κυρίως στην παγίωση του πυκνού ακτίνων που επικαλύπτουν το CA2. Στο μέλλον, για να αποφευχθεί η αύξηση του ποσοστού υποβάθμισης, είναι ζωτικής σημασίας να σταματήσει η ανάληψη υπογείων υδάτων στους υδροφορείς.

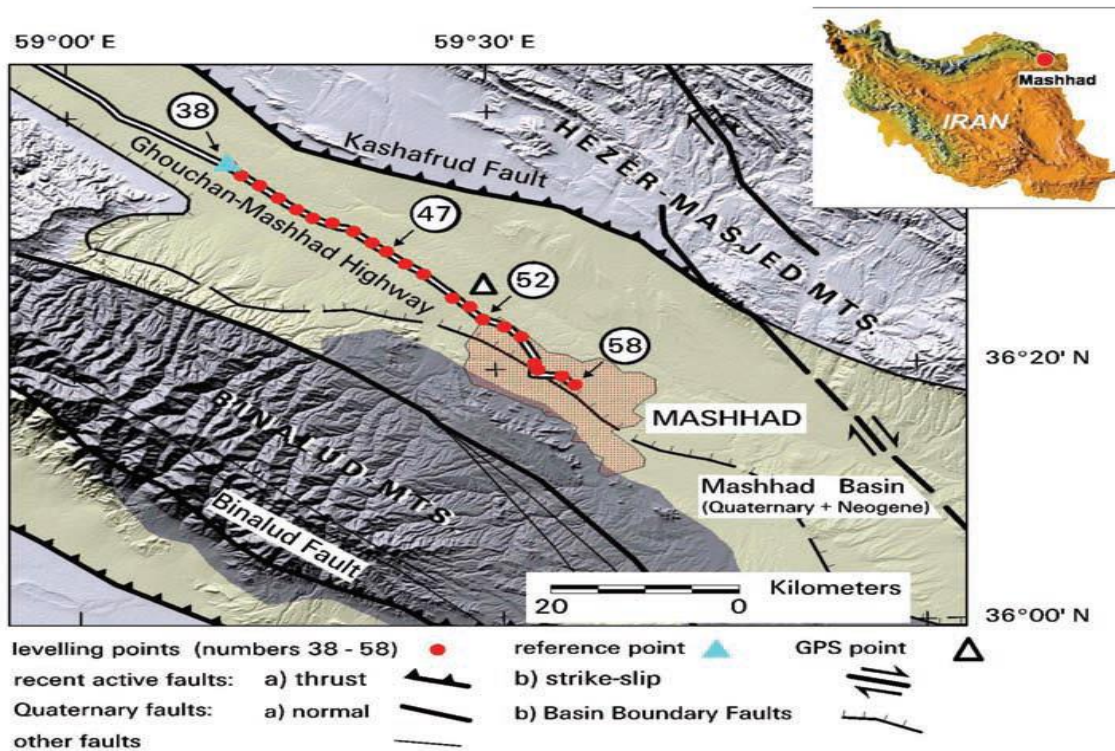
#### **2.2.1.1.6 ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΣΥΡΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΠΕΔΙΑΔΑ ΤΟΥ ΠΕΚΙΝΟΥ, ΚΙΝΑ**

Το Πεκίνο είναι μια διεθνής μητρόπολη, όπου η υπερβολική άντληση των υδάτινων πόρων καθιστά την υποχώρηση εδάφους όλο και πιο σοβαρή. Τα σχετικά προβλήματα δεν μπορούν να αποφευχθούν τα επόμενα χρόνια εξαιτίας της γιγαντιαίας αύξησης του πληθυσμού. Οι στόχοι αυτής της μελέτης είναι η ποσοτικοποίηση της υποχώρησης εδάφους κατά την περίοδο 2003-2010, η κατανόηση της εξέλιξης της διεργασίας και η διερεύνηση της σχέσης με τους παράγοντες που πυροδοτούν τη βόρεια περιοχή της πεδιάδας του Πεκίνου. Συλλέχθηκαν διάφορα στοιχεία, όπως η βαθιά συμπίκνωση από γεωτρητικές μετρήσεις, η υποχώρηση εδάφους από τις σαρώσεις με τη μέθοδο της interferometry, οι στάθμες των υπόγειων υδάτων, η υδρογεωλογική ρύθμιση από τις εκβαθύνσεις και η εικόνα Landsat TM και χρησιμοποιήθηκαν αποτελεσματικά για την ανίχνευση των χωρικών και χρονικών χαρακτηριστικών της υποχώρησης εδάφους την πιθανή σχέση της με τις μεταβολές της στάθμης των υπόγειων υδάτων, το πάχος της συμπιεζόμενης στρώσης και την αστική ανάπτυξη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η υποχώρηση του εδάφους είναι άνισα κατανομημένη και συνεχώς αυξάνεται από το 2003 έως το 2010. Η μέση απώλεια ανύψωσης κατά την περίοδο παρακολούθησης ανήλθε σε 92.5 mm, με ρυθμούς έως και 52 mm / έτος. Η κατανομή της λεκάνης εδαφικής υποχώρησης είναι μόνο εν μέρει συνεπής με εκείνη του κώνου υποπίεσης υπογείων υδάτων λόγω του μεταβλητού πάχους των πλέον συμπιεστέων λεπτών αποθέσεων. Στην πραγματικότητα, τα επιμεταλλώματα αποκαλύπτουν ότι τα στρώματα πυριτικής αργίλου αποτελούν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην υποχώρηση του

εδάφους, με το πυκνό στρώμα πυκνής αργίλου πάχους 15 μέτρων με βάθος μεταξύ 102 και 117 μέτρων, το οποίο αντιπροσωπεύει περίπου το 25% της συνολικής υποχώρησης εδάφους. Τέλος, δεν παρατηρήθηκε σαφής συσχέτιση μεταξύ των ποσοστών υποχώρησης εδάφους και της αύξησης του φορτίου στην επιφάνεια της γης που συνδέεται με την εντυπωσιακή αστική ανάπτυξη. Αυτή η μελέτη αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης ενός φυσικώς βασισμένου μοντέλου του περιστατικού υποχώρησης εδάφους που θα χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό στρατηγικών αποκατάστασης στη βόρεια πεδιάδα του Πεκίνου.

#### **2.2.1.1.7 ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ MASHHAD, ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΙΡΑΝ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ INSAR, ΙΣΟΠΕΔΩΣΗ ΚΑΙ GPS**

Σημαντική υποχώρηση εδάφους αναγνωρίστηκε πρόσφατα στο βορειοανατολικό Ιράν, κοντά στην πόλη Mashhad. Οι ακριβείς έρευνες ισοπέδωσης που πραγματοποιήθηκαν το 1995, το 2002 και το 2005, δείχνουν έως και 90 εκατοστά υποχώρηση εδάφους κατά την περίοδο 1995-2005. Η συνεχής παρακολούθηση GPS περίπου 8 χλμ. βορειοδυτικά της πόλης Mashhad παρουσιάζει υποχώρηση εδάφους άνω των 20 εκατοστά ετών από το 2005 έως το 2006. Χρησιμοποιούμε μετρήσεις παρεμβολής (InSAR) για την ανίχνευση του χρονικού και χωροταξικού σχεδίου αυτής της επιφανειακής παραμόρφωσης. 13 παρεμβολές από 10 εικόνες SAR της ζώνης C, που αποκτήθηκαν από το δορυφόρο Eriksat από το 2003 έως το 2005, αναλύονται και στοιβάζονται. Η χαρτογράφηση InSAR μας υποδηλώνει ότι η υποχώρηση εδάφους εμφανίζεται σε ένα επίμηκες ελλειψοειδές κύπελλο βορειοδυτικού-νοτιοανατολικού άξονα κατά μήκος του άξονα της κοιλάδας Mashhad, με πλάτος κορυφής ~ 28-30 cm yr<sup>-1</sup> για την περίοδο 2003-2005. Τα δεδομένα InSAR υποδεικνύουν ότι περίπου 70 km<sup>2</sup> στο δάπεδο της κοιλάδας, συμπεριλαμβανομένου του βορειοδυτικού τμήματος της πόλης Mashhad, υποχώρησαν σε ποσοστό μεγαλύτερο από 15 cm yr<sup>-1</sup> μεταξύ 2003 και 2005 και ότι η περιοχή υποχώρησης εδάφους ελέγχεται δομικά από τις τάσεις των τεταρτημορίων κόβοντας το πάτωμα της κοιλάδας. Η ανάλυση των πιεζομετρικών αρχείων υποδηλώνει ότι η υποβάθμιση πιθανότατα απορρέει από την εκτεταμένη υπερανάληψη του υδροφόρου ορίζοντα στην κοιλάδα, η οποία έχει προκαλέσει μείωση της τάξης των 65 μέτρων από το 1960.

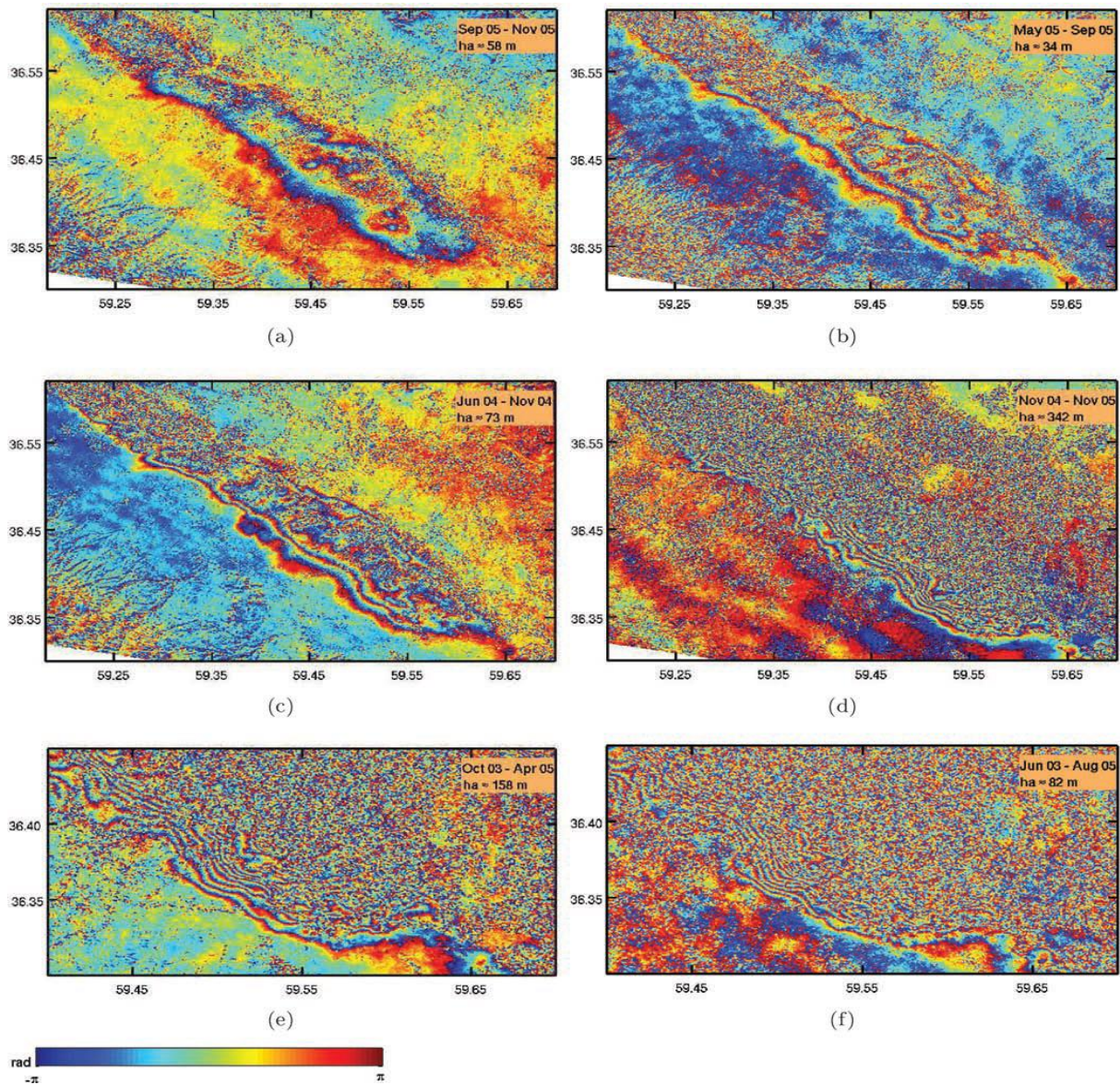


(α)



(β)

**Εικόνα 2.10** - (α) Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής Μασάντ με βάση τον δημοσιευμένο γεωλογικό χάρτη κλίμακας 1: 2.500.000 από την National Iran Oil Company (NIOC), και τον χάρτη των μεγάλων ενεργών βλαβών στο Ιράν από το Διεθνές Ινστιτούτο Μηχανικών Σεισμών και Σεισμολογίας (IIEES). Ο χάρτης επικαλύπτεται σε μια τοπογραφική σκιασμένη ανάγλυφη εικόνα που δημιουργήθηκε από τα δεδομένα 3-τόξων Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Το ένθετο δείχνει τη θέση της Εικόνας 2.10 (α) εντός του Ιράν. (β) Δύο παραδείγματα επιφανειακών ρωγμών στην κοιλάδα Mashhad που προκαλούνται πιθανώς από την υπερβολική απόσυρση των υπόγειων υδάτων και τη σχετική συμπίκνωση των υδροφορέων. Οι ρωγμές βρίσκονται βορειοδυτικά της πόλης Mashhad και στα ανατολικά του σταθμού GPS Tous που σημειώνονται με ένα τρίγωνο της Εικόνας 2.10 (α).



**Εικόνα 2.11** - Έξι διαφορετικά (τυλιγμένα) ιντερφερογράμματα για την περιοχή Μασάντι, που δείχνουν χωρική και χρονική κατανομή της εδαφικής υποχώρησης στην περιοχή. Το χρονικό διάστημα εμφανίζεται στην επάνω δεξιά γωνία κάθε πίνακα. *ha* είναι το υψόμετρο της ασάφειας σε μέτρα. Ένα περιθώριο αντιπροσωπεύει 28 mm αλλαγή εύρους. Το κυρίαρχο σήμα στα βραχυπρόθεσμα διαγράμματα (α) - (γ) είναι ένα ελλειπτικό σχήμα περιθωρίου που κατευθύνεται βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά κατά μήκος του άξονα της κοιλάδας. Η ορατότητα των περιθωρίων στα μακροπρόθεσμα ιντερφερογράμματα (δ) - (στ) διασπάται στο βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της κοιλάδας λόγω αποσυμπίεσης φάσης.

#### **2.2.1.1.8 Η ΕΥΣΤΑΣΙΑ\* ΚΑΙ Η ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΤΗΣ ΒΕΝΕΤΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΧΙΛΙΕΤΙΑΣ**

Η εδαφική υποχώρηση των ενετικών γαιών, τόσο φυσικών όσο και προκαλούμενων από την απόσυρση των υπόγειων υδάτων, και η ευστασία της βόρειας Αδριατικής Θάλασσας προκάλεσαν 23 εκατοστά σχετικής εδαφικής υποχώρησης που αναφέρεται ως η μέση στάθμη της θάλασσας τα τελευταία 100 χρόνια. Αυτή η σχετική απώλεια ανύψωσης ήταν ζωτικής σημασίας για την ύπαρξη της Βενετίας, στο βαθμό που η Βενετία ζει στο νερό. Μετά από μια σύντομη επισκόπηση της διαδικασίας κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η πραγματική τάση της σχετικής κίνησης εδάφους-θαλάσσης παρουσιάζεται με την ενσωμάτωση υψηλής ακρίβειας οριζοντίωση, μετρήσεις τηλεπισκόπησης και καταγραφές μετρητών παλίρροιας. Τα δεδομένα της Γεωδαιτικής και της Ιντερφερόμενης Συνθετικής Ακτίνας (InSAR) καταδεικνύουν την παρούσα σταθερότητα εδάφους του κεντρικού τμήματος της λιμνοθάλασσας, όπου βρίσκεται η πόλη της Βενετίας, και ελαφρώς ρυθμούς βύθισης στα βόρεια και νότια άκρα των άκρων της λιμνοθάλασσας (3-5 mm / έτος) και σε ορισμένα σημεία στα κεντρικά και βόρεια παράλια (1-3 mm / έτος). Ταυτοχρόνως, τα πιο πρόσφατα αρχεία μετρητών παλίρροιας δείχνουν ανανέωση στην ανερχόμενη τάση της στάθμης της θάλασσας. Μέσα στο μέσο κοσμικό ευστατικό ρυθμό 1.13 mm / έτος, η τιμή -0.89 mm / έτος, που παρατηρήθηκε κοντά στην Βενετία κατά την περίοδο 1971-1993, αυξήθηκε σε 1.53 mm / έτος όταν προστέθηκαν τα αρχεία μέχρι το 2002.

\*Ευστασία: αύξηση του επιπέδου της θάλασσας λόγω λειώσιμου των πάγων

#### **2.2.1.1.9 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ GIPPSLAND ΤΗΣ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ALOS PALSAR**

Σύμφωνα με την εργασία<sup>[13]</sup>, η παραμόρφωση της γης στη λεκάνη Gippsland της Βικτώριας της Αυστραλίας έχει χαρτογραφηθεί χρησιμοποιώντας την ανάλυση χρονικής σειράς συμβολομετρικού ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (InSAR) με τα δεδομένα SAR της ζώνης ALOS. Η υποχώρηση του εδάφους στη λεκάνη που προκύπτει από δραστηριότητες εξόρυξης έχει ήδη γίνει γνωστή τις τελευταίες δεκαετίες. Υπάρχει συνεχής ανησυχία για το γεγονός ότι η άρδευση και η εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου έχουν μειώσει σημαντικά τα επίπεδα των υπόγειων υδάτων στην ξηρά και ότι αυτό μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω εδαφική υποχώρηση. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να χαρτογραφηθεί η αλλαγή της επιφάνειας της γης στη λεκάνη προκειμένου να κατανοηθεί ο πραγματικός αντίκτυπος αυτών των δραστηριοτήτων. Η συνολική έκταση της λεκάνης Gippsland είναι περίπου 46.000 km<sup>2</sup>, όπου περίπου το ένα τρίτο της λεκάνης βρίσκεται στην ξηρά. Λόγω της μεγάλης έκτασης της λεκάνης απορροής, τα δεδομένα ALOS PALSAR από 4 διαφορετικές διαδρομές χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση της μετατόπισης της γης στη λεκάνη απορροής. Το αποτέλεσμα InSAR υποδηλώνει ότι η μετατόπιση του εδάφους στο 98% των σημείων μέτρησης στη λεκάνη ήταν μεταξύ - 10 mm / έτος και 10 mm / έτος. Το αποτέλεσμα InSAR έχει συγκριθεί με τα στοιχεία της έρευνας εδάφους σε διάφορες περιοχές, που συλλέγονται με GPS και συνολικές έρευνες σταθμών. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η μέτρηση InSAR και η μέτρηση της έρευνας συμφωνούν γενικά μεταξύ τους. Η τυπική απόκλιση της διαφοράς μεταξύ των αποτελεσμάτων InSAR και των δεδομένων εδάφους είναι περίπου 4 mm / έτος κοντά στην παράκτια περιοχή και 15 mm / έτος κοντά στις εγκαταστάσεις εξόρυξης. Αρκετές ραγδαία παραμορφούμενες περιοχές έχουν εντοπιστεί στα ορυχεία και στις γύρω περιοχές. Ο ρυθμός παραμόρφωσης σε - 82.9 mm / έτος παρατηρείται σε αυτές τις περιοχές. Η παραμόρφωση στα ορυχεία και στις γύρω περιοχές

αναμένεται να προκύψει από δραστηριότητες εξόρυξης και συνακόλουθη απομάκρυνση των ορυχείων. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν και ερευνήθηκαν αρκετές μικρές ζώνες εκτόπισης στην περιοχή μεταξύ των ορυχείων Loy Yang και της ακτής Gippsland, καθώς και η περιοχή μεταξύ του Yanakie και του Wilsons Promontory.

#### **2.2.1.1.10 ΕΞΟΡΥΞΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ, ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΟ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΜΕΚΟΝΓΚ ΤΟΥ ΒΙΕΤΝΑΜ**

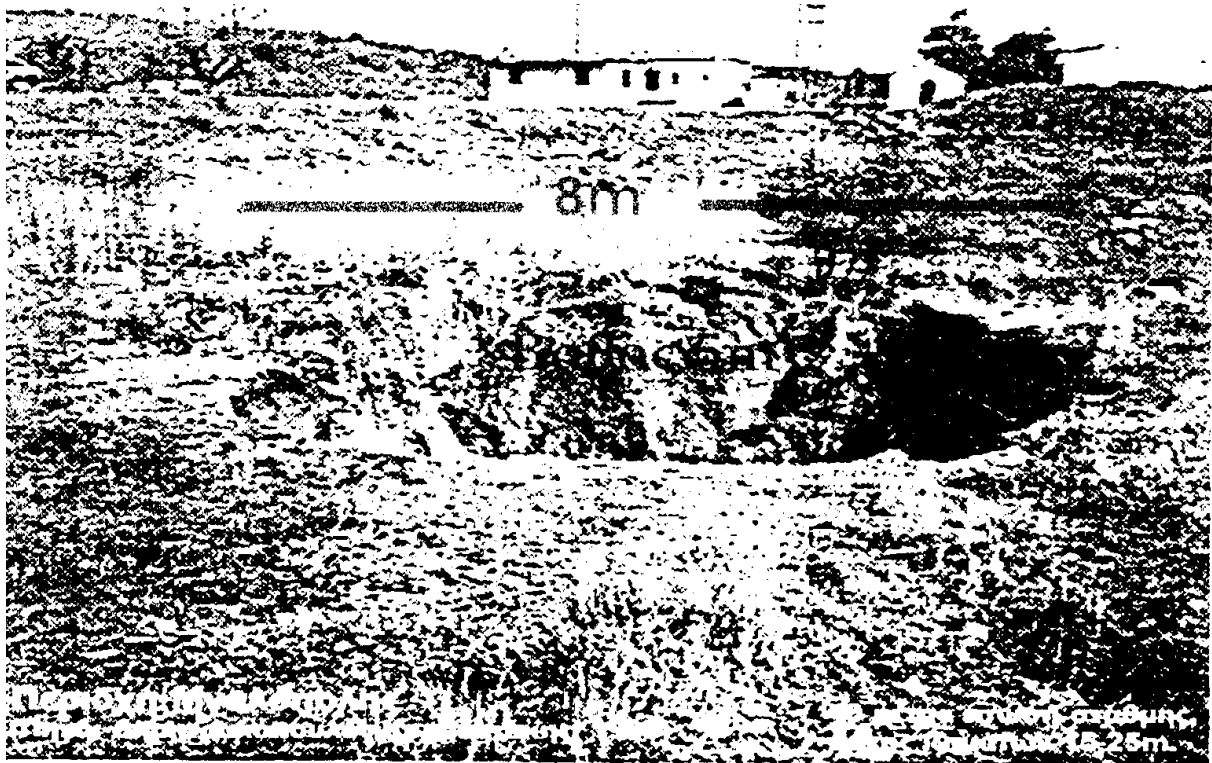
Η εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων αποτελεί μείζονα αιτία εδαφικής υποχώρησης, η οποία στις παράκτιες περιοχές αποτελεί κίνδυνο πλημμυρών που εντείνεται από την απειλή της αύξησης της στάθμης της θάλασσας (SLR). Στο χαμηλότερο Δέλτα Mekong, τα περισσότερα από τα οποία βρίσκονται σε λιγότερο από 2 m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, η υπερεκμετάλλευση προκαλεί εκτεταμένη υδραυλική φόρτιση, δηλαδή η στάθμη υπογείων υδάτων μειώνεται. Ο μέσος ρυθμός απόκλισης του φορτίου είναι  $\sim 0.3 \text{ m yr}^{-1}$ , με βάση τα δεδομένα χρονοσειρών από 79 φρέατα παρακολούθησης σε 18 τοποθεσίες. Η επακόλουθη συμπύκνωση των ιζηματογενών στρωμάτων σε αυτές τις θέσεις υπολογίζεται ότι προκαλεί εδαφική υποχώρηση με μέσο ρυθμό  $1.6 \text{ cm yr}^{-1}$ . Μετράμε περαιτέρω τα πρόσφατα ποσοστά υποβάθμισης (ετήσιος μέσος όρος, 2006-10) σε ολόκληρο το Δέλτα, με ανάλυση συμβολομετρικού ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (InSAR), χρησιμοποιώντας 78 ιντερφερογράμματα ALOS PALSAR. Οι ρυθμοί εδαφικής υποχώρησης με βάση το InSAR είναι 1) σύμφωνοι με τους ρυθμούς με βάση τη συμπύκνωση που υπολογίζονται στα φρέατα παρακολούθησης και 2)  $\sim 1-4 \text{ cm yr}^{-1}$  σε μεγάλες περιοχές (χιλιάδες  $\text{km}^2$ ). Οι παρούσες, είναι οι πρώτες αντιστοιχισμένες εκτιμήσεις της εδαφικής υποχώρησης του εδάφους σε όλη τη Δέλτα λόγω της άντλησης των υπόγειων υδάτων. Αν η άντληση συνεχίζεται με τους σημερινούς ρυθμούς, αναμένεται να φθάσουν τα  $\sim 0.88 \text{ m}$  ( $0.35-1.4 \text{ m}$ ) υποχώρηση εδάφους μέχρι το 2050. Η προβλεπόμενη SLR  $\sim 0.10 \text{ m}$  ( $0.07-0.14 \text{ m}$ ) έως το 2050 θα συνθέσει δυναμικό πλημμύρας. Τα αποτελέσματά μας υποδηλώνουν ότι μέχρι τα μέσα του αιώνα τμήματα του Δέλτα του Μεκόνγκ πιθανότατα θα παρουσιάσουν  $\sim 1 \text{ m}$  ( $0.42-1.54 \text{ m}$ ) πρόσθετου κινδύνου πλημμύρας.

#### **2.2.1.2 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΥΠΕΡΑΝΤΛΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ**

##### **2.2.1.2.1 ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΩΝ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ**

Το λιγνιτικό κοίτασμα Κυπαρισσιών στη Μεγαλόπολη περιβάλλεται από ισχυρά αποκαρστωμένους ασβεστολίθους της ζώνης Ωλονού – Πίνδου (Δημητρακόπουλος, κ.α. 1995). Οι υπεραντλήσεις για την προστασία του λιγνιτωρυχείου την περίοδο 1963-1995, οδήγησε σε πτώσεις της στάθμης κατά 40m (σε συνδυασμό και με την ξηρασία της περιόδου 1990-1992). Η πτώση αυτή και η συνεπακόλουθη αύξηση του φορτίου των υπερκειμένων των καρστικών ασβεστολίθων ιζημάτων πάχους 15-25m, ενεργοποίησε την εκδήλωση κυκλικών βυθισμάτων (sink holes) με διάμετρο 1-15m και βάθος 1-10m (Εικόνα 2.12).

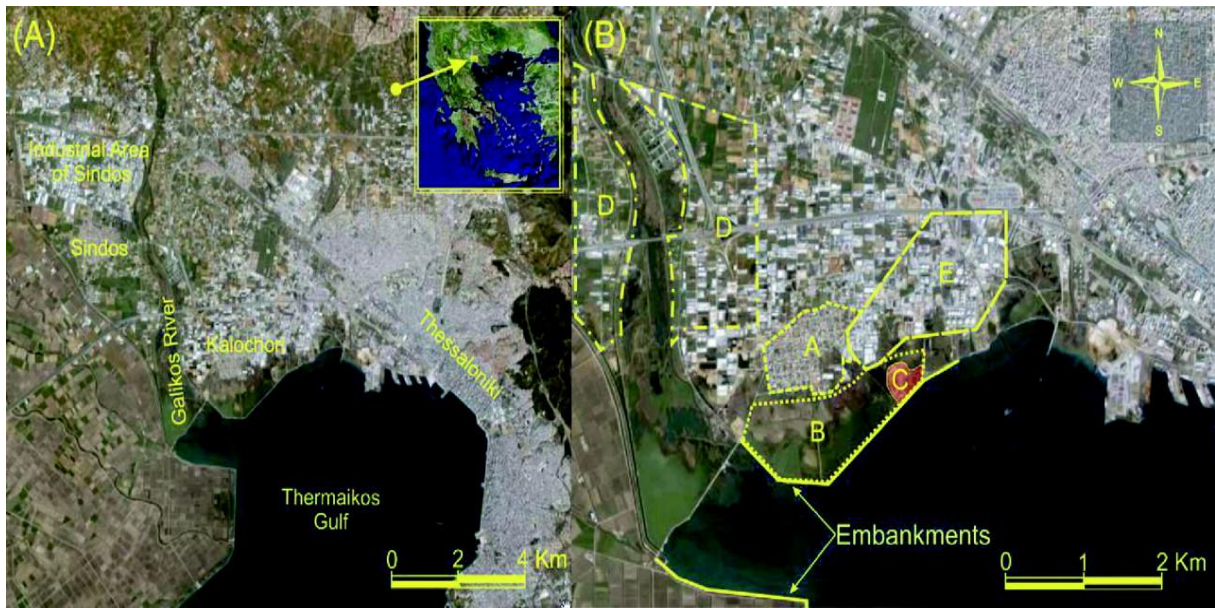




*Εικόνα 2.12 - Χαρακτηριστικό βύθισμα στην περιοχή του λιγνιτικού κοιτάσματος στην περιοχή Κυπαρίσσια της Μεγαλόπολης.*

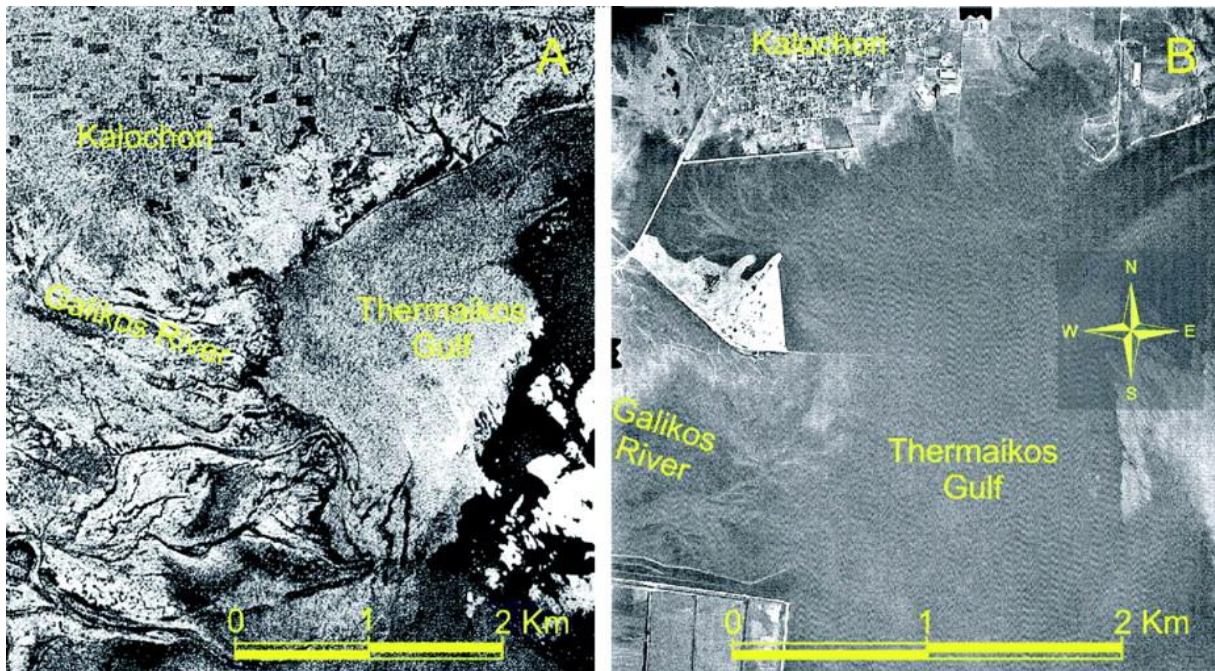
#### **2.2.1.2.2 ΚΑΛΟΧΩΡΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

Το πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα εδαφικών υποχωρήσεων από υπεράντληση υδροφόρου ορίζοντα αναφέρεται στο Καλοχώρι Θεσσαλονίκης. Στην περίπτωση αυτή, η υπεράντληση στο πεδίο των δελταϊκών αποθέσεων Γαλλικού και Αξιού από τη δεκαετία του 1950, οδήγησε στην εκδήλωση εκτεταμένων εδαφικών υποχωρήσεων στο χώρο του τριγώνου Παλαιά κοίτη Αξιού - Σίνδου - Εγκαταστάσεις ΕΚΟ, δηλαδή στη Βιομηχανική ζώνη, στα Δυτικά της Θεσσαλονίκης.



**Εικόνα 2.13** - Περιοχή Καλοχωρίου, Ν. Θεσσαλονίκης.

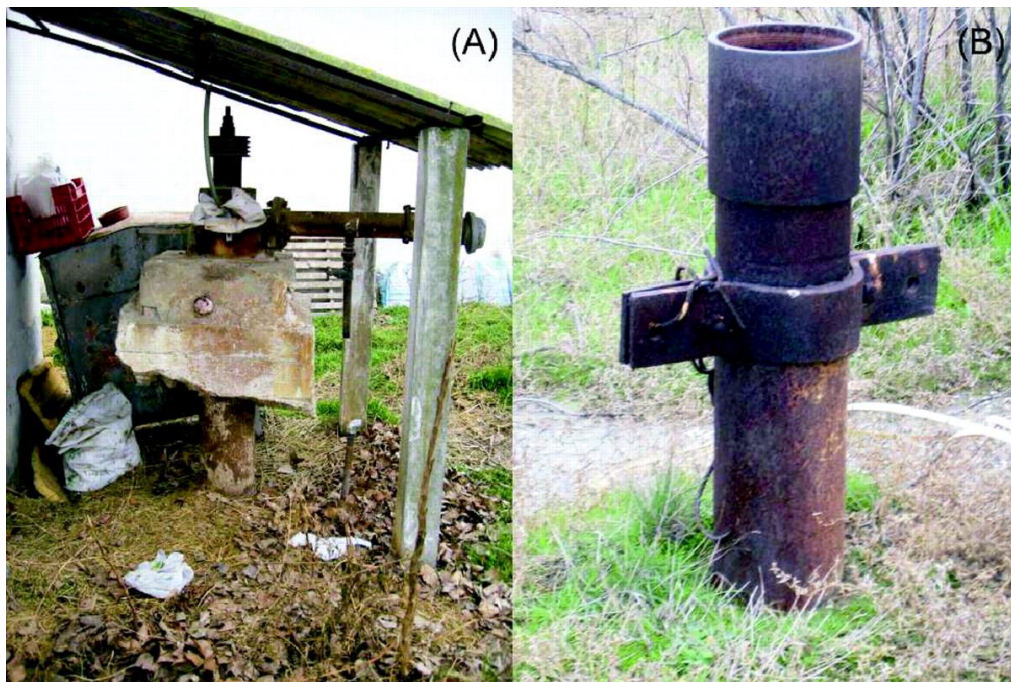
Η περιοχή εντάσσεται στη γεωτεκτονική ζώνη του Αξιού και συγκεκριμένα στην ενότητα της Παιονίας. Πρόκειται για ένα τεκτονικό βύθισμα που έχει πληρωθεί από θαλάσσια και λιμναία ιζήματα πάχους 600-700m. Στους ανώτερους ορίζοντες αυτών των ιζημάτων διακρίνονται οι ακόλουθες ενότητες: (α) Χαλαρές αποθέσεις με επικράτηση αμμωδών σχηματισμών, (β) Χαλαρές αποθέσεις με επικράτηση αργιλοίλυωδών σχηματισμών, (γ) Χαλαρές λεπτομερείς αποθέσεις με οργανικά.



**Εικόνα 2.14** - Περιοχή Καλοχωρίου αριστερά το έτος 1945 και δεξιά το έτος 1973 , Ν. Θεσσαλονίκης.

Ο πλέον ευαίσθητος ορίζοντας που υπέστη την αύξηση της φόρτισης και συνεπώς συνέβαλε στην εκδήλωση των εδαφικών υποχωρήσεων είναι ο δεύτερος, που αποτελείται από ιλύωδεις

αργίλους με φακοειδείς παρεμβολές άμμων και αφθονία φυλλαρίων μαρμαρυγία. Πρόκειται για απροφόριστο ορίζοντα με άτακτη διάταξη των ορυκτολογικών συστατικών, που εντοπίζεται σε βάθος από 5 έως 50m περίπου.



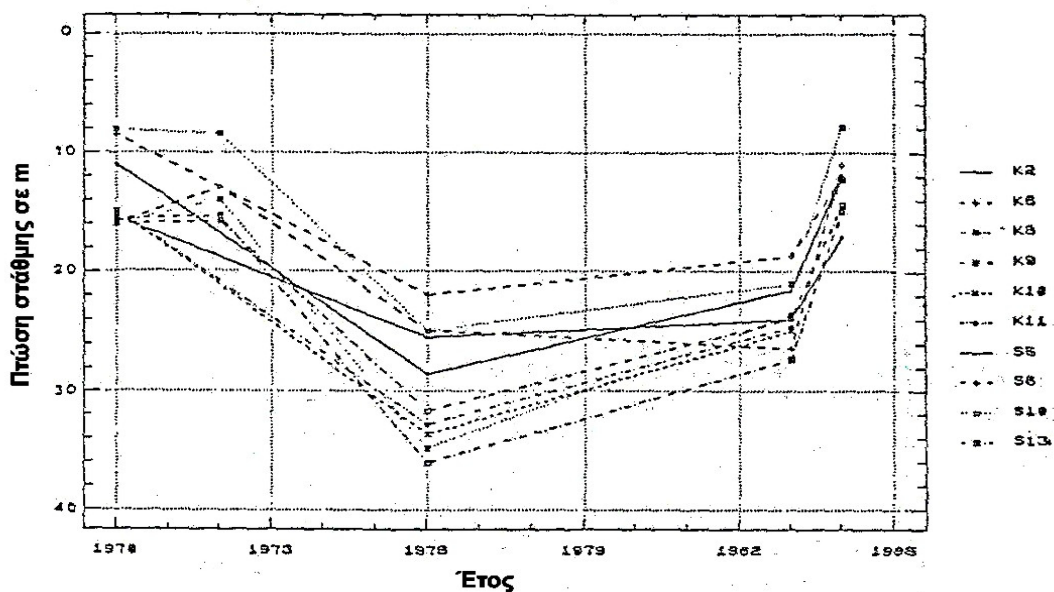
**Εικόνα 2.15** - Καταστροφή υδρογεωτρήσεων στη Περιοχή Καλοχωρίου, Ν. Θεσσαλονίκης.

Οι υποχωρήσεις στην περιοχή Καλοχωρίου - Σίνδου προκάλεσαν τη βύθιση της περιοχής σε πολλά σημεία και πάνω από 2m, με σοβαρότερο αποτέλεσμα την σταδιακή προώθηση της θάλασσας στον οικιστικό χώρο του Καλοχωρίου, με αποτέλεσμα να κινδυνεύσουν ανθρώπινες ζωές.



**Εικόνα 2.16** - Προέλαση της Θάλασσας στην ενδοχώρα (κατά μήκος παράκτιων περιοχών).

Οι υπεραντλήσεις (δεκάδες χιλιάδες κυβικά μέτρα την ημέρα) είχαν οδηγήσει σε υποβάθμιση του υδροφόρου τουλάχιστον 40m για την περίοδο 1955-1981 (Σχήμα 2.17), με αποτέλεσμα ο υπόψη ευαίσθητος ορίζοντας να υποστεί συμπύκνωση με επαναπροσανατολισμό των εδαφικών του κόκκων.



**Εικόνα 2.17** - Υποβιβασμός του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή Καλοχωρίου.

Το πιο εντυπωσιακό δείγμα πάντως των εδαφικών υποχωρήσεων που καταδεικνύει και το μέγεθός τους, αποτελούν μερικοί οικίσκοι αντλιοστασίων του Ο.Υ.Θ. Σε αυτούς το τσιμεντένιο δάπεδο, καθώς περιέβαλε το σωλήνα άντλησης, δεν ακολούθησε την υποχώρηση του εδάφους, αλλά το σωλήνα άντλησης, με αποτέλεσμα να ανυψωθεί στο κέντρο του αντλιοστασίου. Σε κάποιους από αυτούς ο σωλήνας και το δάπεδο έχουν φθάσει σχεδόν στην οροφή των οικίσκων, καταδεικνύοντας το μέγεθος της υποχώρησης.

Σχετική εικόνα παρουσιάζει τσιμεντένια στέρνα ποτίσματος ζώων στην παραλία Καλοχωρίου, η οποία από τη μια μεριά στηρίζονταν σε σιδερένιο πάσσαλο μπηγμένο βαθιά στο έδαφος (Εικόνα 2.18). Με το μηχανισμό δράσης εφελκυστικών δυνάμεων σε δοκό πακτωμένο στα άκρα, αστόχησε και το πακτωμένο στο σωλήνα τμήμα ακολούθησε την ανύψωσή του, λόγω των εδαφικών υποχωρήσεων.



***ΕΙΚΟΝΑ 2.18** - Η ανύψωση τμήματος ποτίστρας και η αποκοπή του από το υπόλοιπο τμήμα λόγω των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Καλοχωρίου Θεσσαλονίκης.*

### **2.2.1.2.3 ΠΕΡΑΙΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

Στο Δήμο Θερμαϊκού και συγκεκριμένα εντός του οικιστικού συγκροτήματος της Άνω Περαιάς, έχουν εκδηλωθεί πολυάριθμες εδαφικές διαρρήξεις που εντάσσονται σε μια ζώνη γενικής διεύθυνσης Ανατολικής-Δύσης. Τα φαινόμενα πρωτοεμφανίστηκαν τον Οκτώβριο του 2005. Παρά τη βραδεία εξέλιξη και το μικρό άλμα των διαρρήξεων, το οποίο κυμαίνεται από λίγα χιλιοστά έως 5cm, οι ζημιές που καταγράφονται στις κατασκευές είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Οι διαρρήξεις αποδίδονται στην εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων λόγω της υπεράντλησης των υδροφόρων στη παράκτια ζώνης της Περαιάς. Εκτός από τη συγκεκριμένη περιοχή υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων καταγράφεται στο σύνολο της λεκάνης του Ανθεμούντα. Στα στενά όρια της Άνω Περαιάς, πέραν του διαπιστωμένου υποβιβασμού της πιεζομετρικής επιφάνειας, οι διαρρήξεις ταυτίζονται με την προβολή τεκτονικού ρήγματος στην επιφάνεια του εδάφους. Η παρουσία του ρήγματος και επομένως η διαφοροποίηση του πάχους των Αλλουβιακών αποθέσεων εκατέρωθεν αυτού, είναι υπαίτια για την εκδήλωση των διαφορετικών εδαφικών υποχωρήσεων που προκάλεσαν τις εδαφικές διαρρήξεις.



**Εικόνα 2.19** - Ίχνη διαρρήξεων των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Περαίας, Ν. Θεσσαλονίκης.

#### 2.2.1.2.4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΥΤΙΚΑ ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ, Ν. ΦΛΩΡΙΝΑΣ

Στην περιοχή που εκτείνεται Δυτικά του Λιγνιτωρυχείου Αμυνταίου από το 2005, άρχισαν να καταγράφονται ταχέως εξελισσόμενες κατακόρυφες διαφορικές παραμορφώσεις, οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα την εκδήλωση εδαφικών διαρρήξεων.

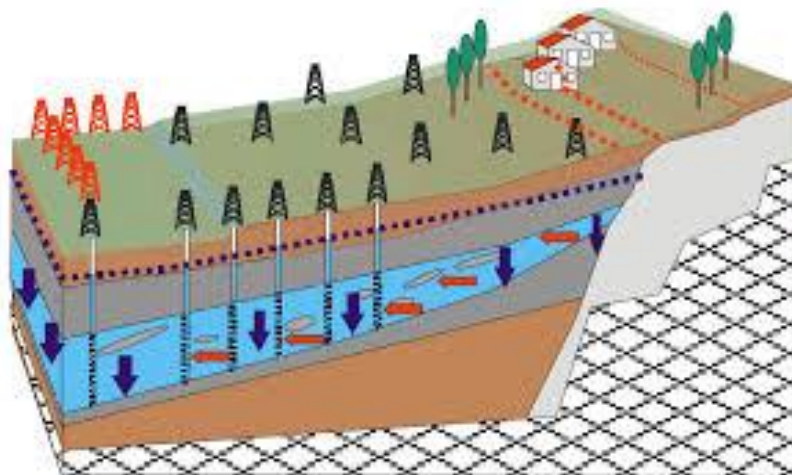


**Εικόνα 2.20** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων (αστοχία κτιρίου) στην περιοχή Βαλτόνερα.



**Εικόνα 2.21** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων (σε δρόμο) στην περιοχή Βαλτόνερα.

Οι παραμορφώσεις αυτές αρχικά έπληξαν τον οικισμό των Αναργύρων. Παρόμοια φαινόμενα, σχεδόν ταυτόχρονα καταγράφηκαν στα Βαλτόνερα και το Φανό.



**Εικόνα 2.22** - Στην περιοχή του Φανού, εμφάνιση εφελκυστικών ρωγμών στα περιθώρια λεκάνης λόγω της εδαφικής υποχώρησης που προκαλείται από την υπεράντληση.

Οι εδαφικές υποχωρήσεις περιορίζονται εντός των ορίων του κώνου πτώσης στάθμης που διαμορφώνονται στην περίμετρο του ορυχείου με ακτίνα έως περίπου 4km. Ο κώνος πτώσης στάθμης προκαλείται από το σύνολο των εκροών από το τον υδροφόρο ορίζοντα, οι οποίες είναι: α) αυτές που λαμβάνουν χώρα λόγω της λειτουργίας των γεωτρήσεων προστασίας των πρανών του ορυχείου, β) αυτές που λαμβάνουν χώρα μέσω της φυσικής στράγγισης των υδροφόρων στρωμάτων στα πρανή του ορυχείου και γ) οι εκροές που προκαλούνται από την άντληση υδάτων για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών.



**Εικόνα 2.23** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Βαλτόνερα.



**Εικόνα 2.24** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων (αστοχία κτιρίου) στην περιοχή Βαλτόνερα.

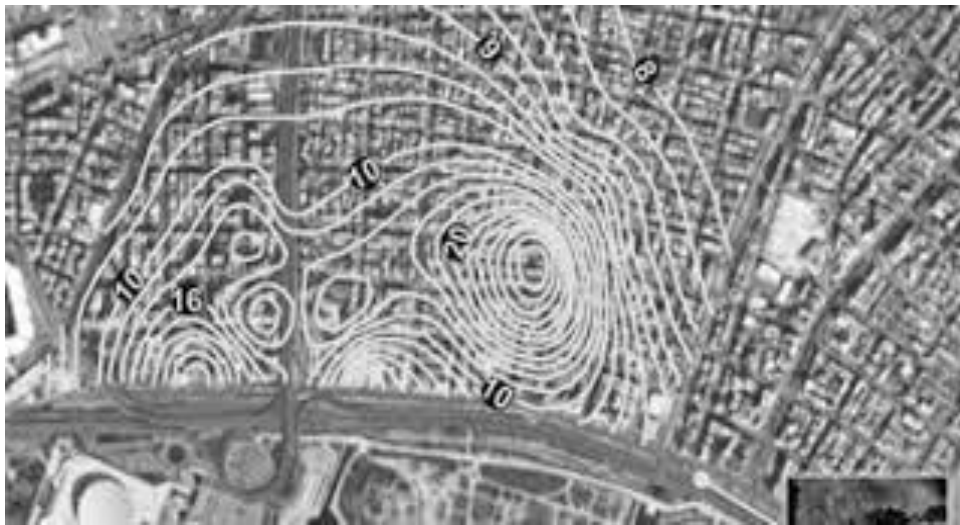
Το άλμα των εδαφικών διαρρήξεων είναι ανάλογο με το μέγεθος της πτώσης στάθμης. Σε θέσεις κοντά στο ορυχείο, όπου η πτώση στάθμης είναι της τάξης των 40-50m παρατηρούνται άλματα που φτάνουν έως και το 1m ενώ σε απόσταση περίπου 3km από το ορυχείο, η πτώση στάθμης μηδενίζεται και οι διαρρήξεις σταδιακά σβήνουν.

#### **2.2.1.2.5 ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ Ν. ΦΑΛΗΡΟΥ – ΜΟΣΧΑΤΟΥ – ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ, Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ**

Στην παράκτια ζώνη των Δήμων Ν. Φαλήρου, Μοσχάτου και Καλλιθέας, από τα μέσα της δεκαετίας του 1960 έχουν καταγράψει σημαντικές εδαφικές υποχωρήσεις. Η περιοχή με τις έντονες κατακόρυφες μετακινήσεις εντοπίζεται μεταξύ των εκβολών του Κηφισού και του Ιλισού. Δηλαδή σε μία περιοχή που δομείται από χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις των ποταμών. Σύμφωνα με μετρήσεις μεταβολής των απόλυτων υψομέτρων παλαιών υψομετρικών αφετηριών, που πραγματοποιήθηκαν μέχρι και το 1989, οι εδαφικές υποχωρήσεις έφτασαν κατά τόπους έως και τα 118mm. Από το 1989 έως και το 2008 οι εδαφικές υποχωρήσεις συνεχίστηκαν, παρουσιάζοντας όμως έντονες διαφοροποιήσεις στη χρονική κατανομή τους. Στο συνολικό χρονικό διάστημα 1989-2008 ανιχνεύονται σημαντικές καθιζήσεις η τιμή των οποίων φθάνει τα 41mm. Τα φαινόμενα αυτά είχαν από αρχής συνδεθεί με τον υποβιβασμό της πιεζομετρικής επιφάνειας των υπόγειων υδροφόρων. Οι αγροτικές αλλά και βιομηχανικές δραστηριότητες που λάμβαναν χώρα στη συγκεκριμένη περιοχή θεωρήθηκε ότι προκαλούσαν την υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων και κατά συνέπεια την ενεργοποίηση των φαινομένων. Η εντατικοποίηση των εδαφικών υποχωρήσεων που παρατηρήθηκε μετά το 2001, δηλαδή μετά την έναρξη των έργων πλήρους εγκιβωτισμού της κοίτης του Κηφισού, ενισχύει την αρχική διαπίστωση. Όπως εκτιμάται, η πλήρης διακοπή της τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφόρων από τον Κηφισό, σε συνδυασμό με τις όποιες αντλήσεις λαμβάνουν χώρα εντός των ορίων της πληγείσας περιοχής (π.χ. για την



αποστράγγιση και προστασία υπόγειων κατασκευών), επέστρεψε τον εκ νέου υποβιβασμό της πιεζομετρικής επιφάνειας και την επαναδραστηριοποίηση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων.



*Εικόνα 2.25 - Δορυφορική εικόνα (Google Earth mapping service) στην οποία παρουσιάζονται οι καμπύλες ίσης εδαφικής υποχώρησης, σε cm, μεταξύ των εκβολών του Κηφισού και του Ιλισού για το χρονικό διάστημα 1989-2008 σύμφωνα με τους Γεωργόπουλος & Τελειώνη, 1999.*

#### **2.2.1.2.6 ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΘΕΣΣΑΛΙΚΟΣ ΚΑΜΠΙΟΣ**

Στο Ανατολικό Θεσσαλικό κάμπο και κυρίως στο τμήμα του νότια της Λάρισας, κατά την περίοδο της ξηρασίας του 1990-1993, εκδηλώθηκαν εδαφικές υποχωρήσεις λόγω της υπεράντλησης των υδροφόρων. Οι υποχωρήσεις έγιναν ορατές με τη μορφή εδαφικών διαρρήξεων τόσο στα περιθώρια όσο και στο κέντρο της λεκάνης, δηλαδή στις περιοχές έντονης διαφοροποίησης του πάχους των Αλλουβιακών αποθέσεων. Στις πληγείσες περιοχές περιλαμβάνονται τα χωριά Χάλκη, Γλαύκη, Μόδεστος, Σωτήριο, Μελιά, Μέλισσα, Κιλελέρ, Νίκη, Αχίλλειον, Καλαμάκι, Καστρί, Στεφανοβίκειο και Ριζόμυλος. Η επιβεβαιωμένη ενεργός τεκτονική και τα αλληπάλληλα ισχυρά σεισμικά επεισόδια που έπληξαν την περιοχή μεταξύ του 1930 και του 1980 προκάλεσαν σύγχυση. Πολλοί γεωεπιστήμονες διατύπωσαν την άποψη ότι οι εδαφικές διαρρήξεις οφείλονταν αποκλειστικά σε τεκτονικά αίτια και στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν με μεγάλο κατακόρυφο άλμα κατέληξαν στην ερμηνεία της σεισμικής ολίσθησης των ρηγμάτων. Όμως και σύμφωνα με τα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών ο υποβιβασμός της πιεζομετρικής επιφάνειας που έφτασε μέχρι και τα 50m σε διάστημα 20 ετών (1981-2001) είναι η κύρια αιτία εκδήλωσης των έντονων διαφορικών παραμορφώσεων.



***Εικόνα 2.26** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στο χωριό Χάλκη.*



***Εικόνα 2.27** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Καλαμάκι.*

#### **2.2.1.2.7 ΔΥΤΙΚΟΣ ΘΕΣΣΑΛΙΚΟΣ ΚΑΜΠΟΣ**

Τα φαινόμενα αυτά άρχισαν να εμφανίζονται το 2001, πλήττοντας αρχικά τους οικισμούς των Φαρσάλων και του Σταυρού, στα ανατολικά της λεκάνης.



***Εικόνα 2.28** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή του Σταυρού.*

Το 2009 οι εδαφικές διαρρήξεις έκαναν την εμφάνιση τους στον οικισμό του Αγίου Γεωργίου, που εντοπίζεται στην πεδινή έκταση μεταξύ των Φαρσάλων και του Σταυρού, ενώ το 2011 έπληξαν τα παρακείμενα χωριά Ανωχώρι και Κατοχώρι.



*Εικόνα 2.29 - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στο οικισμό του Αγίου Γεωργίου.*



*Εικόνα 2.30 - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Ανωχώρι.*

Στην ευρύτερη περιοχή των Φαρσάλων η έντονη υποβίβαση της πιεζομετρίας άρχισε να γίνεται αντιληπτή από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 μέσω της σταδιακής στράγγισης των πηγών του Απιδανού, που ανέβλυζαν εντός του οικιστικού συγκροτήματος. Η ύπαρξη, εντός των υπερκείμενων Αλλουβιακών αποθέσεων, σημαντικού πάχους μελανότεφρων αργιλικών στρώσεων με υψηλό δείκτη συμπίεστικότητας σε συνδυασμό με τον υποβιβασμό της πιεζομετρικής επιφάνειας για περισσότερο από 30m, μεταξύ του 1980 και του 2010, αποτέλεσαν την κύρια αιτία εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων.



**Εικόνα 2.31** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή των Φαρσάλων.

Με αντίστοιχο μηχανισμό γένεσης εκτιμάται ότι έχουν προκληθεί και οι πρώτες εδαφικές διαρρήξεις που εντοπίζονται στην περιοχή της Φαρκαδόνας στα Βόρεια του Δ. Θεσσαλικού κάμπου. Οι συγκεκριμένες διαρρήξεις εντοπίζονται σε περιοχή όπου η πιεζομετρική επιφάνεια δεν έχει υποστεί ιδιαίτερα μεγάλη υποβίβαση καθώς μεταξύ του 1975 και του 2010 έχει καταγραφεί ταπείνωση της τάξης των 10 με 15m. Ως εκ τούτου βρίσκονται υπό παρακολούθηση προκειμένου να τεκμηριωθεί ο μηχανισμός γένεσης τους καθώς και να επιβεβαιωθεί η σχέση τους με φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων. Στο δυτικό θεσσαλικό κάμπο τα φαινόμενα βρίσκονται στα πρώτα στάδια εξέλιξης τους και είναι μια περιοχή στην οποία με τη λήψη άμεσων μέτρων μπορούν να ανασταλούν.



*Εικόνα 2.32 - Εμφανή ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή των Φαρσάλων.*



*Εικόνα 2.33 - Εμφανή ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή των Φαρσάλων, σε δρόμο.*

## **2.2.2 ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΛΑΦΩΝ**

Εκδηλώνεται όταν οργανικά εδάφη (πλούσια σε οργανικό άνθρακα) αποστραγγίζονται. Η οξυγόνωση των εδαφών επιτρέπει την μικροβιακή αποσύνθεση των οργανικών, τα οποία μετατρέπονται σε αέριο διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Άλλοι μηχανισμοί που είναι δυνατόν να ενεργοποιηθούν μετά την αποστράγγιση προκαλώντας υποχωρήσεις με την αποστράγγιση των εδαφών είναι:

- η ξήρανση και η συρρίκνωσή τους,
- η διάβρωσή τους από το νερό και τον αέρα, καθώς και
- η καύση τους επί σκοπό ή από ατύχημα.

### **2.2.2.1 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΛΑΦΩΝ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ**

#### **2.2.2.1.1 ΟΛΛΑΝΔΙΑ**

Οι βάλτοι στα δυτικά της Ολλανδίας άρχισαν να αποξηραίνονται για γεωργική εκμετάλλευση μεταξύ του 9<sup>ου</sup> και του 14<sup>ου</sup> αιώνα. Μέχρι τον 16<sup>ο</sup> αιώνα οι εδαφικές υποχωρήσεις κατέστησαν απαραίτητη την εγκατάσταση των ανεμόμυλων για την αποστράγγιση των περιοχών. Οι ρυθμοί των υποχωρήσεων έχουν αυξηθεί τον 20<sup>ο</sup> αιώνα λόγω της τεχνολογικής βελτίωσης των τεχνικών αποστράγγισης.

#### **2.2.2.1.2 ΤΑ ΔΕΛΤΑ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ SACRAMENTO-SAN JOAQUIN, CALIFORNIA**

Εσωτερικό δέλτα στο οποίο εντοπίζονται πολλά νησιά με εύφορες καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Τα οργανικά εδάφη των νησιών προστατεύονται από αναχώματα και αποστραγγίζονται για να καταστούν καλλιεργήσιμα. Τα φαινόμενα των εδαφικών υποχωρήσεων οδηγούν στη σταδιακή καταστροφή τους.

#### **2.2.2.1.3 ΤΡΙΑ ΕΤΗ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑ SAR, ΚΟΝΤΑ ΣΤΗΝ GARDANNE, ΓΑΛΛΙΑ**

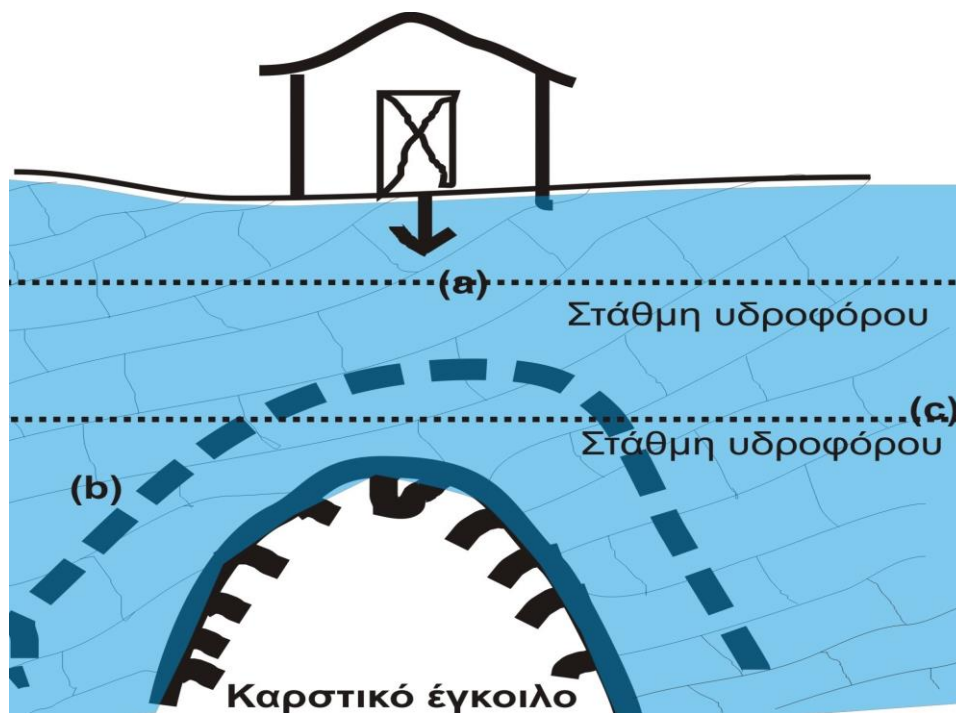
Εικόνες διαφορικού συμβολομεγελμού που προέρχονται από τα συστήματα διαστημικού ανοίγματος (SAR) επαναλαμβανόμενης διέγερσης δίνουν τη δυνατότητα χαρτογράφησης επιφανειακών παραμορφώσεων μικρής χωρικής έκτασης και παρακολούθησης της χρονο-χρονικής εξέλιξής τους. Ένα αργό και τοπικό φαινόμενο της υποχώρησης εδάφους που προκλήθηκε από την υπόγεια εξόρυξη άνθρακα παρατηρήθηκε κοντά στο Gardanne της Γαλλίας από τις εικόνες που απέκτησαν αμφότεροι οι δορυφόροι ERS-1 / ERS-2 μεταξύ 1992 και 1995. Η συμβολομετρική παρακολούθηση αποκάλυψε τη μετακίνηση της εξόρυξης της κυκλικής επιφάνειας υποχώρησης με την πρόοδο της εκσκαφής. Η σύγκριση με τα στοιχεία ισοδυναμίας πεδίου έδειξε ότι το μέγεθος της ενεργούς υποχώρησης εδάφους είναι παρόμοια. Η ανάλυση και ερμηνεία των παρατηρούμενων κινήσεων λαμβάνει υπόψη τα δομικά χαρακτηριστικά της ιζηματογενούς λεκάνης, τη μικρό-σεισμική δραστηριότητα της περιοχής και τη γεωμετρία των υπόγειων έργων. Μια τέτοια εφαρμογή της παρεμβολής SAR, υπό φυσιολογικές συνθήκες παρατήρησης και σε διαφορετικές περιόδους, ανοίγει ευρείες προοπτικές εφαρμογής όχι μόνο για ερευνητικούς σκοπούς αλλά και για βιομηχανική χρήση.

### **2.2.3 ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΔΙΑΒΡΩΣΙΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ**

Οι πλέον ενδεικτικές περιπτώσεις εδαφικών υποχωρήσεων αυτού του είδους συμβαίνουν στα ανθρακικά πετρώματα, που χαρακτηρίζονται από την παρουσία διαβρωσιγενών (καρστικών) κοιλοτήτων ποικίλων διαστάσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του μηχανισμού δίνεται στο Εικόνα 2.34.

Αρχικά η βιομάζα έχει τα χαρακτηριστικά εκείνα που απαιτούνται για να συντηρεί το μηχανισμό γεφύρωσης στην οροφή του καρστικού σπηλαίου. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που αυτό μπορεί να πάψει να ισχύει, όπως με:

- την επιβολή φορτίων στην επιφάνεια,
- τη συνεχή προς τα επάνω εξέλιξη του καρστικού σπηλαίου (συνεχής διάλυση του ασβεστιτικού υλικού – φυσική κατάρρευση), (βλέπε Εικόνα 2.35),
- την αύξηση των τάσεων με τον υποβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου και συνεπώς την επιτάχυνση της φυσικής κατάρρευσης.



**Εικόνα 2.34** - Σχηματικό παράδειγμα κατάρρευσης καρστικού εγκοίλου που απεικονίζει και τις τρεις διακριτές περιπτώσεις αστοχίας.



*Εικόνα 2.35 - Φυσική κατάρρευση οροφής σπηλαιίου σε ανθρακικά πετρώματα στην περιοχή Αργολίδας.*

### **2.2.3.1 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΙΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ**

#### **2.2.3.1.1 ΚΑΤΑΒΟΘΡΕΣ ΣΤΗ ΠΟΛΗ GUATEMALA, ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΜΕΡΙΚΗ**

Η πόλη είναι θεμελιωμένη σε ηφαιστειακή τέφρα και χαλαρά πυροκλαστικά υλικά. Τα έγκοιλα διαμορφώνονται από τις διαρροές του δικτύου αποχέτευσης αλλά και από την κατείσδυση των κατακλυσμιαίων τροπικών καταιγίδων. Η καταβόθρα του 2010 είχε διάμετρο 20m και βάθος 30m. Προκάλεσε το θάνατο 15 πολιτών και κατάπιε μια τριώροφη κατασκευή. Η καταβόθρα του 2007 είχε βάθος 100m και προκάλεσε το θάνατο 5 πολιτών.







*Εικόνα 2.36 - Καταβόθρες στη πόλη Guatemala, κεντρική Αμερική το έτος 2010 (επάνω) και το έτος 2007 (κάτω).*

### **2.2.3.1.2 WINTER PARK SINKHOLE, FLORIDA**

Η Winter Park Sinkhole σχηματίστηκε τον Μάιο του 1981. Πρόκειται για κατάρρευση καρστικοποιημένου ασβεστόλιθου καλυμμένου από αργιλικά ιζήματα. Η διάμετρος της καταβόθρας είναι περίπου 100m και προκάλεσε υλικές ζημιές μεγαλύτερες από 2 εκατομμύρια δολάρια. Για την αποκατάστασή της μετατράπηκε σε λίμνη. Στην ευρύτερη περιοχή αναφέρθηκαν 300 αντίστοιχα περιστατικά το 1981.



*Εικόνα 2.37 - Κατάρρευση καρστικοποιημένου ασβεστόλιθου καλυμμένου από αργιλικά ιζήματα.*

*Εικόνα 2.38 - Ζημιές που προκάλεσε η καταβόθρα.*



*Εικόνα 2.39 - Ζημιές που προκάλεσε η καταβόθρα.*



*Εικόνα 2.40 - Για την αποκατάσταση της καταβόθρας μετατράπηκε σε λίμνη.*

### **2.2.3.1.3 JOHANNESBURG ΝΟΤΙΑΣ ΑΦΡΙΚΗΣ**

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τρίτης περίπτωσης αποτελούν τα μεταλλεία χρυσού στο Johannesburg της Νότιας Αφρικής. Στην περίπτωση αυτή, ο χρυσός εξορύσσεται από κροκαλοπαγή τα οποία αναπτύσσονται κάτω από ασβεστολίθους και δολομίτες που χαρακτηρίζονται από αυξημένο βαθμό αποκάρσωσης. Τη δεκαετία του 1960 η υπόγεια δραστηριότητα εξόρυξης χρυσού, επέφερε υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα μέσα στα ανθρακικά πετρώματα, με αποτέλεσμα να εκδηλωθούν στην επιφάνεια εδαφικές βυθίσεις κυκλικής μορφής (sink holes) διαμέτρου από 60 μέχρι 140m και βάθους από 30 μέχρι 60m, προκαλώντας σε μια τουλάχιστον περίπτωση και το θάνατο τριών ανθρώπων.

### **2.2.3.1.4 AKRON ΤΟΥ ΟΗΙΟ**

Ένα άλλο παράδειγμα, αποτελεί η περίπτωση κατάρρευσης Πολυκαταστήματος στο Akron του Ohio, όπου 10 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους εξ' αιτίας της εδαφικής υποχώρησης που προκλήθηκε από κατάρρευση καρστικού σπηλαίου στα ανθρακικά πετρώματα του υποβάθρου. Οι αλλουβιακές αποθέσεις που κάλυπταν τους ασβεστολίθους είχαν διαφορετικά πάχη κάτω από τα στοιχεία θεμελίωσης του κτηρίου (Σχήμα 2.41). Έτσι η διαφορετικού μεγέθους υποχώρηση προκάλεσε καταστροφή και κατάρρευση του κτηρίου.



*Εικόνα 2.41 - Κακή επιλογή χώρου θεμελίωσης σε θέση με γρήγορη μεταβολή του μεγέθους της εδαφικής υποχώρησης.*

### 2.2.3.1.5 HERSHEY VALLEY ΤΗΣ PENNSYLVANIA

Πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα εκδήλωσης εδαφικής υποχώρησης λόγω συνδυασμού υποβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου και κατάρρευσης υπόγειου σπηλαιού αποτελεί η περίπτωση εργοστασίου Σοκαλοτοβιομηχανίας στο Hershey valley της Pennsylvania.

Γεωλογικά η περιοχή δομείται από αλλουβιακές αποθέσεις πάχους 20m που καλύπτουν ασβεστολίθους του υποβάθρου. Οι τελευταίοι είναι αποκαρστωμένοι και με ισχυρή μορφολογική κλίση αναδύονται στην επιφάνεια μακριά από το εργοστάσιο (Σχήμα 2.42).

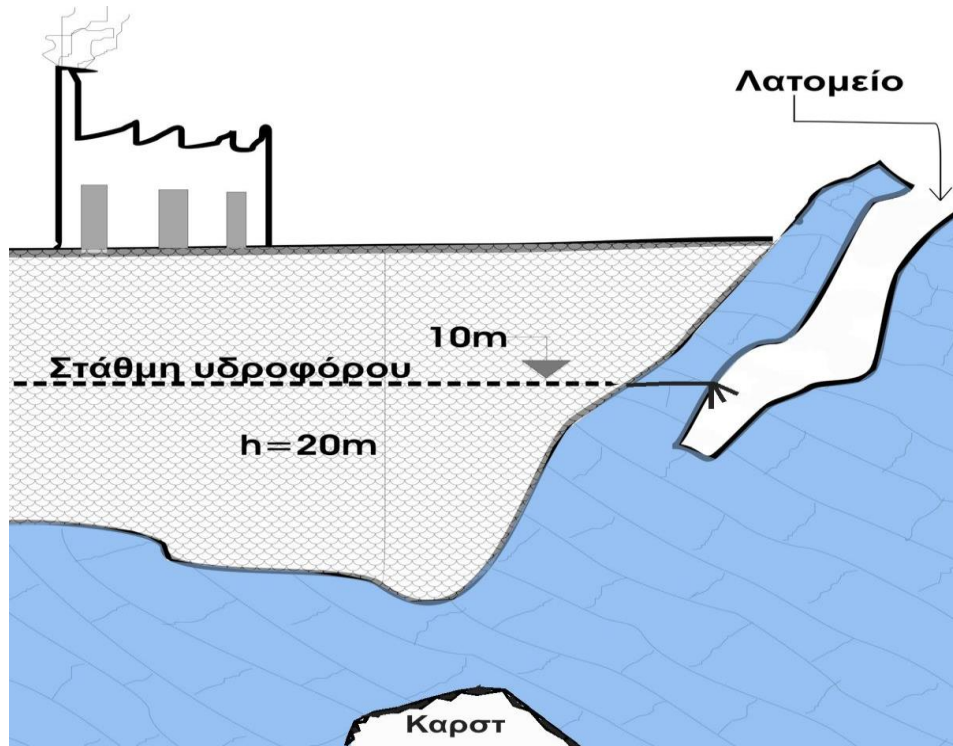
Οι αλλουβιακές αποθέσεις διαμόρφωσαν υδροφόρο ορίζοντα σε βάθος 10m και γενικά στον ευρύτερο χώρο υπήρχε πηγή νερού, που αποτέλεσε και καθοριστικό παράγοντα για την ανέγερση του εργοστασίου. Στο χώρο ανάδυσης των ασβεστολίθων λειτουργούσε λατομείο, με εκμετάλλευση σε βάθος.

Όταν η εκμετάλλευση έφθασε σε βάθη κάτω από τον υδροφόρο, το νερό πλημμύρισε το λατομείο και οι αντλήσεις άρχισαν με παροχέτευση του νερού σε παρακείμενο χείμαρρο. Αυτό προκάλεσε υποβιβασμό του υδροφόρου, που είχε σαν συνέπεια, λόγω των κοιλοτήτων στον ασβεστόλιθο, την εμφάνιση στην επιφάνεια και κοντά στο εργοστάσιο, εδαφικής βύθισης (Sink hole) με διαστάσεις 160m διάμετρο και 8m βάθος.

Η εκδήλωση αυτής της εδαφικής υποχώρησης θορύβησε τους ανθρώπους της σοκολατοβιομηχανίας και έτσι άρχισαν να εισπιέζουν νερό για να επαναφέρουν τον υδροφόρο στη θέση του.

Έτσι για ένα διάστημα ο ένας αντλούσε το νερό και ο άλλος εισπίαζε, με αποτέλεσμα να καταφύγουν στο δικαστήριο, που αποφάσισε ότι και οι δύο είχαν δίκαιο!!!...αλλά το λατομείο έπρεπε να απομονωθεί από την υπολοιπη κοιλάδα με οπλισμένο μπετόν.

Το οικονομικό κόστος αυτής της δράσης επέφερε το κλείσιμο του λατομείου και συνεπώς, την ασφαλή στη συνέχεια λειτουργία του εργοτασίου.



*Εικόνα 2.42 - Συνδυασμός επιφόρτισης, υποβιβασμού του υδροφόρου και παρουσίας καρστικών κοιλοτήτων.*

#### **2.2.3.1.6 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕΣΩ GPS ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΟJΙΥΑ, ΝΗΓΚΑΤΑ, ΙΑΠΩΝΙΑ**

Η υποχώρηση των εδαφών που προκλήθηκε από τη συμπίεση στρώσεων αργίλου στην Ojiya City της Ιαπωνίας μετρήθηκε από το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) μεταξύ της 1ης Απριλίου 1996 και της 31ης Δεκεμβρίου 1998. Τρεις βασικές γραμμές επιλέχθηκαν μέσα και γύρω από την πόλη και η διαφορά ύψους σε ένα ελλειψοειδές WGS-84 μετρήθηκε με GPS σε κάθε γραμμή βάσης. Το έδαφος στο σταθμό GPS στην πόλη υποχωρεί και επανέρχεται 7 cm κάθε χειμώνα και την άνοιξη, αντίστοιχα. Η ακρίβεια μέτρησης ήταν τυπική απόκλιση 9.5 mm. Η στάθμη του υπόγειου νερού παρατηρήθηκε σε μια περιοχή κοντά στο σταθμό GPS. Μια ανάλυση απόκλιση μεταξύ αφενός της συνολικής παραμόρφωσης μετρούμενης ως λόγου της μέγιστης διαφορικής μετακίνησης ως προς το συνολικό πάχος των στρώσεων της αργίλου και αφετέρου της αλλαγής των ενεργών τάσεων με τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, έδωσε καλό συσχετισμό. Η κλίση της γραμμής απόκλισης  $7.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$  επιτεύχθηκε ως μέσος όρος του φαινομένου συντελεστή συμπίεστότητας των στρωμάτων.



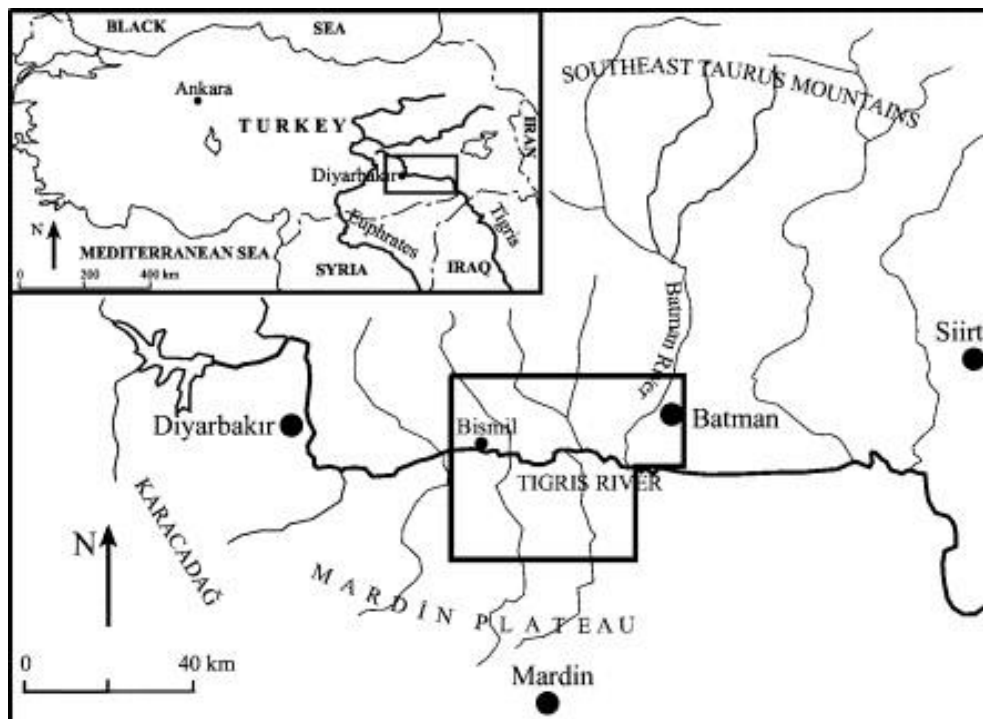
*Εικόνα 2.43 - Εδαφικές διαρρήξεις σε οδόστρωμα στην πόλη Οjiya, Νιγκάτα, Ιαπωνία.*

#### **2.2.3.1.7 ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟ-ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΜΕΓΑΛΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΛΑΣΚΑ**

Οι εναλλασσόμενες κλίνες τύρφης και λάσπης στις σειρές των ιζημάτων στη νότια κεντρική ακτή της Αλάσκας παρουσιάζουν συναισθηματικές και ενδοσεισμικές σχετικές κινήσεις της γης και της θάλασσας που προκαλούνται από επαναλαμβανόμενους μεγάλους σεισμούς στη ζώνη υποπίεσης της Αλάσκας-Αλευκίων. Κατά τη διάρκεια του 1964  $M_w = 9.2$  σεισμός, παλιρροϊκά έλη και υγρότοποι γύρω από το ανώτερο σημείο (Cook Inlet) γνώρισαν έως και 2 μ. υποχώρηση εδάφους, που θάβανε τις τύρφες που σχηματίστηκαν κοινότητες με εσωτερική λάσπη. Εδώ χρησιμοποιούμε ποσοτικές αναλύσεις ορυκτών διατομών μέσα σε ζιζάνια τύρφης για την ανακατασκευή των αλλαγών στο επίπεδο της γης / της θάλασσας για τους σεισμούς του 1964 και τους πέντε πρώτους μεγάλους σεισμούς τα τελευταία 3300 χρόνια. Σε αντίθεση με τις γεωδαιτικές παρατηρήσεις που περιορίζονται στη σημερινή μετά-σεισμική φάση, προσδιορίζουμε ποσοτικά ποικίλα χωρικά πρότυπα ανύψωσης και υποχώρησης εδάφους μέσα από πλήρεις κύκλους σεισμού. Η σχετική ανάγλυφη γη χαρακτηρίζει το μεγαλύτερο μέρος της ενδοσεισμικής φάσης κάθε κύκλου στις τοποθεσίες μας, ενώ κάθε μεγάλος σεισμός προηγήθηκε από μια σύντομη περίοδο προσεισμική σχετική υποχώρησης εδάφους.

### 2.2.3.1.8 Η ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΟΙ ΔΟΛΙΝΕΣ\* ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ ΠΕΤΡΩΜΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΓΥΨΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΠΟΤΑΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΩ ΤΙΓΡΗ (ΜΕΤΑΞΥ BISMIL-BATMAN, ΤΟΥΡΚΙΑ)

Η υποχώρηση εδάφους με βάση την [καρστικοποίηση] εντοπίστηκε στη λεκάνη του Άνω Τίγρη με διαστάσεις που δεν παρατηρήθηκαν πουθενά αλλού στην Τουρκία. Η έκταση της υποχώρησης εδάφους, όπου υπάρχουν δευτερογενείς και τριτογενείς εξελίξεις, φτάνει τα 140 km<sup>2</sup>. Το βάθος υποβάθμισης κυμαίνεται μεταξύ 40 και 70 μ. Η υποχώρηση εδάφους σχηματίστηκε ως αποτέλεσμα της υποδιάλυσης του διαλύματος γύψου στον κατώτερο σχηματισμό μυόκαινων. Παρόλο που υπάρχουν ασβεστόλιθοι μαζί με γύψο και ασβεστόλιθο Eocene κάτω από αυτούς στην περιοχή, μια υποχώρηση εδάφους με μια τόσο μεγάλη περιοχή είναι ενδεικτική της καρστικοποίησης στον γύψο. Οι στρωματογραφικές διατομές που λαμβάνονται από τις πηγές και οι αναλύσεις ύδατος επιβεβαιώνουν επίσης αυτό το γεγονός.



*Εικόνα 2.44 - Ποτάμιο σύστημα με ενδιάμεση εδαφική υποχώρηση.*

Ο χαμηλότερος μυόκαινικός γύψος, ο οποίος παρουσιάζει περιορισμένα χαρακτηριστικά υδροφόρου ορίζοντα, διαλύθηκε πλήρως από τα επιθετικά ύδατα που εγχύθηκαν από την κορυφή και απορρίφθηκαν από τον Zellek Fault. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη της υποχώρησης εδάφους και του σχηματισμού δολικών αδιαπέρατων στρωμάτων υπερκείμενου βράχου σε χαλαρά διαμορφωμένους σχηματισμούς κάλυψης Άνω Μειονοκένιο-Πλειοκένιο.



*Εικόνα 2.45 - Εδαφική υποχώρηση στο ποτάμιο σύστημα στη λεκάνη του Άνω Τίγρη.*

Ο ποταμός Tigris διέρχεται από την περιοχή υποχώρηση εδάφους μεταξύ Batman και Bismil. Υπάρχουν τέσσερες επίπεδες επιφάνειες όπως T1 (40 m), T2 (30 m), T3 (10 m) και T4 (4-5 m) στην κοιλάδα του ποταμού Τίγρη. Διαπιστώθηκε επίσης ότι υπήρξαν κάποιες κινήσεις των επιπέδων στην κοιλάδα με υποχώρηση εδάφους. Η υποχώρηση εδάφους εξελίχθηκε βαθμιαία σε όλη τη τετραδική περίοδο. Ωστόσο, δεν σχηματίστηκε μόνο λόγω υποχώρηση εδάφους.

\*Δολίνη: κοίλωμα σε μορφή κυκλική ή ελλειπτική που προκαλείται από καρστικά φαινόμενα.

## **2.2.3.2 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΙΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ**

### **2.2.3.2.1 ΛΙΜΝΗ ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ**

Καρστικό έγκοιλο του οποίου η οροφή κατέρρευσε πιθανότατα εξαιτίας σεισμικής φόρτισης. Οι τεκτονικές επιφάνειες (ρήγματα) έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του σχήματός του. Διαστάσεις 150×250 m.



*Εικόνα 2.46 - Καρστικό έγκοιλο όπου μετά από σεισμική φόρτιση κατέρρευσε η οροφή.*

#### **2.2.4 ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ**

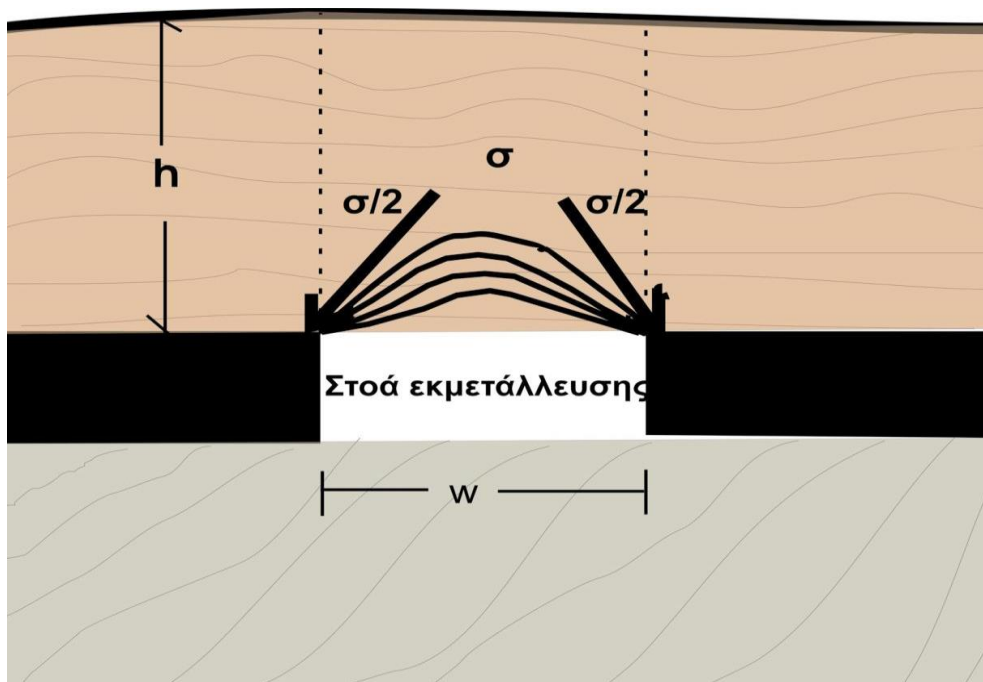
Ένας άλλος τρόπος δημιουργίας εδαφικών υποχωρήσεων είναι η μεταλλευτική δραστηριότητα. Αυτή μπορεί να προκαλέσει κατάρρευση των γεωλογικών σχηματισμών, στην περίπτωση αφαίρεσης της υποστήριξης στοών ενός μεταλλείου ή ορυχείου, με τη μορφή σταδιακής καταστροφής των στοιχείων υποστήριξης και τελικά μετανάστευση της κατάρρευσης στην επιφάνεια.

Με την Εικόνα 2.47 υπενθυμίζεται ο μηχανισμός γεφύρωσης (arching effect) που επέρχεται με την κατανομή των τάσεων στις δύο πλευρές λόγω της διατμητικής αντοχής του πετρώματος πάνω από τη στοά. Αυτός ο μηχανισμός εξαρτάται από:

- Το εύρος ( $w$ ) της στοάς, και
- Το πάχος ( $h$ ) του πετρώματος που υπέρκειται του ορίζοντα εκμετάλλευσης, με την προϋπόθεση ότι το υπερκείμενο πέτρωμα έχει διατμητική αντοχή.

Έτσι είναι κατανοητό ότι όσο βαθύτερα βρισκόμαστε, τόσο μεγαλύτερο μπορεί να είναι το  $w$ .





**Εικόνα 2.47** - Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού γεφύρωσης (Arching effect) στην οροφή στοάς εκμετάλλευσης κοιτάσματος.

#### 2.2.4.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ

Σε χώρες όπως η Αγγλία όπου η εκμετάλλευση της κιμωλίας για λίπανση αγρών αλλά κυρίως του κάρβουνου είχαν αρχίσει εδώ και 2000 χρόνια πριν, με αυτήν του κάρβουνου να κορυφώνεται το 1720 – 1940 (περίοδος βιομηχανικής επανάστασης), αρχικά η μέθοδος προσέγγισης ήταν με τη διάνοιξη πηγαδιών (shafts), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.50 (α) (γενικά η Εικόνα αυτή παρουσιάζει τη διαχρονική εξέλιξη των μεθόδων εκμετάλλευσης του κάρβουνου στην Αγγλία, μέχρι το 1950).

Μετά το 1700, η προσέγγιση επεκτάθηκε και στη διάνοιξη μικρών στοών (adits) από τα σημεία όπου οι οριζόντες του κάρβουνου αναδύονταν σε κάποιο πρανές ( Εικόνα 2.50 (β) ). Όσο βαθύτερα προχωρούσαν οι στοές αυτές τόσο σοβαρότερα προβλήματα αντιμετωπίζονταν, που συνήθως οδηγούσαν στη διακοπή της εκμετάλλευσης. Τα προβλήματα αυτά ήταν:

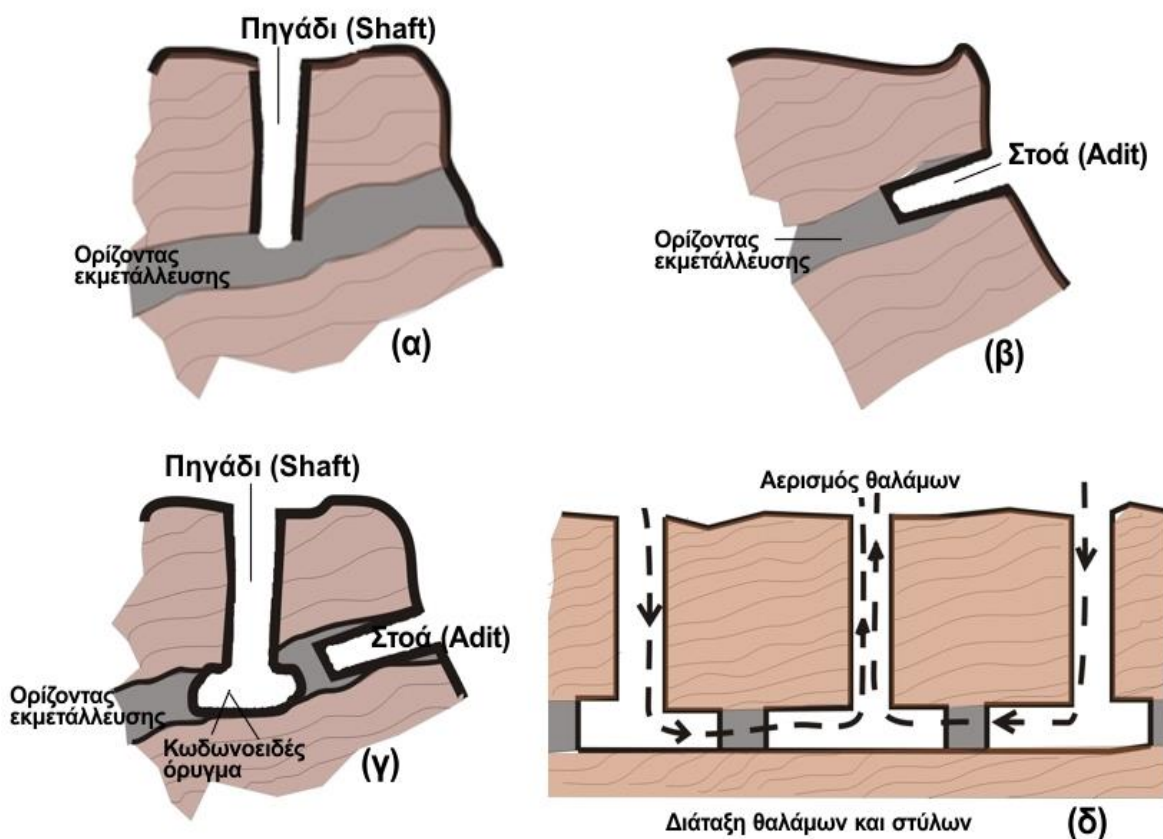
- Εισροές νερού στη στοά,
- Αστοχίες στην υποστήριξη της στοάς, και
- Δυσκολίες στον αερισμό των στοών λόγω της παρουσίας μεθανίου.

Το πρόβλημα της υποστήριξης, λύθηκε πρώτο με τη χρήση του ξύλου, οπότε οι στοές έφθασαν και μέχρι 200μ. Στη συνέχεια το 18<sup>ο</sup> αιώνα οι προσπάθειες εστιάστηκαν στην

κατασκευή πηγαδιών που συνδυάζονταν με μικρές στοές και η εκμετάλλευση του κάρβουνου γινόταν με διεύρυνση στη βάση του πηγαδιού (bell pits). Αυτό ( Εικόνα 2.50 (γ) ) εξασφάλιζε κάποιο αερισμό, αλλά γενικά τα προβλήματα από το νερό και το μεθάνιο παρέμεναν. Η μετεξέλιξη αυτής της μεθόδου εκμετάλλευσης ήταν η διάνοιξη πολλών πηγαδιών. Αυτά κατέληγαν στους χώρους υπόγειας εκμετάλλευσης που υποστηρίζονταν με κολώνες κάρβουνου ( Εικόνα 2.50 (δ) ), που παρέμενε άθικτο (coal piles). Οι κολώνες αυτές προστάτευαν την οροφή ενώ τα πηγάδια εξασφάλιζαν πλήρη αερισμό των χώρων ( δωματίων) εκμετάλλευσης.

Αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας (stoop and room ή pillars and stall ή pillars and rooms) που είναι γνωστή πλέον σαν μέθοδος θαλάμων και στύλων ήταν η εγκατάλειψη πολύ μεγάλου αριθμού πηγαδιών σε περιοχές πολύ πλούσιες σε οριζόντες κάρβουνου, όπως το Yorkshire, τις περισσότερες φορές δυστυχώς δίχως καταγραφή.

Έτσι σήμερα, αποτελούν μεγάλο πονοκέφαλο ιδιαίτερα στην περίπτωση ανάπτυξης οικιστών ή και βιομηχανικών περιοχών, αλλά και στα σημαντικά γραμμικά έργα, αφού μπορεί να προκαλέσουν ανά πάσα στιγμή ανεπιθύμητες εδαφικές υποχωρήσεις. Για την ανεύρεσή τους και τη σφράγιση τους με μπετόν σε τέτοιες περιπτώσεις, εφαρμόζονται γεωφυσικές μελέτες με μαγνητικές μεθόδους, καθώς η επένδυση των πηγαδιών ήταν με τούβλα από υλικό πλούσιο σε σίδηρο.



Εικόνα 2.48 - Διαχρονική εξέλιξη των μεθόδων εκμετάλλευσης κάρβουνου στην Αγγλία.

Συνεπώς, σήμερα που τα προβλήματα νερού, υποστήριξης, αλλά και αερίων στις στοές έχουν λυθεί, τα προβλήματα από παλαιές εκμεταλλεύσεις παραμένουν και είναι δυνατόν να προκύψουν από:

A) τη ληστρική εκμετάλλευση των στύλων που είχαν αφηθεί για την αντιστήριξη των παλαιών εκμεταλλεύσεων. Αυτό γινόταν από τους ανθρακωρύχους την περίοδο εγκατάλειψης των ορυχείων, προκειμένου να αποκτήσουν επιπλέον κέρδος. Έτσι, η υποστήριξη αδυνάτισε και πολλά προβλήματα προέκυψαν στην επιφάνεια από αυτήν την αιτία με τη μετανάστευση των καταρρεύσεων. Η αφαίρεση έστω και μερικών από τους μικρού μεγέθους στύλους της αρχικής μεθόδου, μπορεί με το φαινόμενο του “ντόμινο”, να προκαλέσει και την κατάρρευση των υπολοίπων.

B) τη συνεχή υποβάθμιση των γεωμηχανικών χαρακτηριστικών των στύλων κάρβουνου με την πάροδο του χρόνου. Η διαδικασίες αποσάθρωσης είναι συνεχείς και έτσι οι πιθανότητες καταρρεύσεων είτε στους στύλους είτε στα ανοίγματα είναι πολύ πιθανές με την πάροδο του χρόνου.

Γ) τις τάσεις που προκαλούνται από κατασκευές θεμελιωμένες πάνω σε παλαιά ορυχεία. Η οικιστική και βιομηχανική ανάπτυξη σε περιοχές παλαιών υπόγειων εκμεταλλεύσεων, επιφέρει την ανάπτυξη πρόσθετων τάσεων, που μπορεί να υπερκεράσουν το μηχανισμό γεφύρωσης παλαιών στοών και συνεπώς να επιφέρουν την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων, που θα επιφέρουν καταστροφή των κατασκευών. Συνεπώς θα πρέπει να μειωθούν οι δραστηριότητες πάνω από περιοχές παλαιών ορυχείων – μεταλλείων και οι κατασκευές να περιοριστούν σε αυτές που δεν προκαλούν αυξήσεις των τάσεων. Υπάρχουν παραδείγματα στην Αγγλία όπου από την άλλη ελαφρές και χαμηλές κατασκευές, αφού κάτω από αυτήν την πλευρά του δρόμου υπάρχουν ορίζοντες κάρβουνου, που είχαν υποστεί εκμετάλλευση.

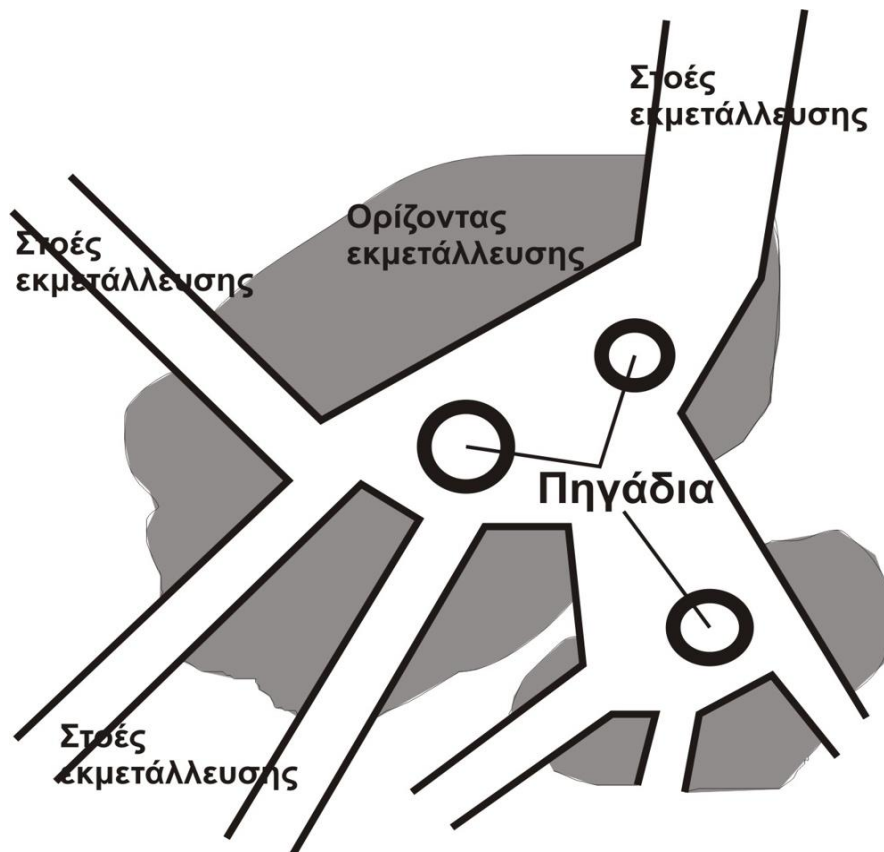
Δ) τη μετανάστευση του κενού από την κατάρρευση στην επιφάνεια. Η αρχική κατάρρευση της οροφής της υπόγειας εκμετάλλευσης με την πάροδο του χρόνου και ανάλογα με τη γεωμηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας του υπερκειμένου πετρώματος, μεταναστεύει στην επιφάνεια, προκαλώντας σοβαρές ζημιές στις εκεί κατασκευές.

Γενικά, η θεμελίωση κατασκευών πάνω από περιοχές παλαιών υπόγειων εκμεταλλεύσεων, απαιτεί πρωταρχικά τη γνώση του βάθους εκμετάλλευσης, που μπορεί να επηρεάσει την κατασκευή. Αυτό δεν περιορίζεται μόνο μέχρι το βάθος ανάπτυξης του βολβού των τάσεων της κατασκευής, καθώς η μετανάστευση της κατάρρευσης της οροφής υπόγειας στοάς μπορεί να γίνει από πολύ μεγαλύτερο βάθος. Έτσι αναγκαία είναι η γνώση όλων των συνθηκών που επικρατούν στο χώρο θεμελίωσης, αν αυτός σχετίζεται με παλαιές υπόγειες εκμεταλλεύσεις.

Εδαφικές υποχωρήσεις στην επιφάνεια δεν έχουμε μόνο από τις παλαιές εκμεταλλεύσεις αλλά και από τις νέες, που ακολουθούν τις πλέον πρόσφατες μεθόδους εκμετάλλευσης. Το 1950 η μέθοδος των θαλάμων και στύλων, άρχισε να τροποποιείται και να διαμορφώνεται σε αυτό που ονομάστηκε τεχνική επιμήκους μετώπου (Long wall technique). Σύμφωνα με την αρχική μορφή της μεθόδου αυτής το κάρβουνο γύρω από τα πηγάδια έμεινε άθικτο και μόνο οι στοές προσπέλασης στα σημεία εκμετάλλευσης το διέσχισαν (Εικόνα 2.49).

Η μέθοδος αυτή μετεξελίχθηκε στη τεχνική οπισθοχώρησης επιμήκους μετώπου (Retreating long wall technique). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η αποφυγή των προβλημάτων που επιφέρουν οι κύριες γεωλογικοί παράμετροι, όπως η παρουσία ρηγμάτων,

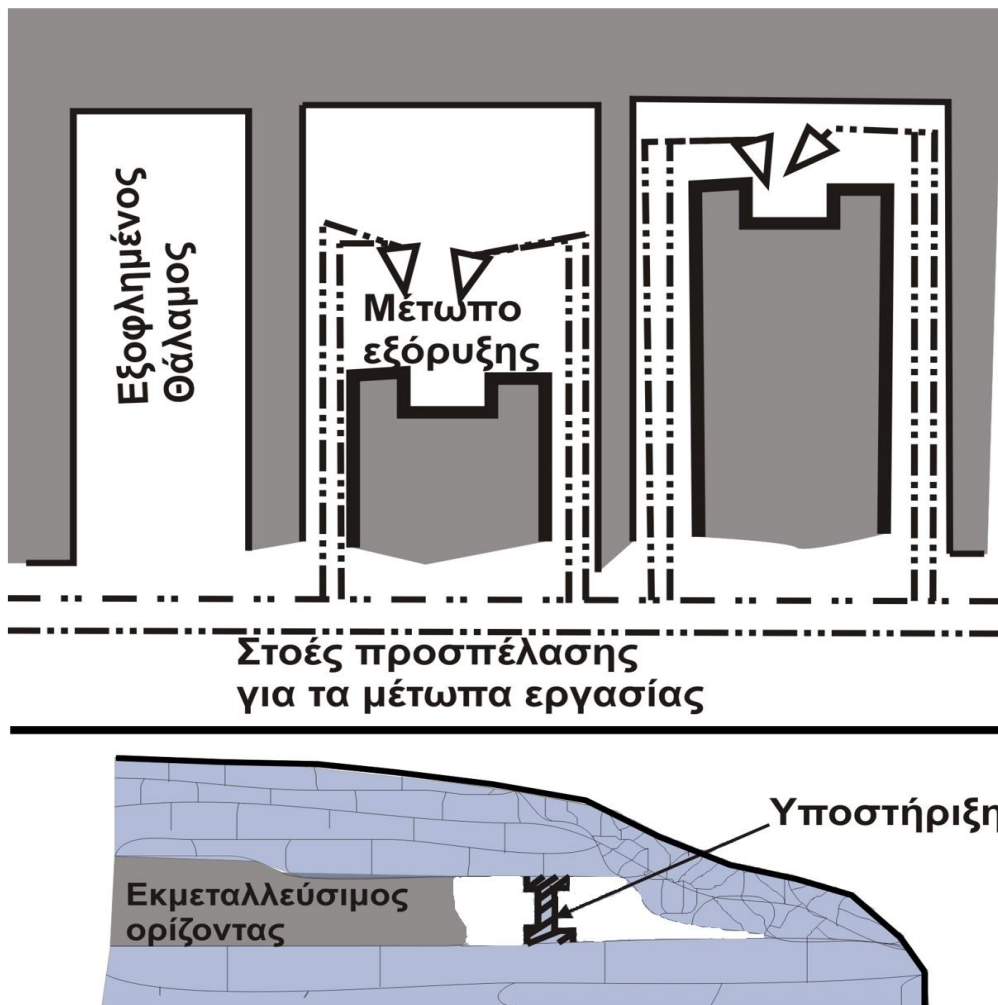
τεκτονικών επαφών, αυξομειώσεις του πάχους κλπ, αφήνοντας την οροφή να καταρρέει πίσω από το μέτωπο εργασίας, το οποίο υποστηρίζεται με τεχνητά μέσα κοντά στο μέτωπο, τα οποία μετακινούνται συνεχώς (Εικόνα 2.50). Το μέτωπο που διαμορφώνεται στην αντίθετη πλευρά των πηγαδιών, προσεγγίζεται με κατάλληλες στοές προσπέλασης. Μετά την κατάρρευση της οροφής, η συνεπακόλουθη μετανάστευση της κοιλότητας που δημιουργείται με σχετική δυναμική διαδικασία προς την επιφάνεια, προκαλεί εδαφικές υποχωρήσεις πάνω από τις εκμεταλλεύσεις, που όμως συμβαδίζουν με την εκμετάλλευση ή έπονται με τη μεσολάβηση μικρού χρονικού διαστήματος, ενώ παράλληλα μπορεί ευκολότερα να υπολογιστούν.



*Εικόνα 2.49 - Αρχική μορφή διάταξης θαλάμων και στύλων.*

Νεότερες μέθοδοι, όπως αυτή των υποπατωμάτων και κατακρήμιση οροφής «sublevel caving mining method», επίσης προκαλούν φαινόμενα εδαφικής υποχώρησης στην επιφάνεια.

Αναφορικά με την πρόληψη τέτοιων φαινομένων, θα μπορούσε να λεχθεί ότι σε γενικές γραμμές, ασφαλείς είναι οι περιπτώσεις όπου τα κενά έχουν λιθογομωθεί μετά την εξόφληση του λιγνίτη, του λιθάνθρακα ή και μεταλλευμάτων με κονιοποιημένο υλικό συνήθως από τα στείρα ή με κάποιο ένεμα (πολύ καλύτερη η ανάμιξη των κονιοποιημένων στείρων με τσιμέντο).



*Εικόνα 2.50 - Τεχνική επιμήκους μετώπου.*

Η λιθογόμωση πάντως εφαρμόζεται σχεδόν συστηματικά τα τελευταία χρόνια και επομένως το πρόβλημα των εδαφικών υποχωρήσεων κυρίως σχετίζεται με τις παλαιές εκμεταλλεύσεις.

#### 2.2.4.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ

Τα βασικά ερωτήματα που προκύπτουν από την όλη διαδικασία της μετανάστευσης της κοιλότητας που διαμορφώνεται, λόγω κατάρρευσης υπόγειας στοάς και απασχολούν τους γεωτεχνικούς που απασχολούνται με ένα τέτοιας φύσεως πρόβλημα, είναι:

(α) ποια έκταση επηρεάζεται στην επιφάνεια και

(β) ποιο είναι το μέγιστο βάθος της εδαφικής υποχώρησης (κατακόρυφη συνισταμένη της κίνησης).

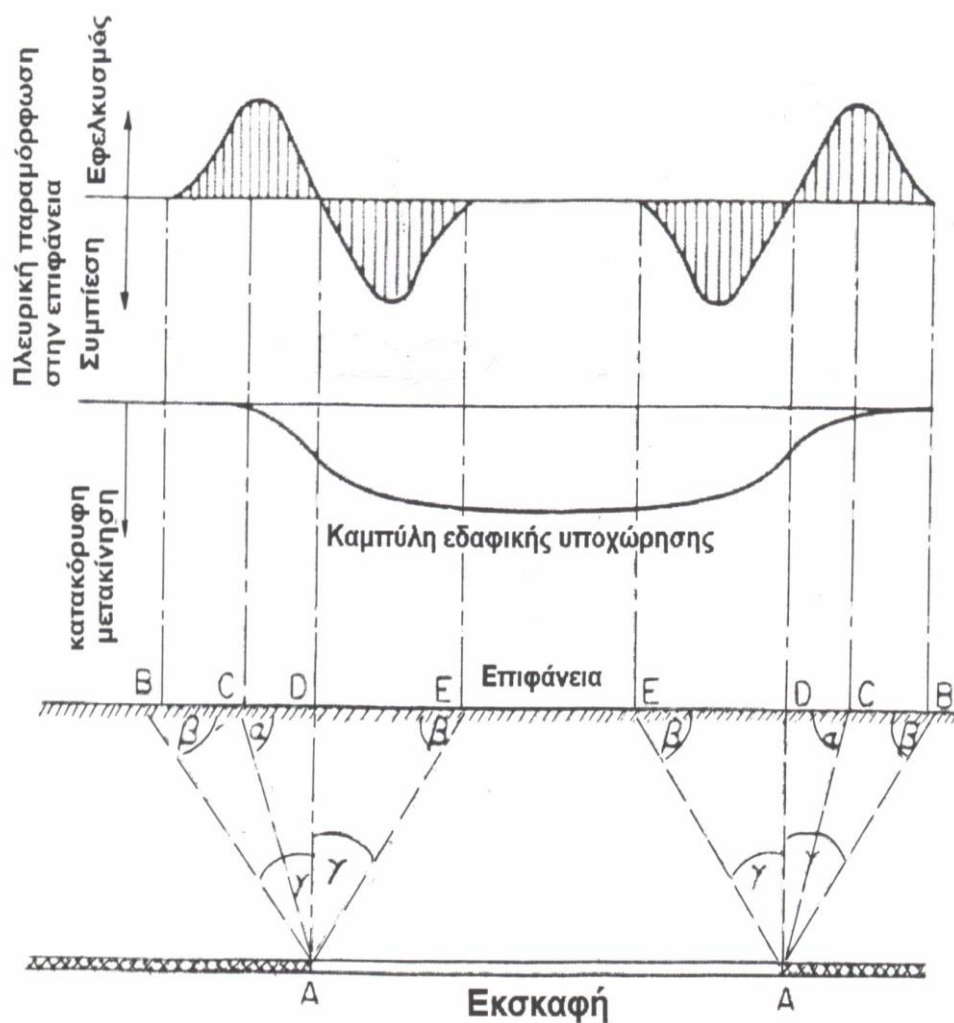
Για να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα αυτά αρχικά πρέπει να κατανοηθεί η γενική εικόνα που διαμορφώνεται στη επιφάνεια (Εικόνα 2.51). Από την Εικόνα αυτή διαπιστώνεται ότι η περιοχή στην επιφάνεια του εδάφους που επηρεάζεται από το φαινόμενο της εδαφικής υποχώρησης οριοθετείται από τις γραμμές που σχεδιάζονται από τα άκρα της υπόγειας

εκμετάλλευσης με μια γωνία από την κατακόρυφο, που καλείται γωνία επίδρασης (angle of draw or influence).

Στο ίδια Εικόνα 2.51 δίνονται διαγραμματικά και η κατανομή των τάσεων (εφελκυσμού και συμπίεσης), αλλά και η καμπύλη της συνολικής εδαφικής υποχώρησης, από την κατάρρευση μιας υπόγειας εκσκαφής.

Η σιγμοειδής καμπύλη του υπόψη σχήματος υπάρχει, όταν ο λόγος εύρους στοάς ή εκμετάλλευσης προς το βάθος της εκσκαφής είναι μικρότερος της μονάδας.

Το σημείο της μέγιστης καμπυλότητας είναι η παραμόρφωση, που αποτελεί τον κρίσιμο παράγοντα για τον προσδιορισμό των επιφανειακών ή και υπογείων ζημιών.



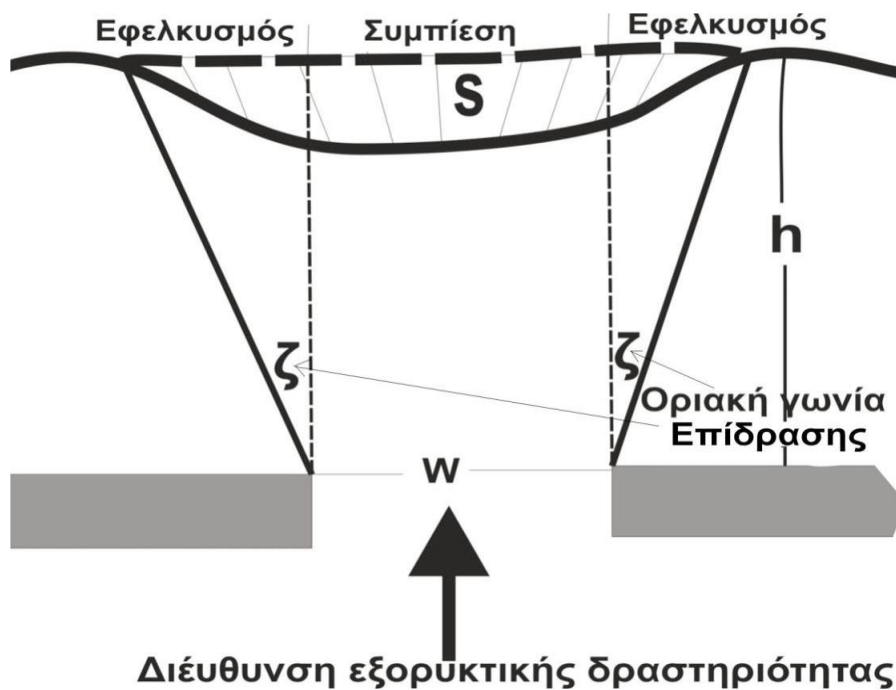
**Εικόνα 2.51** - Διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής των τάσεων και της εδαφικής υποχώρησης της επιφάνειας πάνω από υπόγειο χώρο που έχει καταρρεύσει.

Η μέγιστη τιμή της εδαφικής υποχώρησης λαμβάνει χώρα στη θέση του "S" (Εικόνα 2.52), δηλαδή στο κέντρο της ζώνης εδαφικής υποχώρησης. Αυτή η τιμή είναι συνάρτηση του

εύρους  $w$  και του βάθους  $h$  της υπόγειας εκμετάλλευσης, ενώ η συμπίεση (Εικόνα 2.52) μεταβάλλεται σε εφελκυσμό όσο κινούμεθα προς τα άκρα της ζώνης επιρροής.

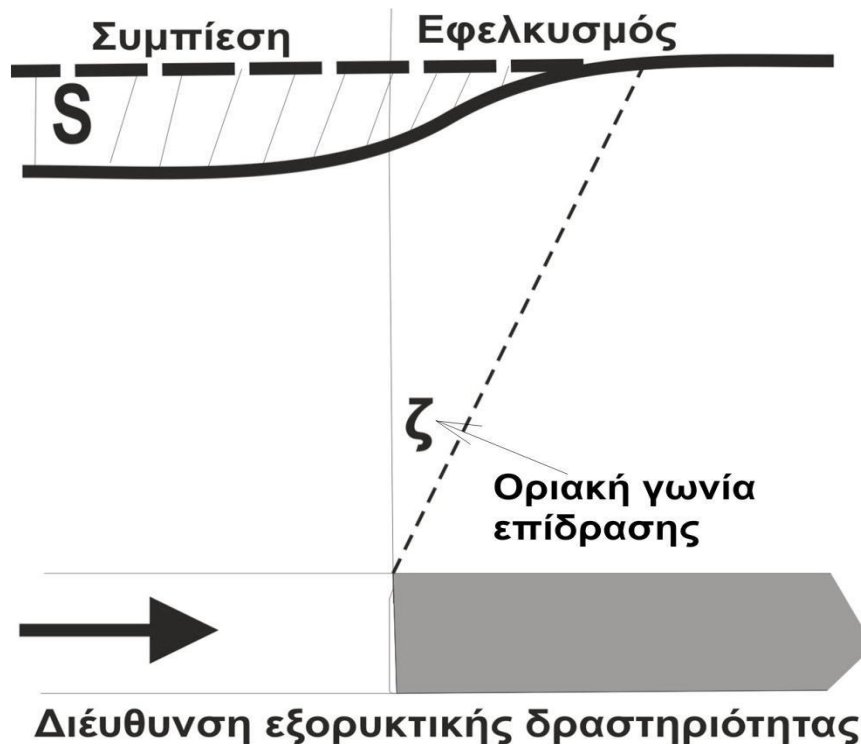
Η υπόψη διάταξη προσέγγισης ή εφαρμογής καλείται στατική (static draw) καθώς το εύρος της υπόγειας εκμετάλλευσης είναι σταθερό, αντίθετα με ότι συμβαίνει μπροστά από το μέτωπο εργασίας όπου η διάταξη προσέγγισης είναι δυναμική (dynamic draw).

Στην τελευταία περίπτωση (Εικόνα 2.53) οι τάσεις που αναπτύσσονται είναι εφελκυστικές και μόνο μετά την εκδήλωση της εδαφικής υποχώρησης έχουμε συμπίεση (δηλαδή πολύ πίσω του μετώπου).



**Εικόνα 2.52** - Γενική διάταξη του τρόπου εκδήλωσης εδαφικής υποχώρησης από κατάρρευση υπόγειου χώρου.

Το συνολικό αποτέλεσμα δηλαδή είναι μια εδαφική υποχώρηση τριών διαστάσεων.



*Εικόνα 2.53 - Διάταξη επίδρασης στην επιφάνεια της κατάρρευσης υπόγειου χώρου κατά τη διεύθυνση προχώρησης της εκμετάλλευσης.*

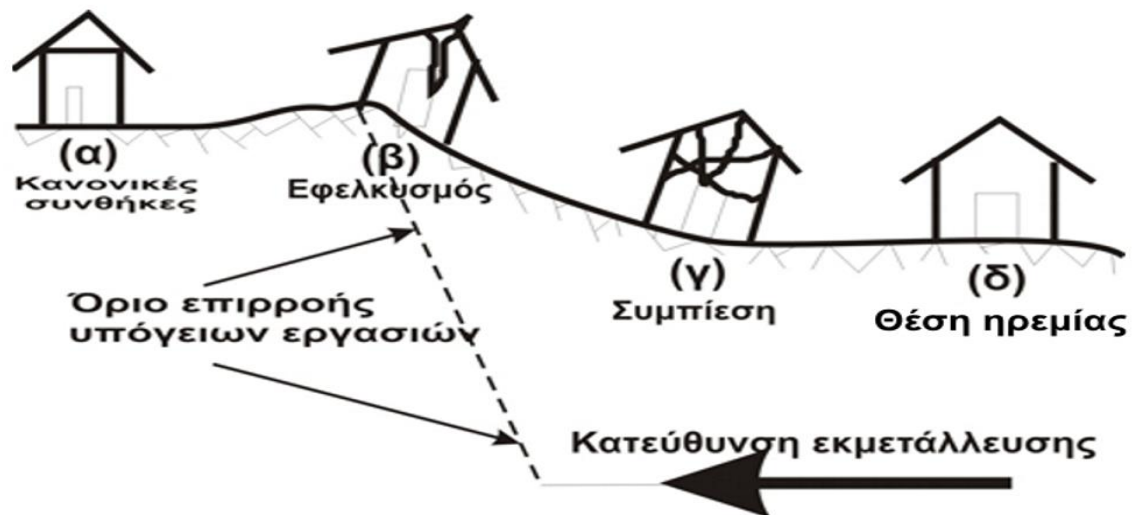
#### **2.2.4.3 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ ΑΥΤΗΣ ΤΗΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

Με βάση την παραπάνω ανάλυση της κατανομής των τάσεων στο χώρο της επιφάνειας του εδάφους που επηρεάζεται από τις εδαφικές υποχωρήσεις, κάθε κατασκευή σε αυτό το χώρο θα υποστεί τις συνέπειες των τάσεων που επικρατούν, ανάλογα με τη θέση θεμελίωσής της.

Γενικά, η κίνηση της επιφάνειας του εδάφους δεν είναι μόνο κατακόρυφη, καθώς προκαλούνται επίσης παραμορφώσεις και από οριζόντιες τάσεις. Έτσι κτίρια θεμελιωμένα στις παρυφές του βυθίσματος ανάλογα με την θέση τους μπορεί να υφίστανται εφελκυστικές ή θλιπτικές τάσεις.

Στη διαγραμματική απεικόνιση της Εικόνας 2.54, διακρίνονται : (α) μια κατασκευή σε κανονικές συνθήκες τάσεων, (β) μια κατασκευή που είναι θεμελιωμένη στη ζώνη εφελκυσμού, (γ) μια κατασκευή θεμελιωμένη στη ζώνη συμπίεσης και τέλος (δ) μια κατασκευή στο χώρο ηρεμίας.





**Εικόνα 2.54** - Θέσεις θεμελίωσης μιας κατασκευής σε σχέση με τη ζώνη εδαφικής υποχώρησης από κατάρρευση και μετανάστευση υπόγειου ανοίγματος.

Για την κατασκευή στη θέση 6-30β οι συνέπειες των εφελκυστικών τάσεων είναι η εκδήλωση εφελκυστικών ρωγμών, ενώ για αυτή στη θέση 6-30γ θλιπτικών ρωγμών και "κλείσιμο". Η κατασκευή τέλος στη θέση 6-30α δεν έχει ακόμη επηρεάσει από την εκδήλωση των εδαφικών υποχωρήσεων.

#### 2.2.4.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Αναφορικά με τις τυπικές τιμές των παραμορφώσεων που σημειώνονται στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να σημειωθεί αρχικά ότι όλες οι οριζόντιες παραμορφώσεις, συνήθως συγκεντρώνονται σε ένα σημείο και φθάνουν στο 1% του μήκους της κατασκευής. Συνηθέστερα όμως είναι της τάξης των 0.2%-0.8% (Tomlinson, 2001). Αν λοιπόν μια κατασκευή έχει μεγάλο μήκος (π.χ. 100m), τότε το άνοιγμα της κύριας ρωγμάτωσης μπορεί να φθάσει το 1m. Συνεπώς θα πρέπει να αποφεύγονται μεγάλου μήκους κατασκευές σε περιοχές που υποφέρουν από την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων.

Παράλληλα η γεινίαση με γεωλογικά ρήγματα επιβαρύνει την κατάσταση δεδομένου ότι η υποχώρηση φαίνεται να είναι πλέον σοβαρή κοντά σε επίπεδα ρηγμάτων (Roberts, 2001).

Τέλος, παρόλο που ο προσανατολισμός μιας κατασκευής σε σχέση με ένα επίμηκες βύθισμα, έχει θεωρητικά επίδραση στην εκδήλωση των παραμορφώσεων σε αυτήν, υπάρχουν και απόψεις που δέχονται ότι στην πράξη δεν υπάρχει πολύ έντονη διαφορά στα αποτελέσματα, οποιαδήποτε διεύθυνση και αν έχει μία κατασκευή. Επομένως πέρα από τον προσανατολισμό, θα πρέπει σε κάθε σχεδιασμό κατασκευής να προβλέπεται η μέγιστη αναμενόμενη κατακόρυφη μετακίνηση.

#### 2.2.4.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ (SUBSIDENCE) ΑΠΟ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ

Τα φαινόμενα των εδαφικών υποχωρήσεων που εκδηλώνονται στην επιφάνεια του εδάφους λόγω κατάρρευσης των υπόγειων έργων, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες και γι' αυτό το λόγο η ερμηνεία του μηχανισμού εκδήλωσής τους είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Γενικά το μέγεθος της βύθισης του εδάφους στην επιφάνεια σχετίζεται με παραμέτρους που έχουν άμεση σχέση με τις εργασίες εκμετάλλευσης. Σύμφωνα με τις γενικές παραδοχές οι παράγοντες που καθορίζουν τις εδαφικές υποχωρήσεις στην επιφάνεια μιας περιοχής, είναι:

- Η γωνία επίδρασης (static or dynamic angle of draw or influence). Στον Ελλαδικό χώρο η τιμή αυτής λαμβάνεται εμπειρικά ίση με  $45^\circ$ .
- Τα γεωμετρικά στοιχεία της υπόγειας εκμετάλλευσης (στοάς) και κυρίως το εύρος αυτής.
- Το βάθος της εκμετάλλευσης.
- Το πάχος του (λιγνιτικού) ορίζοντα, που υφίσταται την εκμετάλλευση.
- Η κλίση του ορίζοντα αυτού.
- Η μέθοδος και ο τύπος της υποστήριξης, εάν υπάρχει.
- Ο παράγων χρόνος.
- Η παρουσία ασυνεχειών στον περιβάλλοντα την εκμετάλλευση σχηματισμό.
- Η φυσική κατάσταση των σχηματισμών πάνω από τις εργασίες εκμετάλλευσης, που έμμεσα συνδέεται με τη γωνία επιρροής.
- Το καθεστώς του υπόγειου νερού.

Σχετικά με το μέγεθος της υποχώρησης σημειώνεται ότι κατά την κατακόρυφη έννοια η υποχώρηση στην επιφάνεια είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη στο βάθος των υπόγειων έργων, λόγω του ότι τα στρώματα που καταρρέουν καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο από αυτόν που είχαν αρχικά.

Η λιθογόμωση στοών με υλικά από τα στείρα των μεταλλείων θα μπορούσε να μειώσει τις πιθανές υποχωρήσεις μόνο στο μισό από τις αντίστοιχες που αναφέρονται σε μη πληρωμένη στοά. Βέβαια, λιθογόμωση με τις σύγχρονες μεθόδους (κονιοποίηση και εκτόξευση του υλικού είτε σκέτο είτε σε ανάμιξη με τσιμέντο ή και ιπτάμενη τέφρα, εκμηδενίζει, όπως έχει ήδη λεχθεί, τους κινδύνους μετανάστευσης των όποιων καταπτώσεων.

Γενικά, το βύθισμα που δημιουργείται εξαιτίας συγκεκριμένου έργου εξόρυξης, επηρεάζει στην επιφάνεια μεγαλύτερη περιοχή από αυτήν της εξόρυξης, βάση της γωνίας επίδρασης και η μέγιστη τιμή της υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους ποτέ δεν ξεπερνά το 90% του πάχους του ορίζοντα που εξορύχτηκε.

Ειδικότερα, για κάθε παράγοντα επηρεασμού των εδαφικών υποχωρήσεων μπορεί να γίνουν οι ακόλουθοι σύντομοι σχολιασμοί:

#### **2.2.4.4.1 ΓΩΝΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ**

Για τη γωνία επίδρασης έχουν ήδη λεχθεί αρκετά. Εκείνο που πρέπει να τονισθεί είναι ότι η γωνία αυτή καθορίζει τα όρια της επιφάνειας του εδάφους που θα υποστεί τις συνέπειες των εδαφικών υποχωρήσεων είτε πλευρικά είτε κατά μήκος της υπόγειας εκμετάλλευσης. Γενικά πάντως κάποιιοι θεωρούν ότι οι μεταβολές στην τιμή της γωνίας επίδρασης είναι πολύ ευρύτερες από ότι κοινά πιστεύεται.

#### **2.2.4.4.2 ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (ΣΤΟΑΣ)**

Το μέγιστο εύρος ανοίγματος ( $W$ ) σε αυτοϋποστηριζόμενο σχηματισμό είναι:

$$W = \sqrt{2hS}, \quad \text{όπου}$$

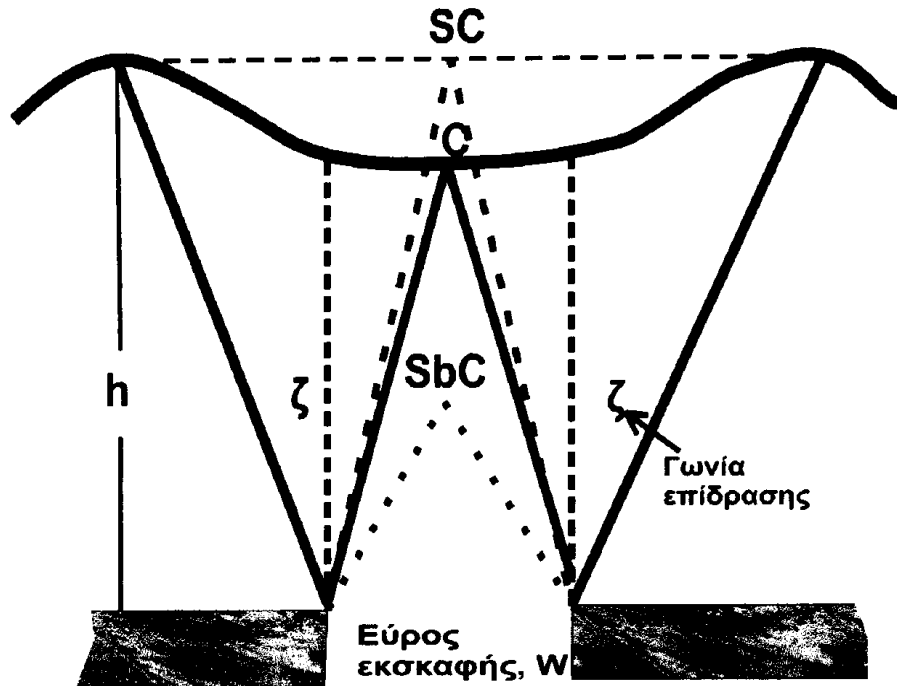
$h$ = το πάχος του ορίζοντα εκμετάλλευσης και

$S$ = η εφελκυστική αντοχή του σχηματισμού που δομεί την ασίδα οροφής.

Στην περίπτωση που δεν ισχύει ο μηχανισμός της γεφύρωσης, δηλαδή ο γεωλογικός σχηματισμός δεν μπορεί να αυτοϋποστηριχθεί και εδαφική υποχώρηση πρόκειται να συμβεί, έχει βρεθεί ότι η μέγιστη τιμή αυτής στο σημείο C της Εικόνας 2.55, εμφανίζεται όταν το εύρος της υπόγειας εκμετάλλευσης ( $w$ ) φθάσει σε συγκεκριμένη τιμή σχετικά με το βάθος εκμετάλλευσης.

Σύμφωνα με τον Bell (1981), η μέγιστη εδαφική υποχώρηση (κρίσιμη κατάσταση, critical case) συμβαίνει όταν ο λόγος  $w/h$  γίνει ίσος με  $\epsilon\phi 35^\circ$ , όπου  $35^\circ$  είναι η γωνία επίδρασης για τα ορυχεία κάρβουνου στην Αγγλία, δηλαδή όταν  $w = \epsilon\phi 35^\circ \times h$ . Πάνω από αυτήν τιμή του  $w$ , οι συνθήκες είναι χειρότερες (super critical case), ενώ κάτω από αυτήν οι συνθήκες είναι καλύτερες (sub critical case).

Στον Ελλαδικό χώρο, καθώς η τιμή που λαμβάνεται για τη γωνία επιρροής είναι μεγαλύτερη ( $45^\circ$ ), ο τύπος γίνεται:  $w = \epsilon\phi 45^\circ \times h$ .



**SC = super critical C = critical SbC = subcritical**

*Εικόνα 2.55 - Οι τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις που προκύπτουν από τη σχέση  $W/h$ .*

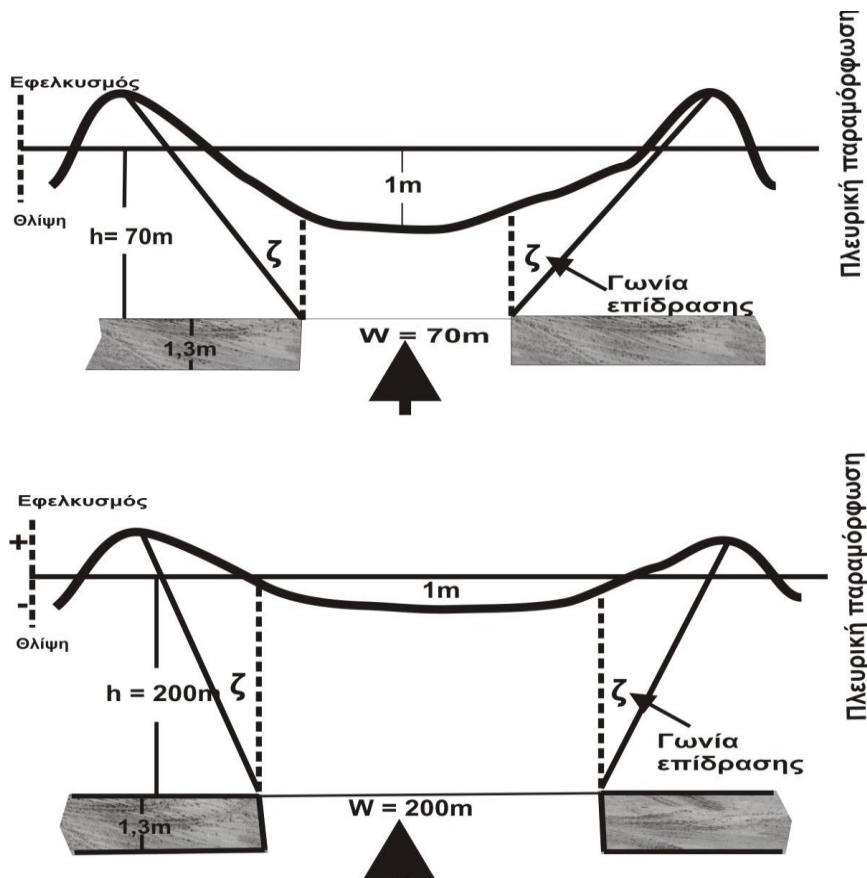
#### 2.2.4.4.3 ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Για οριζόντες εκμετάλλευσης που εντοπίζονται σε μεγάλα βάθη η μέγιστη εδαφική υποχώρηση προσεγγίζεται με τη διαμόρφωση μεγάλων ανοιγμάτων, αφού  $w = \epsilon \phi \zeta^0 h$ . Στην Εικόνα 2.56 παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις ρηχής και βαθιάς εκμετάλλευσης, όπου σε κάθε μία το εύρος εκσκαφής είναι το ίδιο με το ύψος των υπερκειμένων. Στην περίπτωση (α) ο εκμεταλλεύσιμος ορίζοντας που έχει πάχος 1,3m βρίσκεται σε βάθος 70m και η μέγιστη εδαφική υποχώρηση είναι 1m, με απότομη κατανομή των παραμορφώσεων.

Αν τώρα θεωρήσουμε την (β) περίπτωση (αυξημένο σημαντικά το πάχος των υπερκειμένων και ίσιο εύρος ανοίγματος), η εδαφική υποχώρηση είναι η ίδια, αλλά λόγω της γωνίας επίδρασης, αυτή εξαπλώνεται σε μεγάλη έκταση της επιφάνειας και οι εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις που είναι περίπου ίδιες, έχουν αμβλεία ανάπτυξη.

#### 2.2.4.4.4 ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

Το πάχος του ορίζοντα επίσης επηρεάζει τις εδαφικές υποχωρήσεις. Συνήθως χρησιμοποιείται ο λόγος εδαφική υποχώρηση / πάχος  $\times 100$ , που καλείται παράγοντας εδαφικής υποχώρησης, για να εκφραστεί η σχέση πάχους εκμεταλλεύσιμου ορίζοντα και μέγιστης υποχώρησης, η οποία δεν θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να είναι μεγαλύτερη του 90% λόγω επιπλήσματος των υλικών, δηλαδή της εκατοστιαίας αύξησης του όγκου μιας διαταραχθείσας βραχομάζας σε σχέση με τον όγκο που είχε πριν διαταραχθεί (π.χ. εξορυχθεί).



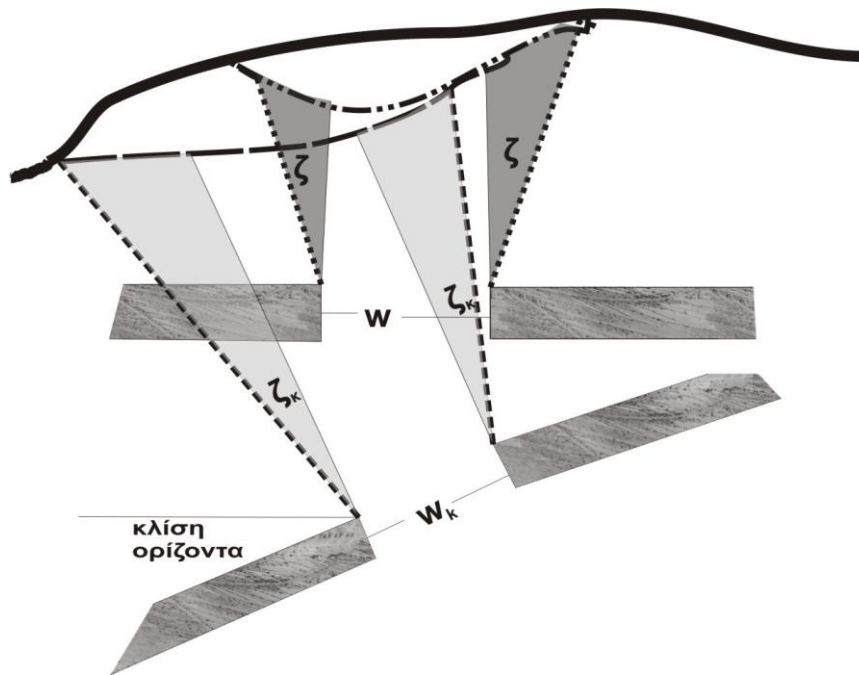
**Εικόνα 2.56** - Κατανομή των παραμορφώσεων σε ρηχή και βαθιά εκμετάλλευση.

#### 2.2.4.4.5 Η ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

Εξετάζοντας την περιοχή που επηρεάζεται στην επιφάνεια του εδάφους πρέπει να λάβουμε υπόψη και την κλίση του εκμεταλλεύσιμου ορίζοντα.

Η κλίση αυτή επηρεάζει τη γεωμετρία της γωνίας επίδρασης και έτσι προς την κατεύθυνση της κλίσης, η εδαφική υποχώρηση θα επεκτείνεται πολύ περισσότερο από ότι αν το στρώμα ήταν οριζόντιο (Εικόνα 2.57).

Πάντως, σε όλες τις περιπτώσεις η μέγιστη τιμή της εδαφικής υποχώρησης εκδηλώνεται κάθετα στο κέντρο του υπόγειου ανοίγματος.



**Εικόνα 2.57** - Επίδραση της κλίσης του εκμεταλλεύσιμου οριζοντα στην έκταση που επηρεάζεται στην επιφάνεια.

#### 2.2.4.4.6 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ Ο ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Η οροφή της στοάς εκμετάλλευσης καταρρέει όταν δεν υπάρχει ικανή υποστήριξη αυτής για να αντεπεξέλθει στις τάσεις που θα αναπτυχθούν. Στις περιπτώσεις όμως που είναι ανάγκη να μειωθεί η εδαφική υποχώρηση στην επιφάνεια, γιατί ο χώρος θα χρησιμοποιηθεί για τη θεμελίωση κάποιας σπουδαίας κατασκευής, υπάρχουν τρόποι για να μειωθεί σημαντικά ή και να μην εκδηλωθεί εδαφική υποχώρηση.

Ένας τρόπος, όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι η πλήρωση του χώρου με τα στεία υλικά που έχουν συσσωρευτεί κοντά στους κεντρικούς φριέδες. Τα υλικά αυτά πέρα από το ότι είναι πολλές φορές επικίνδυνα υλικά αλλά και δύσσομα, μπορεί να προκαλέσουν αστοχίες πρανών όπως κατολισθήσεις, ροές κλπ. Η μέθοδος αυτή, δηλαδή το στοίβασμα (stowage) των υλικών αυτών (φθινή μέθοδος) αρχικά γινόταν σε επιμήκεις σωρούς κάθετα στο μέτωπο και στη συνέχεια κάθετα και παράλληλα σε αυτό, αλλά και πάλι οι εδαφικές υποχωρήσεις δεν μειώθηκαν πέραν του 25% της ολικής (εδαφική υποχώρηση >75%).

Στη συνέχεια η μέθοδος μετεξελίχθηκε σε αυτήν της ολικής πλήρωσης με υλικά χωρίς επεξεργασία (solid stowage), που όμως απαιτεί την εξεύρεση πρόσθετων υλικών από άλλες θέσεις (ακριβή μέθοδος). Όμως και αυτή η μέθοδος ήταν χωρίς πολύ ουσιαστικά αποτελέσματα, αφού η εδαφική υποχώρηση μειώθηκε στο 60% της αρχικής.

Με στόχο την ουσιαστική μείωση των εδαφικών υποχωρήσεων, εφαρμόστηκε η μέθοδος κονιοποίησης και εισπίεσης του υλικού μέσα στα υπόγεια ανοίγματα με κατάλληλη πρέσα (pneumatic stowage). Η μέθοδος αυτή μειώνει τις εδαφικές υποχωρήσεις στο 50% των αρχικών αλλά είναι πολύ ακριβή.

#### **2.2.4.4.7 Ο ΠΑΡΑΓΩΝ ΧΡΟΝΟΣ**

Ο αρμόδιος γεωτεχνικός που μελετάει το έδαφος θεμελίωσης κατασκευών σε περιοχές με φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων, πρέπει να ξέρει πόσο θα πρέπει να περιμένει μετά την αρχική εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων, πριν προχωρήσει σε τελικούς σχεδιασμούς.

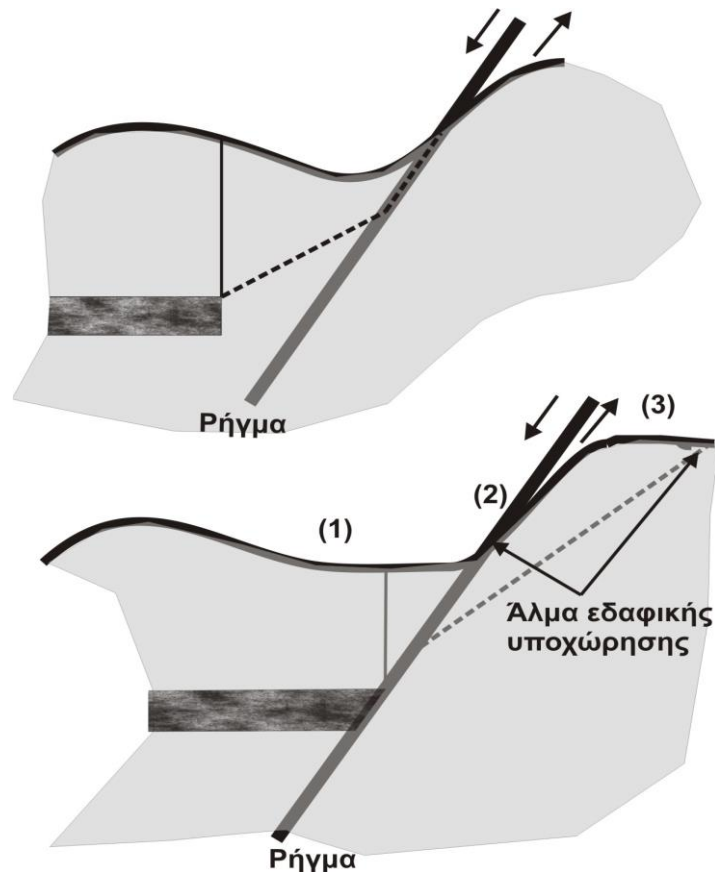
Η εμπειρία λέει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό μιας εδαφικής υποχώρησης εκδηλώνεται μέσα σε λίγες εβδομάδες, δηλαδή μέχρι το μέτωπο να περάσει από το χρόνο έρευνας, αλλά γενικά αυτή η εκδήλωση εξαρτάται από το βάθος εξόρυξης, το εύρος του χώρου υπόγειας δραστηριότητας, καθώς και την πρόοδο των εργασιών (ρυθμός προχώρησης). Ακόμη όμως και σε εκμεταλλεύσεις μικρού βάθους υπάρχει ένα μικρό ποσοστό εδαφικής υποχώρησης και εκδηλώνεται σε βάθος χρόνου.

#### **2.2.4.4.8 Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ**

Γενικά η κατανομή της παραμόρφωσης σε έδαφος που υφίσταται μια εδαφική υποχώρηση, αλλοιώνεται από την παρουσία ρηγμάτων. Αν για παράδειγμα μια εκμετάλλευση προχωρεί προς ένα ρήγμα, τότε όλη η παραμόρφωση αναπτύσσεται κατά μήκος του ρήγματος, πριν η υπόγεια διάνοιξη το προσεγγίσει. Όταν το συναντήσει η εδαφική υποχώρηση θα μεταφερθεί απότομα πίσω από το ρήγμα στη θέση που ορίζει η γωνία επίδρασης (Εικόνα 2.58).

Οι περισσότερες περιοχές όπου αναπτύσσονται υπόγειες εκμεταλλεύσεις βρίθουν ρηγμάτων ή/και μειζόνων διαρρήξεων, πολλές από τις οποίες ενεργοποιούνται ξανά με την προσέγγιση της υπόγειας εκμετάλλευσης. Έτσι οι γεωτεχνικοί θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικοί στην επιλογή των χώρων θεμελίωσης. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 2.58 η θέση (1) είναι η καλύτερη (σημειώνεται κατακόρυφη υποχώρηση), αντίθετα με τη θέση (2) όπου πιθανή είναι η διαφορετική υποχώρηση και τη θέση (3) όπου η απότομη μεταφορά της υποχώρησης δημιουργεί ταχείες παραμορφώσεις.

Διαρρήξεις και άλλων μορφών ασυνέχειες, μπορεί να επηρεαστούν από τη μεταλλευτική δραστηριότητα, καθώς αυξάνει το άνοιγμά τους κάτω από την επίδραση των εφελκυστικών τάσεων, με αποτέλεσμα την εκδήλωση στροφών έως και ανατροπών μεγάλου όγκου βραχωδών μαζών. Επιπρόσθετα, διευκολύνουν τη μετάδοση σε μεγάλη απόσταση μικροσεισμών που μπορεί σχετίζονται με τις εδαφικές υποχωρήσεις από μεταλλευτική δραστηριότητα. Τέτοιοι μικροσεισμοί έχουν παρατηρηθεί σε αρκετές περιοχές που σταματούν με την παύση της υπόγειας εκμετάλλευσης και επανεμφανίζονται όταν αυτή αρχίζει ξανά.



*Εικόνα 2.58 - Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης ρήγματος στις εδαφικές υποχωρήσεις.*

#### **2.2.4.4.9 Η ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ**

Οι εδαφικές υποχωρήσεις που φθάνουν στην επιφάνεια λόγω μεταλλευτικής δραστηριότητας, επηρεάζονται από τη γεωμηχανική συμπεριφορά των υπερκειμένων σχηματισμών και ειδικότερα αυτών που είναι κοντά στην επιφάνεια, καθώς και των επιφανειακών αποθέσεων. Η αντίδραση των επιφανειακών σχηματισμών στις εδαφικές υποχωρήσεις είναι γενικά απρόβλεπτη (Bell, 1981).

Οι ασυνέχειες στη βραχομάζα όπως ήδη έχει λεχθεί παίζουν σημαντικό ρόλο και συνεπώς το πόσο κερματισμένο είναι ένα πέτρωμα επηρεάζει την αντίδραση του στις υποχωρήσεις. Αν, για παράδειγμα, η απόσταση των ασυνεχειών μεγαλώνει όπως σε ένα μαζώδη ασβεστόλιθο (αραιή διάρρηξη), οι αντοχές αυξάνουν και οι κινήσεις συγκεντρώνονται στις θέσεις κύριων ασυνεχειών. Ακόμη φακοί συνεκτικότερων πετρωμάτων μέσα στη μάζα πιο μαλακών σχηματισμών (π.χ. ψαμμιτικοί φακοί μέσα σε σχιστόλιθο) τείνουν να ανυψωθούν από τις συμπιεστικές τάσεις με προφανή τα αποτελέσματα στις κατασκευές.

Γενικά τα πετρώματα πάνω από τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις μπορεί να είναι διαφορετικά από αυτό που φιλοξενεί τον εκμεταλλεύσιμο ορίζοντα και συνήθως έχει πλήρως διερευνηθεί. Αυτό επηρεάζει ορισμένους χαρακτηριστικούς δείκτες όπως π.χ. τη γωνία επίδρασης. Για παράδειγμα στην Αγγλία η γωνία επίδρασης είναι γενικά  $35^\circ$ , αλλά μπορεί για κάποια πετρώματα να φθάσει και μέχρι  $38^\circ$ , στην Πολωνία κυμαίνεται από  $50^\circ$  έως  $52^\circ$ , στην Ολλανδία είναι  $40^\circ$  -  $42^\circ$  και



στην Ελλάδα περίπου 45°. Συνεπώς, η γεωλογική – τεχνικογεωλογική έρευνα πρέπει να περιλάβει με λεπτομέρεια και τους υπερκείμενους της εκμετάλλευσης σχηματισμούς.

#### **2.2.4.4.10 ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ**

Σημαντικός παράγοντας που δημιουργηθεί πρόσθετα προβλήματα σε περίπτωση εδαφικών υποχωρήσεων είναι το καθεστώς του υπόγειου νερού. Αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ υψηλός (για παράδειγμα στα 2m βάθος) και οι αναμενόμενες εδαφικές υποχωρήσεις είναι αυτού του μεγέθους, τότε η περιοχή θα καταστεί ακατάλληλη για χρήση αφού θα πλημμυρίσει. Σε τέτοιες περιοχές πρέπει να περιοριστεί σημαντικά το μέγεθος των εδαφικών υποχωρήσεων. Επιπρόσθετα, η ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου, επιφέρει την πλήρωση των παλαιών εκμεταλλεύσεων και συνεπώς προκαλεί δραστικές μεταβολές στη φυσική κατάσταση σχηματισμών επιρρεπών σε διογκώσεις κλπ, όπως μερικές μάργες πλούσιες σε μοντοριλλονίτη. Οι μεταβολές αυτές επιταχύνουν την κατάρρευση των στοών και τη μετανάστευση του κενού στην επιφάνεια.

#### **2.2.4.5 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ**

##### **2.2.4.5.1 ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΑΛΑΤΩΡΥΧΕΙΩΝ ΣΤΗ ΠΟΛΗ NORTHWICH ΣΤΟ CHESHIRE ΒΔ ΑΓΓΛΙΑ**

Η περιοχή ήταν γνωστή από τη ρωμαϊκή περίοδο για τα κοιτάσματα ορυκτού άλατος. Το 1670 επαναδραστηριοποιήθηκε εξορυκτική βιομηχανία στην περιοχή. Η μείωση της τιμής του αλατιού στο τέλος του 18<sup>ου</sup> αιώνα κατέστησε ασύμφορη την εξόρυξη του αλατιού. Για τη λήψη του αλατιού οι στοές πλευρίζονταν με νερό και το αλάτι συγκεντρώνονταν από την αντλούμενη άλμη. Η διαδικασία αυτή κατέστρεψε τις στοές οδηγώντας στην εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων το 1880.



*Εικόνα 2.59* Εδαφική υποχώρηση στοών στη πόλη Northwich στο Cheshire ΒΔ Αγγλία.

#### 2.2.4.5.2 ΚΑΤΑΒΟΘΡΑ ΤΟΥ ΒΑΥΟΥ CORNE ΣΤΟ TEXAS

Η καταβόθρα του Βαυου Corne προκλήθηκε από την κατάρρευση του εγκοίλου που είχε διαμορφωθεί εντός άλατος κατά την εξόρυξή του από την Texas Brine Co. Το έγκοιλο είχε διαμορφωθεί καθώς για την εξόρυξη του άλατος διοχετεύονταν νερό εντός του δρόμου και αντλούταν άλμη. Η καταβόθρα ανακαλύφθηκε τον Αύγουστο του 2012 και οδήγησε στην εκκένωση 350 κατοικιών. Έχει βάθος το ελάχιστο 230m και τον Μάϊο του 2013 κάλυπτε έκταση 50.000m<sup>2</sup> ενώ τον Αύγουστο του 2013 είχε φτάσει τα 85.000 m<sup>2</sup>.



*Εικόνα 2.60- Καταβόθρα Βαυου Corne όπου δημιουργήθηκε από την κατάρρευση του εγκοίλου που είχε διαμορφωθεί εντός άλατος.*

#### 2.2.4.5.3 ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΑΝΘΡΑΚΩΡΥΧΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ SHERIDAN, WYOMING

Οι εδαφικές υποχωρήσεις παρατηρούνται πάνω από τις στοές του εγκαταλελημένου ορυχείου, που λειτούργησε μεταξύ 1904 και 1921, και εντοπίζεται 10 έως 15 km βόρεια του Sheridan. Το πάχος των υπερκειμένων εκτιμάται ότι είναι 10 έως 15 m. Η αστοχία των υποστρωμάτων από λιγνίτη εντός των στοών οδήγησε στην εκδήλωση του φαινομένου. Οι καταπτώσεις εμφανίζονται συνδεδεμένες με αυλάκια. Σε ορισμένες καταβόθρες ο πυθμένας είναι σφραγισμένος και συγκεντρώνει νερό.



*Εικόνα 2.61 - Εμφάνιση καταπτώσεων συνδεδεμένες με αυλάκια.*

## 2.2.4.6 ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

### 2.2.4.6.1 ΤΑ ΛΙΓΝΙΤΩΡΥΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝΘΟΥΠΟΛΗΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ

Στις 5 Νοεμβρίου 1933 ανακοινώνεται η ίδρυση της εταιρείας «Λιγνιτωρυχεία Αττικής Α.Ε.», με σκοπό την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων κάρβουνου στην περιοχή. Οι εξορύξεις άρχισαν δύο χρόνια μετά. Απασχολούνται 350-450 εργάτες που εργάζονται σε βάθος 80 και 100 μέτρων. Εξάγουν 100-150 τόνους λιγνίτη την ημέρα. Την περίοδο της Κατοχής 1941-1944 το λιγνιτωρυχείο πέρασε σε ιταλικά χέρια. Το απασχολούμενο προσωπικό ανεβαίνει στους 700 και αντίστοιχα η παραγωγή στους 200 με 250 τόνους την ημέρα. Λίγο πριν την αποχώρηση των κατακτητών, τον Αύγουστο του 1944, Έλληνες αγοράζουν το ορυχείο από τους Ιταλούς. Έτσι η επιχείρηση εμφανίζεται ως ελληνική κι όχι ως «εχθρική περιουσία». Το λιγνιτωρυχείο υπολειτουργεί για μικρό διάστημα. Απασχολούνται 60 με 140 εργάτες κι η παραγωγή είναι πολύ μικρή. Το Δεκέμβρη 1945, το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας αναλαμβάνει το ίδιο την εκμετάλλευση του λιγνιτωρυχείου. Το 1951 γίνεται δημοπράτηση και η επιχείρηση των λιγνιτωρυχείων μισθώνεται. Στο λιγνιτωρυχείο απασχολούνται 200 τώρα εργάτες και εξάγονται 25-30.000 τόνοι το χρόνο. Το 1952 η επιχείρηση ανοίγει νέο φρέαρ σε απόσταση μόλις 20-30 μέτρων από τα σπίτια της περιοχής της Ανθούπολης. Από το Σεπτέμβριο του 1953 σπίτια στην Ανθούπολη αρχίζουν να παρουσιάζουν ρωγμές εξ' αιτίας της διάνοιξης νέων στοών σε πολύ μικρό βάθος.

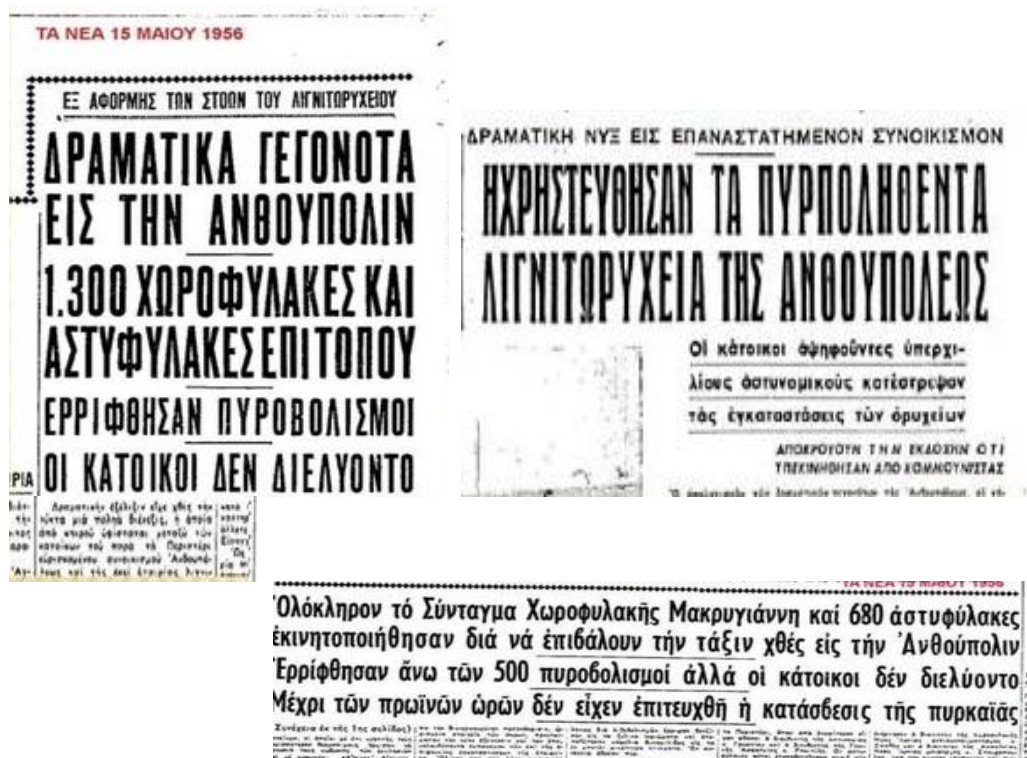
Στις 30 Οκτωβρίου καταρρέει η στοά Νο 5 με αποτέλεσμα έναν νεκρό και τρεις τραυματίες. Η επιχείρηση των λιγνιτωρυχείων συνεχίζει ανενόχλητη τις εργασίες διάνοιξης νέων στοών κάτω από την οικιστική περιοχή της Ανθούπολης. Στις 21 Νοεμβρίου 1955 εκδηλώνεται η πρώτη μαζική αντίδραση των κατοίκων της Ανθούπολης με μια μεγάλη διαδήλωση που διαλύεται από τη χωροφυλακή. Αιτία αυτής της κινητοποίησης ήταν η εμφάνιση γεωτρύπανων της εταιρείας Πρεζάνη στο κέντρο της πλατείας της Ανθούπολης προκειμένου να ανοίξει νέα πρόσβαση στις στοές που συνεχίζουν να εξαπλώνονται. Μήνα με το μήνα η κατάσταση χειροτερεύει. Τέσσερα σπίτια υφίστανται καθίζηση κι οι ένοικοί τους αναγκάζονται να μένουν στην ύπαιθρο. Πολλά άλλα σπίτια σε ολόκληρα οικοδομικά τετράγωνα παρουσιάζουν ρωγμές και απειλούνται με κατάρρευση. Οι στοές ανοίγονται σε βάθος μόλις 15 ακόμη και 12 μέτρων αντί των 50 τουλάχιστον, που ορίζουν οι κανονισμοί, για να μην υπάρχει κίνδυνος για τα σπίτια.

Στις 14 Μαΐου 1956 δυο ακόμα σπίτια υφίστανται καθίζηση. Οι κάτοικοι της Ανθούπολης αρχίζουν να συγκεντρώνονται σε μικρές ομάδες. Στις 10 το βράδυ οι καμπάνες της Αγίας Μαρίνας χτυπούν και καλούν τον κόσμο σε γενική κινητοποίηση. Συγκεντρώνονται περίπου 5 χιλιάδες. Οι αγανακτισμένοι κάτοικοι της Ανθούπολης κατευθύνονται στις εγκαταστάσεις των λιγνιτωρυχείων όπου βρίσκεται ο πύργος με τους ανελκυστήρες. Με πανιά ποτισμένα με πετρέλαιο πυρπολούν τις ξύλινες εγκαταστάσεις ενώ ανατινάζουν με δυναμίτη τα τσιμεντένια χτίσματα. Το λιγνιτωρυχείο δεν ξαναλειτούργησε!

( Ιστορικά στοιχεία (πηγή: «χρονικό του κάρβουνου» του Νίκου Θεοδοσίου) )



*Εικόνα 2.62 - Συγκέντρωση κατοίκων της Ανθούπολης οι οποίοι ἐπεπόλησαν τις εγκαταστάσεις των λιγνιτωρυχείων και συνάμα απεικονίζεται ένα σπίτι το οποίο υπέστη ρωγμές, όπου οφείλονται στη λειτουργία του λιγνιτωρυχείου.*



*Εικόνα 2.63 - Πρωτοσέλιδα εφημερίδων τα οποία αναφέρονται στα γεγονότα που συνέβησαν στα λιγνιτωρυχεία της Ανθούπολης.*

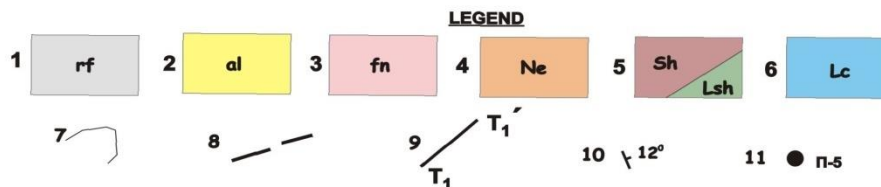
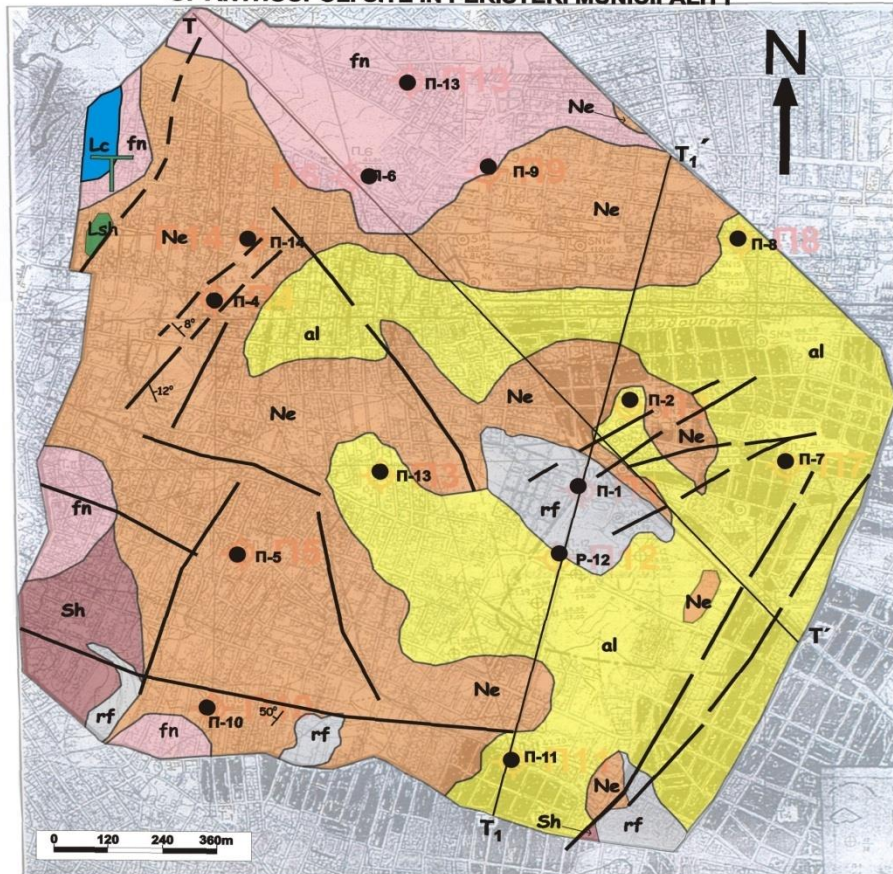
#### 2.2.4.6.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή της Ανθούπολης στο Περιστερί είναι γνωστός χώρος υπόγειας εκμετάλλευσης λιγνιτών, του λιγνιτικού πεδίου Περιστερίου – Καλογρέζας του λεκανοπεδίου Αθηνών.

Η περιοχή έρευνας, αποτελεί τμήμα της νεογενούς λεκάνης Περιστερίου – Καλογρέζας και έχει υποστεί σε μεγάλη έκτασή της, άναρχη εκμετάλλευση του λιγνιτικού πεδίου μέχρι και το 1955 σε τρία επίπεδα. Έτσι, έχουν σημειωθεί κατά το παρελθόν ή εξακολουθούν να σημειώνονται και σήμερα αστοχίες σε οικίες και άλλες κατασκευές. Οι αστοχίες αυτές είναι αποτέλεσμα των εδαφικών υποχωρήσεων που εκδηλώνονται στην περιοχή αυτή του δήμου Περιστερίου. Συνοπτικά, τα κύρια στοιχεία της περιοχής έχουν ως εξής (Ρόζος, κ.α. , 1998):

- Οι σχηματισμοί του υποβάθρου στην ευρύτερη περιοχή είναι τα Μεσαζωϊκής ηλικίας πετρώματα του Αιγάλεω (Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι και ασβεστόλιθοι της Πελαγονικής γεωτεκτονικής ζώνης). Τα πετρώματα αυτά καλύπτονται από νεογενή ιζήματα και τεταρτογενείς αποθέσεις, αλλά και επιχωματώσεις στην περιοχή (Εικόνα 2.64).
- Στα νεογενή ιζήματα φιλοξενούνται στρώματα του λιγνίτη, που δεν αποτελούν ενιαία στοιβάδα, αλλά επάλληλα στρώματα ποικίλου πάχους, που παρεμβάλλονται μέσα στις τενφρές μάργες. Η λιγνιτοφορία που υπέστη εκμετάλλευση περιορίστηκε σε βάθη μεταξύ 30m και 90m και γίνονταν σε τρία τουλάχιστον επίπεδα (Εικόνα 2.65).
- Δυστυχώς δεν είναι καταγεγραμμένες όλες οι υπόγειες εκμεταλλεύσεις, ενώ η λιθογόμωση που έγινε στην περιοχή που προέβλεπε σχετικός νόμος (N3643/27 28-12-56) και περιλαμβάνει κατά βάση το χώρο της κύριας εξορυκτικής δραστηριότητας, περιόρισε το πρόβλημα σε αυτόν, αλλά δεν το εξάλειψε πλήρως.
- Από τεκτονικής πλευράς, οι κύριες και παλαιότερες τεκτονικές γραμμές έχουν διεύθυνση ΒΑ/κή – ΝΔ/κή, ενώ ένα άλλο σύστημα ασυνεχειών που εμφανίζεται νεότερο, σημειώνεται επίσης στην ευρύτερη περιοχή με διεύθυνση ΒΔ/κή – ΝΑ/κή. Η τεκτονική αυτή, με ανάδραση μετά την ιζηματογένεση του λιγνιτοφόρου Μειόκαινου, έχει επηρεάσει τα νεογενή ιζήματα, που παρουσιάζονται διερρηγμένα με σχετικά πυκνό δίκτυο διακλάσεων, περιπλέκοντας τις στρωματογραφικές συνθήκες της λιγνιτοφόρου Αθηναϊκής λεκάνης.

**ENGINEERING GEOLOGICAL MAP  
OF ANTHOUPOLI SITE IN PERISTERI MUNICIPALITY**

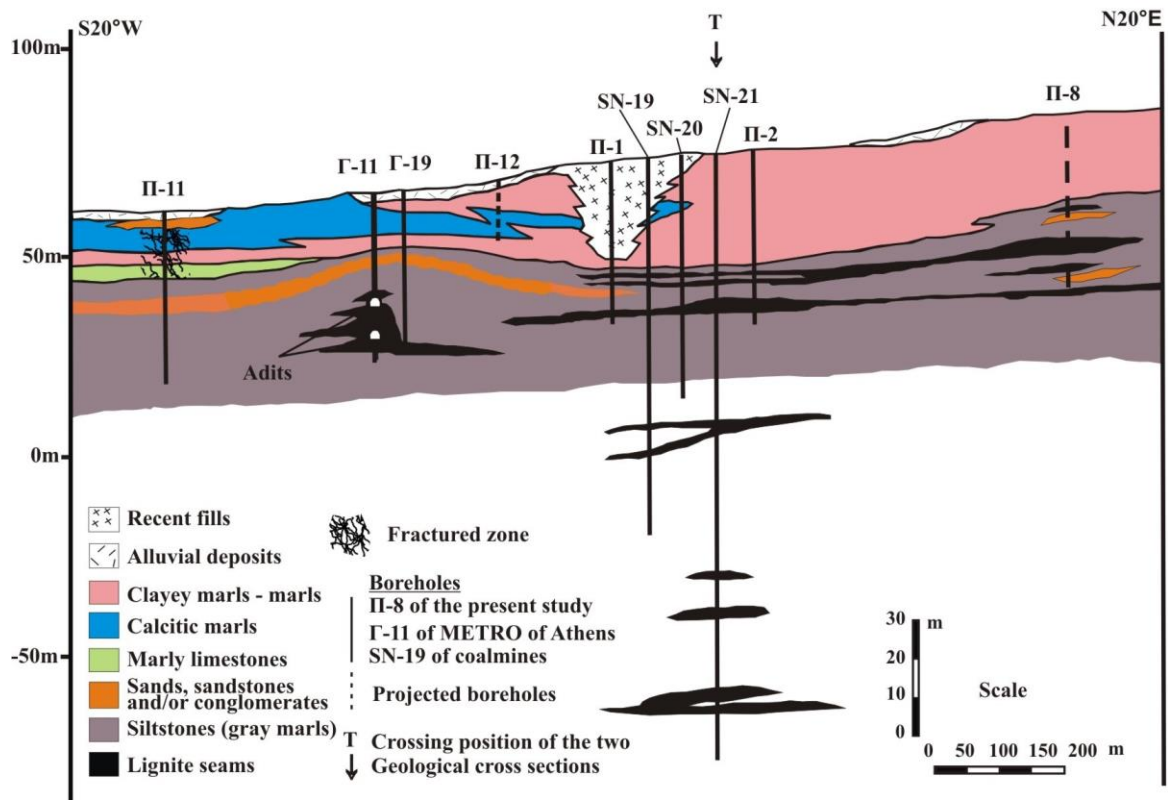


1. Επιχωματώσεις , 2. Αλλουβιακές αποθέσεις, 3. Ρυπιδιακές αποθέσεις, 4. Νεογενή ιζήματα,
5. Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι με ανθρακικά σώματα, 6. Ασβεστόλιθοι Αιγάλεω.

**Εικόνα 2.64** - Τεχνικογεωλογικός χάρτης Ανθούπολης.

Με την ανόρυξη 12 δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, με επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές δεν διαπιστώθηκε η παρουσία οριζόντων επιρρεπών σε διαφορετικές ή και άλλες μορφής καθιζήσεις. Εντούτοις, υπάρχουν αστοχίες σε κατασκευές, που είτε έχουν εκδηλωθεί κατά το παρελθόν, είτε εκδηλώνονται ακόμη και σήμερα, καθιστώντας πολύ περίπλοκο το περίπλοκο το πρόβλημα (Εικόνα 2.66). Εξάλλου, οι εκτεταμένες και παχιές επιχωματώσεις στο κέντρο του χώρου έρευνας, αλλά και περιφερειακά αυτού, επιβεβαιώνουν την παρουσία σοβαρών υπόγειων έργων στην περιοχή, για μέρος μόνο των οποίων έγινε λιθογόμωση.

ENGINEERING GEOLOGICAL CROSS SECTION T<sub>1</sub>-T<sub>1</sub>'



**Εικόνα 2.65** - Γεωλογική τομή στο χώρο εκμετάλλευσης του λιγνιτικού πεδίου στην Ανθούπολη Περιστερίου.

Από τα αποτελέσματα των επιτόπου δοκιμών πρότυπης διείδυσης (SPT), προκύπτει ότι οι οριζόντες των τεφρών μαργών – ασβεστιτικών μαργών, χαρακτηρίζονται ως πυκνοί έως πολύ πυκνοί σχηματισμοί, με επικράτηση των πολύ πυκνών. Εξάλλου, από τις επιτόπου δοκιμές υδροπερατότητας οι αλλουβιακές αποθέσεις χαρακτηρίζονται συνήθως σαν σχηματισμοί χαμηλής περατότητας, ενώ τα νεογενή ιζήματα χαρακτηρίζονται από ευρεία κύμανση του συντελεστή υδροπερατότητας (ανάλογα με τη σύσταση και τη φυσική κατάσταση) και έτσι εμφανίζουν από υψηλή έως χαμηλή περατότητα, ενώ τοπικά θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί.



**Εικόνα 2.66** - Αποψη διευρυνόμενης ρωγμής στην επαφή δύο διώροφων οικοδομών.

Στην περιοχή καταγράφονται αστοχίες σε κατασκευές, που είτε έχουν εκδηλωθεί κατά το παρελθόν, είτε εκδηλώνεται ακόμη και σήμερα, σαν αποτέλεσμα των εδαφικών υποχωρήσεων από την κατάρρευση των υπόγειων εκμεταλλεύσεων σε διαφορετικούς χρόνους.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΠΡΟΛΗΨΗ - ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**

Σε αυτό το κεφάλαιο προτείνονται πιθανά μέτρα αντιμετώπισης - πρόληψη του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων εκτός από περιπτώσεις που λόγω της σφοδρότητας του μη αντιστρέψιμου φαινομένου, καθίσταται αδύνατη η εφαρμογή τέτοιων μέτρων π.χ. Περιοχή Δυτικά του Ορυχείου Αμυνταίου, Ν. Φλώρινας (βλέπε 2.2.1.2.4) , σε αυτή την περίπτωση, ίσως η απομάκρυνση των οικισμών είναι η μόνη πιθανή λύση.

Για τους υπόλοιπους οικισμούς, στους οποίους δεν έχουν σημειωθεί ακόμα μεγάλη ταπείνωση του υδροφόρου και επομένως εμφάνισης μεγάλων υποχωρήσεων, κρίθηκε σκόπιμο να προταθούν μέτρα αντιμετώπισης και πρόληψης που αναφέρονται στη συνέχεια.

#### **3.1 ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ, ΚΙΝΑ**

Η υποχώρηση εδάφους στην Κίνα συμβαίνει σε πόλεις και βιομηχανικά συγκροτήματα που βρίσκονται κατά μήκος των παράκτιων πεδιάδων της ανατολικής Κίνας και στις αλλουβιακές πεδιάδες κατά μήκος των μεγάλων ποταμών. Τα νεαρά ιζήματα (Miocene ηλικία και νεότερος) είναι μη ενοποιημένα και διασκορπισμένα από λεπτόκοκκο πηλό και σχιστόλιθο. Η ανεξέλεγκτη απόσυρση νερού από αυτές τις περιοχές είχε ως αποτέλεσμα την εδαφική υποχώρηση που σημειώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Πριν από την υποχώρηση εδάφους μπορεί να δημιουργηθούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, οι μελέτες των ποσοστών και των ποσοτήτων απόσυρσης νερού (μαζί με τις αξιολογήσεις των μηχανισμών συμπίκνωσης και επαναφόρτισης των διαφόρων αποθεμάτων) οδήγησαν στην ανάπτυξη μέτρων ελέγχου. Εφόσον η πλειοψηφία της απόσυρσης νερού έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών (για βιομηχανική χρήση και ψύξη), επιβλήθηκαν αρκετοί κανονισμοί:

1. Η παραγωγή νερού για βιομηχανικούς σκοπούς περιοριζόταν μόνο στους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό, από μόνο του, μείωσε σημαντικά το ποσοστό εδαφικής υποχώρησης.
2. Κατά τους χειμερινούς μήνες, τα πηγάδια χρησιμοποιούνται για την τεχνητή επαναφόρτιση των υδροφορέων χρησιμοποιώντας επιφανειακά ύδατα που παγιδεύονται και εγχέονται.
3. Ένεση ψυχρών επιφανειακών υδάτων σε βαθύτερους υδροφορείς γλυκού νερού. Αυτό δροσίζει τα υπόγεια ύδατα και το καθιστά κατάλληλο ως βιομηχανικό νερό ψύξης τους καλοκαιρινούς μήνες.

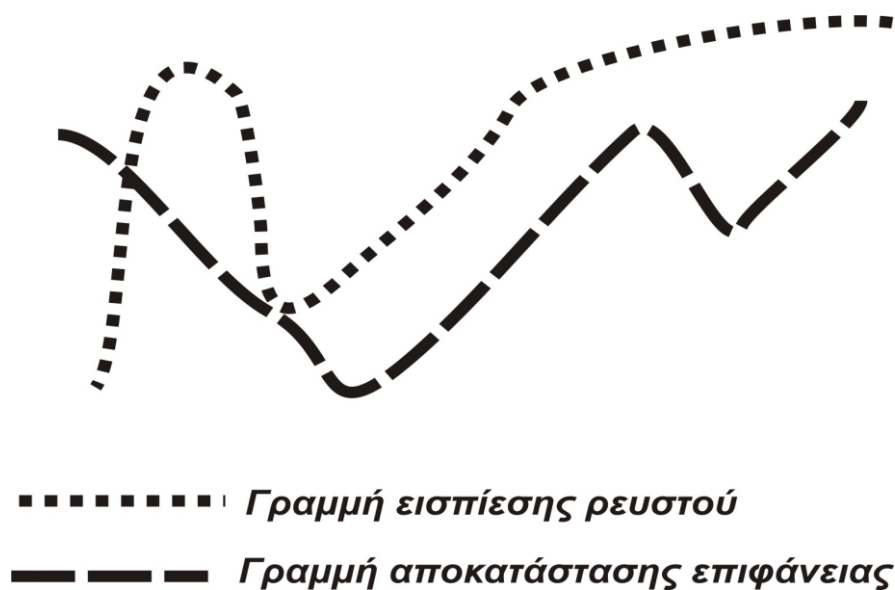
Αυτοί οι κανονισμοί, καθώς και περιορισμοί στα ποσοστά απόσυρσης, επέτρεψαν τη συνεχή χρήση των υπόγειων υδροφορέων για δημοτικούς και βιομηχανικούς σκοπούς με έλεγχο της υποχώρησης εδάφους (Guangxiao και Yiaogi, 1984).

#### **3.2 LONG BEACH, ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ**

Στο Long beach της Καλιφόρνια έχει σημειωθεί ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα εδαφικών υποχωρήσεων που οφείλεται στην άντληση πετρελαίου. Μετά την

έναρξη της άντλησης, σημειώθηκαν εδαφικές υποχωρήσεις αρκετών μέτρων, λόγω αύξησης των ενεργών τάσεων από την απομάκρυνση του ρευστού. Το πρόβλημα γινόταν συνεχώς εντονότερο και προκειμένου να σταθεροποιηθεί η κατάσταση που είχε ήδη διαμορφωθεί, η αρχική σκέψη ήταν να σταματήσουν αμέσως οι αντλήσεις. Αυτό όμως σχετίζονταν όπως είναι κατανοητό με σοβαρούς οικονομικούς λόγους. Παράλληλα όμως η περιοχή ήταν πλέον πολύ κοντά στο να πλημμυρίσει με το νερό της θάλασσας που είχε ήδη αρχίσει να εισρέει στο χώρο.

Έτσι αποφασίστηκε να εφαρμοστεί μια δαπανηρή λύση πριν προχωρήσουν στην κατασκευή αναχωμάτων. Η λύση αυτή που άρχισε περί τα τέλη της δεκαετίας του 50, ήταν η εισπίεση νερού μέσα στις γεωτρήσεις προκειμένου να καταλάβει τη θέση του πετρελαίου. Οι σχετικές μετρήσεις που έγιναν απέδειξαν ότι με αυτή τη διαδικασία αποκατάστασης η εδαφική ανύψωση δεν αντισταθμίζει ποτέ πλήρως την σημειωθείσα εδαφική υποχώρηση.



*Εικόνα 3.1 - Συσχέτιση γραμμής εισπίεσης νερού και αποκατάστασης επιφάνειας εδάφους.*

### 3.3 ΚΑΛΟΧΩΡΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν ο περιορισμός των αντλήσεων και η κατασκευή αναχώματος από το 1976, που προστατεύει το Καλοχώρι από την εισροή του θαλασσινού νερού. Το ανάχωμα αυτό συνεχώς ανυψώνεται, κάτι που υποδηλώνει ότι οι αντλήσεις δεν έχουν διακοπεί στην περιοχή, που σημειωτέον βρίθει βιομηχανιών.

Πέρα από το ανάχωμα, που είναι εφοδιασμένο και με αντλιοστάσιο προκειμένου τα νερά της βροχής το χειμώνα να οδηγούνται στη θάλασσα για να μην πλημμυρίσουν το Καλοχώρι, οι εδαφικές υποχωρήσεις, είναι εμφανείς στο χωριό όπου υπόγεια σπιτιών έχουν εξαφανισθεί, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή από δίκτυα όπως του Ο.Τ.Ε. Στην Εικόνα διακρίνονται κολώνες του Ο.Τ.Ε. αλλά και κατασκευές στην παραλία του Καλοχωρίου να βρίσκονται πλέον μέσα στο νερό.



*Εικόνα 3.2 - Η πλημμυρισμένη παράκτια ζώνη κοντά στις εκβολές του Γαλλικού.*

### **3.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

Οι συνιστώσες μετακίνησης μια εδαφικής υποχώρησης είναι δύο:

(α) μια πλευρική και

(β) μια κατακόρυφη από την οποία υποφέρουν περισσότερο οι πάσης φύσεως αγωγοί (νερού, αποχέτευσης, κλπ), τα ποτάμια, τα γραμμικά έργα κλπ.

Εξ άλλου, οι εφελκυστικές τάσεις σπάνε τους αγωγούς, ενώ οι συμπιεστικές τους συνθλίβουν. Για τις κτιριακές εγκαταστάσεις υπάρχει ενδεχόμενο να κλίνουν προς κάποια κατεύθυνση, όταν η εδαφική υποχώρηση είναι μεγαλύτερη από τη μια πλευρά του κτηρίου.

Γενικά, τα προβλήματα προστασίας κατασκευών από εδαφικές υποχωρήσεις που προκύπτουν από υπόγεια έργα που έχουν διαμορφωθεί με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων είναι πολύ πιο δύσκολο να προβλεφθούν και να υπολογιστούν από ότι στις περιπτώσεις που η διάνοιξη έχει γίνει με τη μέθοδο επιμήκους μετώπου (long wall techniques), οι οποίες συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης ή και αμέσως μετά από αυτήν.

Σε κάθε πάντως περίπτωση αναγκαία είναι σε πρώτη φάση ή εκτέλεση γεωτεχνικής και γεωφυσικής έρευνας για τον πλήρη εάν είναι δυνατόν εντοπισμό των στοών. Έτσι ελέγχονται οι αντοχές των σχηματισμών που φιλοξενούν τη εκμετάλλευση αλλά και οι υπερκείμενοι αυτών, το βάθος των εκμεταλλεύσεων, η παρουσία νερού σε αυτές, κλπ.

Συνεπώς για την προστασία των κατασκευών επισημαίνονται τα ακόλουθα μέτρα που πρέπει να εφαρμόζονται:

#### **A. ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

A1. Αρχικά θα πρέπει να γίνει πλήρης απογραφή των κατασκευών με σοβαρά προβλήματα για να διαπιστωθεί η επικινδυνότητά τους από στατικής πλευράς.

A2. Η έρευνα αυτή θα πρέπει να επαναλαμβάνεται περιοδικά σε όλη την περιοχή των επικίνδυνων ζωνών, αφού τα φαινόμενα είναι σε δυναμική εξέλιξη και πιθανότατα θα συνεχισθούν και στο μέλλον, και επομένως η πιθανότητα να εμφανισθούν ζημιές και σε άλλες κατοικίες είναι μεγάλη.

A3. Σε σοβαρές περιπτώσεις που θα προκύψουν από την καταγραφή αυτή, κρίνεται σκόπιμος ο έλεγχος των συνθηκών θεμελίωσης κατά περίπτωση, έτσι ώστε να προκύψει η καταλληλότερη μέθοδος ενίσχυσής της (π.χ. περιμετρική ενίσχυση της θεμελίωσης).

A4. Ακόμη πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι κινήσεις μιας κατασκευής είναι σπάνια ομοιόμορφες. Άρα αναγκαίος ο έλεγχος των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων.

A5. Αν δεν έχει γίνει ακόμα εκμετάλλευση τότε καλόν είναι να αποφεύγονται είτε η μερική εκμετάλλευση (partial extraction) του ορίζοντα ενδιαφέροντος είτε η εκμετάλλευση τμήματος αυτού (sterilization) κάτω από σημαντική κατασκευή.

A6. Ένα γενικό μέτρο που θα πρέπει να εφαρμόζεται για τις υπάρχουσες κατασκευές αλλά και για τις μελλοντικές είναι η λιθογόμωση των υπόγειων εκμεταλλεύσεων με ενέματα διαφόρων συστατικών όπως άμμου - τσιμέντου, τσιμέντου – άμμου – ιπτάμενης τέφρας, κονιοποιημένων στείρων υλικών και τσιμέντου, κλπ. Γενικά ανά διαστήματα τοποθετούνται (με ανόρυξη διατηρημάτων κατάλληλης διαμέτρου από την επιφάνεια) φράγματα από χάλικες με ενίσχυση από ένεμα τσιμέντου προκειμένου να προφυλάξουν το κύριο υλικό πλήρωσης από ανεπιθύμητες διαφυγές.

A7. Οι γύρω από τις κατασκευές πλακοστρωμένοι ή και καλυμμένοι με μπετόν χώροι, θα πρέπει να μην εφάπτονται με τα κτίσματα, ώστε να μειωθεί η δραστική επιφάνεια και επομένως η τρωτότητά από τις επιφανειακές εδαφικές κινήσεις.

A8. Κατασκευαστικά κενά θα πρέπει να στις μεγάλου μήκους τοιχοποιίες, ή να δημιουργηθούν στις παλαιές σε τακτές αποστάσεις, αφού σε αντίθετη περίπτωση και οι πιο μικρές εδαφικές παραμορφώσεις μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές.

## **B. ΓΙΑ ΤΙΣ ΝΕΕΣ (ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ) ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

B1. Για την πρόληψη των ζημιών, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η δυναμική των εδαφικών υποχωρήσεων που είναι δυνατόν να εκδηλώσει αστοχίες μελλοντικά στην επιφάνεια. Η αντιμετώπιση των εδαφικών υποχωρήσεων σε νέες κατασκευές θα πρέπει να βασίζεται στο ότι οι ζημιές δεν συνδέονται μόνο με την ένταση και την έκταση των εδαφικών παραμορφώσεων, που όπως αναφέρθηκε, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, αλλά και με το σχήμα και το μέγεθος της κατασκευής.

B2. Οι επιμήκεις κατασκευές θα πρέπει να αποφεύγονται, εκτός και αν ο μεγάλος άξονας αυτών προσανατολίζεται κάθετα στην διεύθυνση της κύριας εδαφικής παραμόρφωσης.

B3. Καθώς κτίρια με βαθιά θεμελίωση υφίστανται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό τις συνέπειες των εδαφικών υποχωρήσεων από εκείνα που είναι θεμελιωμένα επιφανειακά και με όσο το δυνατόν λιγότερη εξάρτηση από το έδαφος, οι θεμελιώσεις θα πρέπει να είναι ρηχές.

B4. Προτιμότερες οι θεμελιώσεις με πλατφόρμα (κοιτόστρωση) ειδικού σχεδιασμού (εύκαμπτη κατασκευή). Από πλευράς βάθους, οι πλατφόρμες θεμελίωσης πρέπει να είναι όσο

το δυνατόν ρηχές, (προτιμότερο στην επιφάνεια του εδάφους) μετά από σχετική εξυγίανση και με επίστρωση από κοκκώδη υλικά μεταξύ αυτών και του εδάφους για τη μείωση των τριβών.

Ειδικότερα:

- Οι κατασκευές πρέπει να είναι εντελώς άκαμπτες ή εντελώς εύκαμπτες.
- Η θεμελίωση με (αβαθή) ρηχή κοιτόστρωση.
- Οι μεγαλύτερες κατασκευές θα πρέπει να διαιρούνται σε ανεξάρτητες μονάδες. Το εύρος των κενών να υπολογίζεται σύμφωνα με την εδαφική παραμόρφωση που αναμένεται (με βάση το ότι η οριζόντια παραμόρφωση είναι περίπου το 1% του μήκους της κατασκευής).
- Τα μικρά κτίρια πρέπει να μένουν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Ο τυπικός σχεδιασμός θεμελίωσης με κοιτόστρωση (ελαφριάς και αβαθούς) για μία κατοικία, όπως προτείνεται βιβλιογραφικά, θα πρέπει να περιλαμβάνει:

α) Μία στρώση 150mm από συμπυκνωμένη άμμο ή άλλο κατάλληλο κοκκώδες υλικό στην επιφάνεια του εδάφους.

β) Κατάλληλη γεωμεμβράνη τοποθετείται πάνω στο κοκκώδες υπόστρωμα για να ενεργεί σαν επιφάνεια ολίσθησης.

γ) Πάνω σε αυτήν τοποθετείται πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, με εφελκυστική αντοχή που να αντέχει σε δύναμη ίση με  $w$  (εύρος υπόγειου ανοίγματος)/2 x το συντελεστή τριβής μεταξύ της πλάκας και του υποκείμενου κοκκώδους υλικού.

Ο σχεδιασμός της κατασκευής γενικά πρέπει να επιτρέπει την αντίσταση της ανωδομής στην κίνηση π.χ. τα παράθυρα και οι πόρτες να τοποθετούνται έτσι που να μην επιτρέπουν τη μείωση της αντοχής των τοίχων. Ακόμα πρέπει να χρησιμοποιείται ασβεστοκονίαμα αντί για τσιμεντοκονίαμα για την τοιχοποιία, που επιτρέπει την κίνηση μεταξύ των αρμών, για την αποφυγή δημιουργίας κατασκευαστικών κενών.

Για τις γέφυρες, μια καλή λύση είναι η συνδυασμένη χρήση συστημάτων ανύψωσης (jacking systems) μεταξύ σώματος – βάθρων και αρμών (joints) στο σώμα αυτής.

Για τους δρόμους κατάλληλη λύση είναι η ευκαμψία και επομένως ενδείκνυται η χρήση βιτουμένιων αντί τσιμέντου, ενώ για τους αγωγούς το μυστικό είναι η χρήση τηλεσκοπικών συνδέσεων για να απορροφούν τις παραμορφώσεις και η χρήση εύκαμπτων υλικών για τις διαφορικές μετακινήσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ

Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες μέθοδοι για την παρακολούθηση των εδαφικών υποχωρήσεων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στα παραπάνω παραδείγματα ( Κεφάλαιο 2 – Μελέτη Περιπτώσεων ) για την επίλυση των εδαφικών υποχωρήσεων.

Πιο αναλυτικά:

#### ❖ Interferometry

Η μέθοδος Interferometry είναι μια μέθοδος μέτρησης που χρησιμοποιεί το φαινόμενο της παρεμβολής των κυμάτων (συνήθως φως, ραδιόφωνο ή ηχητικά κύματα). Οι μετρήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν ορισμένα χαρακτηριστικά των ίδιων των κυμάτων και τα υλικά με τα οποία αλληλεπιδρούν τα κύματα. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις τεχνικές που χρησιμοποιούν φωτεινά κύματα για να περιγράψει τις τεχνικές που χρησιμοποιούν φωτεινά κύματα για τη μελέτη των αλλαγών στην μετατόπιση.

#### ❖ Landsat TM

Η εικόνα Landsat TM αναφέρεται σε δορυφορικές εικόνες μέσης ακρίβειας που χρησιμοποιήσαν για να καταγράψουν την μετατόπιση. Γενικώς, η Γεωπληροφορική και η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται πολύ για να δείξουν τις μεταβολές.

#### ❖ L-band Synthetic Aperture (ALOS / PALSAR)

Προηγμένο Δορυφορικό Παρατηρητήριο εδάφους / Ραντάρ συνθετικού διαφράγματος τύπου L-band Synthetic Aperture (ALOS / PALSAR).

#### ❖ Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)

Είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος μέτρησης των αλλαγών στο υψόμετρο της επιφάνειας του εδάφους. Το InSAR πραγματοποιεί μετρήσεις υψηλής πυκνότητας σε μεγάλες περιοχές χρησιμοποιώντας σήματα ραντάρ από δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη για να μετρήσει τις αλλαγές στο υψόμετρο της επιφάνειας της γης σε υψηλούς βαθμούς ανάλυσης μέτρησης και χωρικής λεπτομέρειας (Galloway et al. 2000).

#### ❖ SAR

Εικόνες διαφορικού συμβολομεγελμού που προέρχονται από τα συστήματα διαστημικού ανοίγματος (SAR) επαναλαμβανόμενης διέγερσης δίνουν τη δυνατότητα χαρτογράφησης

επιφανειακών παραμορφώσεων μικρής χωρικής έκτασης και παρακολούθησης της χωρο-χρονικής εξέλιξής τους.

❖ Global Positioning System (GPS)

Το όργανο που μετράμε συντεταγμένες καθώς και υψομετρικές μεταβολές με ακρίβεια. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις συνηθίζεται να μένει σταθερό σε μια θέση για πολλά χρόνια και έτσι παίρνοντας τα αποτελέσματα μπορούμε να τα συγκρίνουμε και να δούμε πιθανές εδαφικές αλλοιώσεις (συνήθως καθιζήσεις).

❖ WGS '84

Είναι το παγκόσμιο προβολικό σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιεί και το Google Earth.

❖ Mw

Το μέγεθος μέτρησης ενός μεγάλου σεισμού.

❖ SLR

Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας (Sea Level Rise).

❖ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Τοπογραφική σκιασμένη ανάγλυφη εικόνα που δημιουργήθηκε από τα δεδομένα 3-τόξων Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το φαινόμενο της εδαφικής υποχώρησης, δηλαδή ο υποβιβασμός της επιφάνειας του εδάφους λόγω αλλαγών είτε στη στάθμη κάποιου υπόγειου ρευστού (υποβιβασμός στάθμης νερού, πετρελαίου) είτε στη μεταβολή της αντοχής του εδάφους, λόγω αφαίρεσης της υποστήριξης αυτού σε συγκεκριμένη θέση.

Με βάση την περιγραφή αυτή, οι εδαφικές υποχωρήσεις (Subsidence) διαφοροποιούνται από τις καθιζήσεις (Settlements) ή την συμπίεστικότητα των αργίλων (consolidation of clays), καθώς σε αυτή την περίπτωση αναφερόμεθα σε προβλήματα επιβολής πρόσθετης (εξωτερικής) φόρτισης.

Αρχικά, μελετήθηκαν τα αίτια ( 1. η αφαίρεση ρευστών από το έδαφος και η στερεοποίηση λόγω μεταβολής του γεωστατικού πεδίου των τάσεων, 2. η οξείδωση οργανικών εδαφών ως συνέπεια του υποβιβασμού της στάθμης των υδροφόρων, 3. η κατάρρευση διαβρωσιγενών κοιλοτήτων, κυρίως σε εβαποριτικούς και δευτερευόντως ανθρακικούς σχηματισμούς, λόγω προοδευτικής διάβρωσης, είτε λόγω αύξησης των φορτίσεων της οροφής, 4. η κατάρρευση ανθρωπογενών κοιλοτήτων (π.χ. στοές, θάλαμοι μεταλλείων, θύλακες υδρογονανθράκων κ.α.) ), που εκδηλώθηκαν οι εδαφικές υποχωρήσεις με μια σειρά ποικίλων - σημαντικών παραδειγμάτων δηλαδή από τον ελλαδικό χώρο ( Καλοχώρι Θεσσαλονίκης, Παράκτια Ζώνη Ν. Φαλήρου – Μοσχάτου – Καλλιθέας, Ν. Αττικής, Χάλκη, Γλαύκη, Μελιά, Φάρσαλα, Σταυρός, Άγιος Γεώργιος κ.ά. ) και από το εξωτερικό ( Μεξικό, Αγγλία, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής κ.ά. ), με την κυριότερη αιτία υποχώρησης να είναι η αφαίρεση ρευστών από το έδαφος και η στερεοποίηση λόγω μεταβολής του γεωστατικού πεδίου των τάσεων που οφείλεται στην πτώση του υδροφόρου ορίζοντα από υπεράντληση.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται πιθανά μέτρα αντιμετώπισης - πρόληψη του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων ενδεικτικά (εισπίεση νερού μέσα στις γεωτρήσεις προκειμένου να καταλάβει τη θέση του πετρελαίου, ο περιορισμός των αντλήσεων και η κατασκευή αναχώματος, προστασία κατασκευών κ.ά. ) και ολοκληρώνοντας, αναλύονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος (όπως Interferometry, Landsat TM, Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), Global Positioning System (GPS) κ.ά. ).



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

- [1] Σημειώσεις διαλέξεων μαθήματος "Τεχνική Γεωλογία Ι " (2013-2014), Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ
- [2] Σημειώσεις "Τεχνικής Γεωλογίας Ι " (2007), Δ. Ρόζος, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

### **ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ**

- [3] Land subsidence in Bangkok, Thailand  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795205002693>)
- [4] Eustacy and land subsidence in the Venice Lagoon at the beginning of the new millennium (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924796304001939>)
- [5] GPS-measured land subsidence in Ojiya city, Niigata prefecture, Japan  
([https://www.researchgate.net/publication/238378499\\_GPS-measured\\_land\\_subsidence\\_in\\_Ojiya\\_City\\_Niigata\\_Prefecture\\_Japan](https://www.researchgate.net/publication/238378499_GPS-measured_land_subsidence_in_Ojiya_City_Niigata_Prefecture_Japan))
- [6] Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the mekong Delta, Vietnam  
(<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/8/084010/meta>)
- [7] Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, leveling and GPS (<https://academic.oup.com/gji/article/168/2/518/687761>)
- [8] Long-term land subsidence and strata compression in Changzhou, China  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795208002317>)
- [9] Coseismic and pre-seismic subsidence associated with great earthquakes in Alaska  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0277379105002568>)
- [10] Land subsidence and caprock dolines caused by subsurface gypsum dissolution and the effect of subsidence on the fluvial system in the Upper Tigris Basin (between Bismil–Batman, Turkey)  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X05001455>)
- [11] Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain, China  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795215001362>)
- [12] Three years of mining subsidence monitored by SAR interferometry, near Gardanne, France (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926985199000324>)

[13] Assessments of land subsidence in the Gippsland Basin of Australia using ALOS PALSAR data  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425714004866>)

[14] Water Aquifer Subsidence  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780884154303500252>)

[15] Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)  
Galloway DL, Jones DR, Ingebritsen SE (2000b) Measuring land subsidence from space. USGS Fact Sheet 051-00. ( <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-051-00/>)

[16] ALOS  
Xiong, Siting & Muller, J.-P & Li, Gang. (2017). The application of ALOS/PALSAR InSAR to measure subsurface penetration depths in deserts. Remote Sensing. 9. 638. 10.3390/rs9060638.

## **EΙΚΟΝΕΣ**

[1] **Εικόνα 1.1** - Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αύξησης της φόρτισης του εδάφους με τον υποβιβασμό του υδροφόρου ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).

[2] **Εικόνα 1.2** - Εδαφική διάρρηξη.  
( Κ. Λουπασάκης: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).

[3] **Εικόνα 1.3** - Αστοχία κτιρίου.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpiahs.copernicus.org%2Farticles%2F382%2F321%2F2020%2F&psig=AOvVaw395HfGNdCj29bZFm0x6pAM&ust=1597919326980000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJCtpsSHp-sCFQAAAAAdAAAAABAE.>)

[4] **Εικόνα 1.4** - Καταστροφή σε έργο οδοποιΐας.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpiahs.copernicus.org%2Farticles%2F382%2F321%2F2020%2Fpiahs-382-321-2020.html&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIXIMh\\_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPiF2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAD.](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpiahs.copernicus.org%2Farticles%2F382%2F321%2F2020%2Fpiahs-382-321-2020.html&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIXIMh_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPiF2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAD.))

[5] **Εικόνα 1.5** - Καταστροφή υδρογεωτρήσεων.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpiahs.copernicus.org%2Farticles%2F382%2F321%2F2020%2Fpiahs-382-321->

2020.html&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIXIMh\_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPiF2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAD).

[6] **Εικόνα 2.1** - Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αύξησης της φόρτισης του εδάφους με τον υποβιβασμό του υδροφόρου ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).

[7] **Εικόνα 2.2** - Κατηγορίες εδαφικών υποχωρήσεων.  
( [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wiki\\_Image\\_Rev1.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wiki_Image_Rev1.svg) )

[8] **Εικόνα 2.3** - Ναός της Basilica of Our Lady στην Γουαδελούπη.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fenacademic.com%2Fdic.nsf%2Fenwiki%2F51327&psig=AOvVaw1JHTdnXg7FL8dA1k\\_XSYzE&ust=1597398150984000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCIjmoYfyl-sCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fenacademic.com%2Fdic.nsf%2Fenwiki%2F51327&psig=AOvVaw1JHTdnXg7FL8dA1k_XSYzE&ust=1597398150984000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCIjmoYfyl-sCFQAAAAAdAAAAABAD))

[9] **Εικόνα 2.4** - Εδαφικές διαρρήξεις σε περιοχή της Αριζόνας ( Κ. Λουπασάκης: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).

[10] **Εικόνα 2.5** - Υποχώρηση εδάφους στην κοιλάδα του San Joaquin στην California.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ftwitter.com%2Fmmcpbate%2Fstatus%2F1005980186326847488&psig=AOvVaw0n-1fQrq0XnBvjpP7TRVdy&ust=1597399705552000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJCu\\_\\_z3l-sCFQAAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ftwitter.com%2Fmmcpbate%2Fstatus%2F1005980186326847488&psig=AOvVaw0n-1fQrq0XnBvjpP7TRVdy&ust=1597399705552000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJCu__z3l-sCFQAAAAAdAAAAABAJ))

[11] **Εικόνα 2.6** - Αντλίες σε πάρκο του Long Beach ( Κ. Λουπασάκης: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).

[12] **Εικόνα 2.7** - Παραγωγικές γεωτρήσεις ανορυγμένες από νησί κοντά στην ακτή ( Κ. Λουπασάκης: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).

[13] **Εικόνα 2.8** - Βύθισμα 9 μέτρα γύρω από το λιμάνι του Long Beach και κατά μήκος της ακτογραμμής της πόλης ( Κ. Λουπασάκης: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).

[14] **Εικόνα 2.9** - Ζημιές που προκλήθηκαν από εδαφικές υποχωρήσεις του εδάφους στην Μπανγκόκ.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0013795205002693&psig=AOvVaw0nvPBMHt5yJ\\_sBLCUNWXBh&ust=1597399861352000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCNjj57P4l-sCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0013795205002693&psig=AOvVaw0nvPBMHt5yJ_sBLCUNWXBh&ust=1597399861352000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCNjj57P4l-sCFQAAAAAdAAAAABAD) )

[15] **Εικόνα 2.10** - ( <https://academic.oup.com/gji/article/168/2/518/687761>)

[16] **Εικόνα 2.11** - ( <https://academic.oup.com/gji/article/168/2/518/687761>)

[17] **Εικόνα 2.12** - Χαρακτηριστικό βύθισμα στην περιοχή του λιγνιτικού κοιτάσματος στην περιοχή Κυπαρίσσια της Μεγαλόπολης ( Δ .Ρόζος: “Εγχειρίδιο Τεχνικής Γεωλογίας Ι. Κατολισθήσεις -Εδαφικές Υποχωρήσεις - Καθιζήσεις” ).

[18] **Εικόνα 2.13** - Περιοχή Καλοχωρίου, Ν. Θεσσαλονίκης.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fqj.egh.lyellcollection.org%2Fcontent%2F42%2F3%2F369%2Ftab-figures-data&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIXIMh\\_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPiF2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAR](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fqj.egh.lyellcollection.org%2Fcontent%2F42%2F3%2F369%2Ftab-figures-data&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIXIMh_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPiF2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAR)).

[19] **Εικόνα 2.14** - Περιοχή Καλοχωρίου αριστερά το έτος 1945 και δεξιά το έτος 1973 , Ν. Θεσσαλονίκης.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fqj.egh.lyellcollection.org%2Fcontent%2F42%2F3%2F369%2Ftab-figures-data&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIXIMh\\_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPiF2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAX](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fqj.egh.lyellcollection.org%2Fcontent%2F42%2F3%2F369%2Ftab-figures-data&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIXIMh_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPiF2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAX))

[20] **Εικόνα 2.15** - Καταστροφή υδρογεωτρήσεων στη Περιοχή Καλοχωρίου, Ν. Θεσσαλονίκης.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fqj.egh.lyellcollection.org%2Fcontent%2F42%2F3%2F369%2Ftab-figures-data&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIXIMh\\_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPiF2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAd](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fqj.egh.lyellcollection.org%2Fcontent%2F42%2F3%2F369%2Ftab-figures-data&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIXIMh_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPiF2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAd)).

[21] **Εικόνα 2.16** - Περιοχή Καλοχωρίου, Ν. Θεσσαλονίκης.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpiahs.copernicus.org%2Farticles%2F382%2F321%2F2020%2Fpiahs-382-321-2020.html&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIIXIMh\\_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPIf2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpiahs.copernicus.org%2Farticles%2F382%2F321%2F2020%2Fpiahs-382-321-2020.html&psig=AOvVaw0suth8JL3InWbIIIXIMh_NR&ust=1597398565294000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPIf2Mfzl-sCFQAAAAAdAAAAABAD))

[22] **Εικόνα 2.17** - Υποβιβασμός του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή Καλοχωρίου ( Andronopoulos et. al. , 1991 ).

[23] **Εικόνα 2.18** - Η ανύψωση τμήματος ποτίστρας και η αποκοπή του από το υπόλοιπο τμήμα λόγω των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Καλοχωρίου Θεσσαλονίκης. ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).

[24] **Εικόνα 2.19** - Ίχνη διαρρήξεων των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Περαιάς, Ν. Θεσσαλονίκης.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.semanticscholar.org%2Fpaper%2FBasin-and-local-scale-detection-of-ground-through-Raspini-Loupasakis%2Ff38a67850c731ceb2985905fa1ff475844962809&psig=AOvVaw1BJdGZ9iTAg1ZV-QWWG2Hg&ust=1597425840406000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCLCmw5XZmOsCFQAAAAAdAAAAABAE>)

[25] **Εικόνα 2.20** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Βαλτόνερα.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpiahs.copernicus.org%2Farticles%2F382%2F321%2F2020%2F&psig=AOvVaw395HfGNdCj29bZfM0x6pAM&ust=1597919326980000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJCtpsSHp-sCFQAAAAAdAAAAABAE>)

[26] **Εικόνα 2.21** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Βαλτόνερα ( Κ. Λουπασάκης: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).

[27] **Εικόνα 2.22** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Βαλτόνερα.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fikee.lib.auth.gr%2Frecord%2F284112%2Ffiles%2FGRI-2016->

17091.pdf&psig=AOvVaw1tFjlsD5Af7YII2iEgIWZK&ust=1597399321981000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCNjxs632l-sCFQAAAAAdAAAAABAF)

[28] **Εικόνα 2.23** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Βαλτόνερα.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FDamages-recorded-at-the-Valtonera-village-due-to-land-subsidence-a-Residential-building\\_fig3\\_263119128&psig=AOvVaw3mwWXTomcvhQOyG7RU7zMC&ust=1597425717889000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCKC-wOHYmOsCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FDamages-recorded-at-the-Valtonera-village-due-to-land-subsidence-a-Residential-building_fig3_263119128&psig=AOvVaw3mwWXTomcvhQOyG7RU7zMC&ust=1597425717889000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCKC-wOHYmOsCFQAAAAAdAAAAABAD))

[29] **Εικόνα 2.24** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Βαλτόνερα.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FDamages-recorded-at-the-Valtonera-village-due-to-land-subsidence-a-Residential-building\\_fig3\\_263119128&psig=AOvVaw3mwWXTomcvhQOyG7RU7zMC&ust=1597425717889000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCKC-wOHYmOsCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FDamages-recorded-at-the-Valtonera-village-due-to-land-subsidence-a-Residential-building_fig3_263119128&psig=AOvVaw3mwWXTomcvhQOyG7RU7zMC&ust=1597425717889000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCKC-wOHYmOsCFQAAAAAdAAAAABAD))

[30] **Εικόνα 2.25** - Δορυφορική εικόνα (Google Earth mapping service) στην οποία παρουσιάζονται οι καμπύλες ίσης εδαφικής υποχώρησης, σε cm, μεταξύ των εκβολών του Κηφισού και του Ιλισού για το χρονικό διάστημα 1989-2008 σύμφωνα με τους Γεωργόπουλος & Τελειώνη, 1999 Γαλλικού (Κ. Λουπασάκης: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι”).

[31] **Εικόνα 2.26** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στο χωριό Χάλκη (Κ. Λουπασάκης: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι”).

[32] **Εικόνα 2.27** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Καλαμάκι (Κ. Λουπασάκης: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι”).

[33] **Εικόνα 2.28** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή του Σταυρού.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-73383-8\\_4&psig=AOvVaw0XKw1PxV8VPCpnk-t1c86m&ust=1597425924968000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJiCttrZmOsCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-73383-8_4&psig=AOvVaw0XKw1PxV8VPCpnk-t1c86m&ust=1597425924968000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJiCttrZmOsCFQAAAAAdAAAAABAD))

[34] **Εικόνα 2.29** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στο οικισμό του Αγίου Γεωργίου.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-73383-8\\_4&psig=AOvVaw0XKw1PxV8VPCpnk-t1c86m&ust=1597425924968000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJiCtrrZmOsCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-73383-8_4&psig=AOvVaw0XKw1PxV8VPCpnk-t1c86m&ust=1597425924968000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJiCtrrZmOsCFQAAAAAdAAAAABAD))

[35] **Εικόνα 2.30** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Ανωχώρι.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-73383-8\\_4&psig=AOvVaw0XKw1PxV8VPCpnk-t1c86m&ust=1597425924968000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJiCtrrZmOsCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-73383-8_4&psig=AOvVaw0XKw1PxV8VPCpnk-t1c86m&ust=1597425924968000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJiCtrrZmOsCFQAAAAAdAAAAABAD))

[36] **Εικόνα 2.31** - Ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή των Φαρσάλων.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-73383-8\\_4&psig=AOvVaw0XKw1PxV8VPCpnk-t1c86m&ust=1597425924968000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJiCtrrZmOsCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-73383-8_4&psig=AOvVaw0XKw1PxV8VPCpnk-t1c86m&ust=1597425924968000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCJiCtrrZmOsCFQAAAAAdAAAAABAD))

[37] **Εικόνα 2.32** - Εμφανή ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή των Φαρσάλων ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι” ).

[38] **Εικόνα 2.33** - Εμφανή ίχνη της οριακής διάρρηξης των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή των Φαρσάλων, σε δρόμο. ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι” ).

[39] **Εικόνα 2.34** - Σχηματικό παράδειγμα κατάρρευσης καρστικού εγκοίλου που απεικονίζει και τις τρεις διακριτές περιπτώσεις αστοχίας. (Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[40] **Εικόνα 2.35** - Φυσική κατάρρευση οροφής σπηλαίου σε ανθρακικά πετρώματα στην περιοχή Αργολίδας. ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι ).

[41] **Εικόνα 2.36** - Καταβόθρες στη πόλη Guatemala, κεντρική Αμερική το έτος 2010 (επάνω) και το έτος 2007 (κάτω).

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGBI29&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[42] **Εικόνα 2.37** - Κατάρρευση καρστικοποιημένου ασβεστόλιθου καλυμμένου από αργιλικά ιζήματα.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGBI29&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[43] **Εικόνα 2.38** - Ζημιές που προκάλεσε η καταβόθρα.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGBI29&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[44] **Εικόνα 2.39** - Ζημιές που προκάλεσε η καταβόθρα.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGBI29&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[45] **Εικόνα 2.40** - Για την αποκατάσταση της καταβόθρας μετατράπηκε σε λίμνη.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGBI29&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[46] **Εικόνα 2.41** - Κακή επιλογή χώρου θεμελίωσης σε θέση με γρήγορη μεταβολή του μεγέθους της εδαφικής υποχώρησης ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι ).

[47] **Εικόνα 2.42** - Συνδυασμός επιφόρτισης, υποβιβασμού του υδροφόρου και παρουσίας καρστικών κοιλοτήτων ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι ).



[48] **Εικόνα 2.43** - Εδαφικές διαρρήξεις σε οδόστρωμα στην πόλη Ojiya, Νιγκάτα, Ιαπωνία.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0013795202002211&psig=AOvVaw0wYO1EogGEtdfOl6jxGllt&ust=1597919680733000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCODRnuuIp-sCFQAAAAAdAAAAABAD>)

[49] **Εικόνα 2.44** - Ποτάμιο σύστημα με ενδιάμεση εδαφική υποχώρηση.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0169555X05001455&psig=AOvVaw1Pv1xHwo\\_vtDRGG6ozgz5o&ust=1597427099800000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPD345XemOsCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0169555X05001455&psig=AOvVaw1Pv1xHwo_vtDRGG6ozgz5o&ust=1597427099800000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPD345XemOsCFQAAAAAdAAAAABAD))

[50] **Εικόνα 2.45** - Εδαφική υποχώρηση στο ποτάμιο σύστημα στη λεκάνη του Άνω Τίγρη.

([https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0169555X05001455&psig=AOvVaw1Pv1xHwo\\_vtDRGG6ozgz5o&ust=1597427099800000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPD345XemOsCFQAAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0169555X05001455&psig=AOvVaw1Pv1xHwo_vtDRGG6ozgz5o&ust=1597427099800000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPD345XemOsCFQAAAAAdAAAAABAJ))

[51] **Εικόνα 2.46** - Καρστικό έγκοιλο όπου μετά από σεισμική φόρτιση κατέρρευσε η οροφή.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diavrosgenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGB129&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[52] **Εικόνα 2.47** - Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού γεφύρωσης (Arching effect) στην οροφή στοάς εκμετάλλευσης κοιτάσματος ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[53] **Εικόνα 2.48** - Διαχρονική εξέλιξη των μεθόδων εκμετάλλευσης κάρβουνου στην Αγγλία. ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[54] **Εικόνα 2.49** - Αρχική μορφή διάταξης θαλάμων και στύλων ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[55] **Εικόνα 2.50** - Τεχνική επιμήκους μετώπου ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[56] **Εικόνα 2.51** - Διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής των τάσεων και της εδαφικής υποχώρησης της επιφάνειας πάνω από υπόγειο χώρο που έχει καταρρεύσει ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[57] **Εικόνα 2.52** - Γενική διάταξη του τρόπου εκδήλωσης εδαφικής υποχώρησης από κατάρρευση υπόγειου χώρου. ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[58] **Εικόνα 2.53** - Διάταξη επίδρασης στην επιφάνεια της κατάρρευσης υπόγειου χώρου κατά τη διεύθυνση προχώρησης της εκμετάλλευσης ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[59] **Εικόνα 2.54** - Θέσεις θεμελίωσης μιας κατασκευής σε σχέση με τη ζώνη εδαφικής υποχώρησης από κατάρρευση και μετανάστευση υπόγειου ανοίγματος ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[60] **Εικόνα 2.55** - Οι τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις που προκύπτουν από τη σχέση W/h ( Δ. Ρόζος: “Εγχειρίδιο Τεχνικής Γεωλογίας Ι. Κατολισθήσεις -Εδαφικές Υποχωρήσεις - Καθιζήσεις” ).

[61] **Εικόνα 2.56** - Κατανομή των παραμορφώσεων σε ρηχή και βαθιά εκμετάλλευση ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[62] **Εικόνα 2.57** - Επίδραση της κλίσης του εκμεταλλεύσιμου ορίζοντα στην έκταση που επηρεάζεται στην επιφάνεια. ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[63] **Εικόνα 2.58** - Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης ρήγματος στις εδαφικές υποχωρήσεις ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[64] **Εικόνα 2.59** - Εδαφική υποχώρηση στοών στη πόλη Northwich στο Cheshire ΒΔ Αγγλία.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGB129&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[65] **Εικόνα 2.60** - Καταβόθρα Bayou Corne όπου δημιουργήθηκε από την κατάρρευση του εγκοίλου που είχε διαμορφωθεί εντός άλατος.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon->

koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGBI29&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG)

[66] **Εικόνα 2.61** - Εμφάνιση καταπτώσεων συνδεδεμένες με αυλάκια.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGBI29&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[67] **Εικόνα 2.62** - Συγκέντρωση κατοίκων της Ανθούπολης οι οποίοι επυρόλησαν τις εγκαταστάσεις των λιγνιτωρυχείων και συνάμα απεικονίζεται ένα σπίτι το οποίο υπέστη ρωγμές, όπου οφείλονται στη λειτουργία του λιγνιτωρυχείου.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGBI29&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[68] **Εικόνα 2.63** - Πρωτοσέλιδα εφημερίδων τα οποία αναφέρονται στα γεγονότα που συνέβησαν στα λιγνιτωρυχεία της Ανθούπολης.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.gr%2F10525305-Mihanismos-ekdilosis-ey-logo-katarreysis-diaavrosigenon-koilotiton.html&psig=AOvVaw2Yg3nds7K5zoJimCXGBI29&ust=1597400228280000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCMi5xeH5l-sCFQAAAAAdAAAAABAG>)

[69] **Εικόνα 2.64** - Τεχνικογεωλογικός χάρτης Ανθούπολης ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[70] **Εικόνα 2.65** - Γεωλογική τομή στο χώρο εκμετάλλευσης του λιγνιτικού πεδίου στην Ανθούπολη Περιστερίου ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[71] **Εικόνα 2.66** - Αποψη διευρυνόμενης ρωγμής στην επαφή δύο διώροφων οικοδομών ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας” Ι).

[72] **Εικόνα 3.1** - Συσχέτιση γραμμής εισπίεσης νερού και αποκατάστασης επιφάνειας εδάφους ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι” ).

[73] **Εικόνα 3.2** - Η πλημμυρισμένη παράκτια ζώνη κοντά στις εκβολές του Γαλλικού ( Δ. Ρόζος: “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι ” ).