



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ &
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΠΜΣ «ΧΩΡΟΤΑΞΙΑ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΟΛΕΩΝ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρίας Δ. Κορδελούλη, Αγρονόμου & Τοπογράφου Μηχανικού ΕΜΠ

Επιβλέπων:

Αριστείδης Σαπουνάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΤΜΧΠΠΑ Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Εικόνα εξώφυλλου: Σχηματική απεικόνιση του σχεδιασμού του υπόγειου χώρου μιας επιχειρηματικής περιοχής στη Σαγκάη (Πηγή: Liu *et al.*, 2009)

«Τα πιο ωραία πράγματα έρχονται εκεί που δεν τα περιμένεις
και γίνονται τα θαύματα όταν πάψεις να επιμένεις.
Τα πράγματα τα όμορφα, όσο τα θέλεις χάνονται τυχαία
κι ας ψάχνεις σε πολυώροφα, στα υπόγεια είναι η θέα»

*Από το τραγούδι του Πασχάλη Τερζή
«Στα υπόγεια είναι η θέα»,
σε στίχους του Γιώργου Θεοφάνους*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης και η έκρηξη του ρυθμού αστικοποίησης κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες περιοχές του πλανήτη, δε φαίνεται να δείχνουν σημάδια ανάσχεσης και η τάση για ολοένα μεγαλύτερα και πολυπληθέστερα αστικά κέντρα αναμένεται να συνεχιστεί. Καθώς, όμως, η συγκέντρωση πληθυσμού και η επακόλουθη συσσώρευση προβλημάτων στα αστικά κέντρα εντείνονται, οι κύριες διέξοδοι φαίνεται να έχουν εξαντλήσει, πλέον, τη δυναμική τους. Η εναλλακτική λύση που προβάλλει και μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην υλοποίηση των αρχών της συμπαγούς πόλης και κατ' επέκταση στην επίτευξη της αειφόρου αστικής ανάπτυξης, είναι η αξιοποίηση της «τρίτης διάστασης», όχι προς τα πάνω, αλλά προς τα κάτω. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη των δυνατοτήτων που προσφέρει ο αστικός υπόγειος χώρος για την εγκατάσταση δραστηριοτήτων οι οποίες δεν είναι απαραίτητο ή κοινωνικά αποδεκτό να καταλαμβάνουν πολύτιμο επιφανειακό χώρο, αλλά και η ανάδειξη των παραγόντων που δρουν ανασταλτικά ως προς την υπόγεια ανάπτυξη των πόλεων.

Λέξεις κλειδιά: υπόγεια ανάπτυξη, αστικός υπόγειος χώρος, σχεδιασμός του υπεδάφους, υπόγεια αρχιτεκτονική, υπόγεια πόλη

ABSTRACT: The rapid increase of world population and the urbanization boom during the 20th century, especially in the developing regions of the planet, doesn't seem to show any sign of abating, so the trend of even larger and overcrowded urban centers is expected to continue. As population concentrations, and the resultant gathering of problems in urban centers, are being intensified, the main solutions seem to have exhausted their potential. The alternative solution that arises is the utilization of the "third dimension", not upwards, but downwards. This can definitely contribute to the realization of the compact city concept and therefore to the accomplishment of sustainable urban growth. This dissertation focuses on the potentials offered by urban underground space for the accommodation of activities that are not necessary or socially acceptable to occupy valuable surface space and also on the factors that restrict the underground development of cities.

Keywords: underground development, urban underground space, subsurface planning, underground architecture, underground city

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	i
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ.....	v
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	vi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΔΙΕΞΟΔΟΙ.....	3
1.1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ.....	3
1.2 ΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	4
1.3 Η ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΠΟΛΗΣ.....	6
1.4 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	7
1.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ.....	10
2.1 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ.....	10
2.2 ΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ.....	12
2.3 ΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ.....	13
2.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ.....	22
3.1 ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΧΩΡΩΝ.....	22
3.1.1 ΤΕΛΕΙΩΣ ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΧΩΡΟΙ (“FULLY UNDERGROUND SPACES”).....	22
3.1.2 ΒΥΘΙΣΜΕΝΟΙ ΧΩΡΟΙ (“SUBMERGED SPACES”).....	23
3.1.3 ΧΩΡΟΙ ΚΑΛΥΜΜΕΝΟΙ ΜΕ ΧΩΜΑ (“EARTH-COVERED SPACES”).....	23
3.2 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	23
3.2.1 ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ (“UTILITY TUNNELS”).....	23
3.2.2 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ.....	24
3.2.2.1 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΟΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΙ («ΜΕΤΡΟ»).....	25
3.2.2.2 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ.....	26
3.2.2.3 ΥΠΟΓΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	27
3.2.3 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	28
3.2.4 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	29
3.2.5 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	30
3.2.6 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ.....	31
3.2.6.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΝΕΡΟΥ.....	31
3.2.6.2 ΥΠΟΓΕΙΑ ΨΥΧΡΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	32
3.2.6.3 ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ.....	33
3.2.6.4 ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	33
3.2.6.5 ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ.....	34

3.2.6.6 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΧΩΡΟΙ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ.....	35
3.2.7 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΕΙΜΗΛΙΩΝ.....	36
3.2.8 ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ.....	38
3.2.9 ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΑ.....	40
3.2.10 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΙ ΧΩΡΟΙ.....	42
3.2.11 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ.....	44
3.3.12 ΑΛΛΕΣ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ.....	45
3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ.....	48
4.1 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ...48	48
4.1.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΨΥΧΟΛΟΓΙΑ.....	48
4.1.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ.....	49
4.2 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ..50	50
4.3 ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ.....	50
4.3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ.....	50
4.3.2 ΑΙΣΘΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ, ΤΗΣ ΘΕΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ...51	51
4.3.3 ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ.....	52
4.3.4 ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ.....	54
4.3.5 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ.....	55
4.3.6 ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	56
4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Η ΕΝΤΑΞΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΔΙΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ	
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ.....	58
5.1 ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΧΩΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ.....	59
5.2 ΟΙ ΑΝΑΣΤΑΛΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	60
5.2.1 ΤΟ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	60
5.2.2 Η ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	62
5.2.3 Η ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ..62	62
5.2.4 Η ΑΓΝΟΙΑ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	63
5.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΠΟΛΕΩΝ.....	64
5.3.1 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΡΕΑΛ.....	64
5.3.2 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΤΟΡΟΝΤΟ.....	65
5.3.3 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΑΜΣΤΕΡΝΤΑΜ.....	67
5.3.4 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ.....	68
5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	70
6.1 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΟΝ ΕΞΩΑΣΤΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	70
6.2 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	72
6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Άποψη του πυκνοκατοικημένου Χονγκ Κονγκ με τα πολυώροφα κτήρια.....	5
Εικόνα 2: Σπήλαιο στο Λασκό, Γαλλία.....	10
Εικόνα 3: Καππαδοκία, Τουρκία.....	10
Εικόνα 4: Ο ναός του Αγ. Γεωργίου, κοντά στη Λαλιμπέλα της Αιθιοπίας.....	11
Εικόνα 5: Ο ναός του Αγ. Γεωργίου, κοντά στη Λαλιμπέλα της Αιθιοπίας.....	11
Εικόνα 6: Πέτρα, Ιορδανία.....	11
Εικόνα 7: Οι Πυραμίδες της Γκίζας, Αίγυπτος.....	11
Εικόνα 8: Σιδηροδρομική σήραγγα Lötschberg (απόδοση στην κυκλοφορία το 1913). Κατασκευή του νοτίου στομίου σε χαλαρά εδάφη.....	13
Εικόνα 9: Η σήραγγα της Μάγχης. Τελική φάση κατασκευής.....	14
Εικόνα 10: Η σήραγγα μεταφοράς νερού στην περιοχή του ποταμού Naka.....	16
Εικόνα 11: Φάση κατασκευής της σήραγγας προσαγωγής του υπόγειου ΥΗΣ του Ρίο Γκράντε.....	17
Εικόνα 12: Φάση κατασκευής του υπόγειου θαλάμου του ΥΗΣ του Ρίο Γκράντε.....	17
Εικόνα 13: Το υπόγειο κέντρο διάθεσης ραδιενεργών αποβλήτων SFR.....	18
Εικόνα 14: Το υπόγειο κέντρο διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων Herfa-Neurode.....	18
Εικόνα 15: Διάταξη του υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης αργού πετρελαίου U-2 στην Κορέα.....	19
Εικόνα 16: Κέντρο ελέγχου NORAD.....	20
Εικόνα 17: Σήραγγα δικτύων κοινής ωφέλειας στο Ελσίνκι.....	24
Εικόνα 18: Άποψη σταθμού του Μετρό της Αθήνας.....	26
Εικόνα 19: Άποψη αποβάθρας του Μετρό της Αθήνας.....	26
Εικόνα 20: Η πεζογέφυρα Calatrava στο σταθμό «Κατεχάκη».....	26
Εικόνα 21: Το κέντρο της Βοστώνης πριν το έργο “Big Dig”.....	27
Εικόνα 22: Το κέντρο της Βοστώνης μετά το έργο “Big Dig”.....	27
Εικόνα 23: Η κεντρική μονάδα θέρμανσης στην Ίμολα.....	31
Εικόνα 24: Η είσοδος του υπόγειου θαλάμου ψυχρής αποθήκευσης “Staur” στο Τρόντχαϊμ.....	33
Εικόνα 25: Μεταφορά πετρελαίου από υπόγειο θάλαμο αποθήκευσης στο Τρόντχαϊμ.....	33
Εικόνα 26: Ο υπόγειος χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων στο “Museumplein”.....	35
Εικόνα 27: Ο υπόγειος τερματικός σταθμός λεωφορείων στο “Museumplein”.....	35

Εικόνα 28: Άποψη της περιοχής του “Museumplein”, όπου φαίνεται η είσοδος στον υπόγειο τερματικό σταθμό των λεωφορείων.....	36
Εικόνα 29: Η γυάλινη Πυραμίδα στο Μουσείο του Λούβρου.....	37
Εικόνα 30: Αρχαιολογική ανασκαφή στο σταθμό «Ακρόπολη» του Μετρό της Αθήνας.....	37
Εικόνα 31: Άποψη της εισόδου του υπόγειου συγκροτήματος.....	39
Εικόνα 32: Άποψη του κολυμβητηρίου “Itäkeskus”.....	39
Εικόνα 33: Η είσοδος του χώρου συναυλιών από την πλατεία.....	39
Εικόνα 34: Άποψη της αίθουσας συναυλιών.....	39
Εικόνα 35: Το “Ezelsoor” ή “Dog-Ear” στο “Museumplein”.....	41
Εικόνα 36: Άποψη του συγκροτήματος “Le Carrousel du Louvre”.....	41
Εικόνα 37: Η έπαυλη και η υπόγεια επέκταση των γραφείων της.....	42
Εικόνα 38: Αίθριο στην υπόγεια επέκταση των γραφείων της “Andersson Elffers Felix”.....	42
Εικόνα 39: Τρισδιάστατη απεικόνιση του υπόγειου συγκροτήματος “Subtropolis”.....	43
Εικόνα 40: Υπόγειο στο Παρίσι.....	44
Εικόνα 41: Βυθισμένη κατοικία στην πόλη Tsukuba.....	44
Εικόνα 42: Το συγκρότημα κατοικιών “Nine Houses” στην Ελβετία.....	45
Εικόνα 43: Άποψη του εσωτερικού της «Πανοπτικής Φυλακής».....	45
Εικόνα 44: Άποψη του χώρου γύρω από την εκκλησία “Temppliaukio”.....	46
Εικόνα 45: Άποψη του εσωτερικού της εκκλησίας “Temppliaukio”.....	46
Εικόνα 46: Εξωτερική άποψη της εισόδου του σταθμού “Canary Wharf”.....	51
Εικόνα 47: Εσωτερική άποψη της εισόδου του σταθμού “Canary Wharf”.....	51
Εικόνα 48: Εξωτερική άποψη της “Galeries Lafayette”.....	53
Εικόνα 49: Άποψη του εσωτερικού της “Galeries Lafayette”.....	53
Εικόνα 50: Άποψη του εσωτερικού της υπόγειας επέκτασης της Βιβλιοθήκης.....	53
Εικόνα 51: Η γυάλινη τάφος.....	54
Εικόνα 52: Εξωτερική άποψη της Βιβλιοθήκης και της υπόγειας επέκτασης.....	54
Εικόνα 53: “Cour anglaise” σε υπόγεια στο Λονδίνο.....	54
Εικόνα 54: “Cour anglaise” σε υπόγεια στο Λονδίνο.....	54
Εικόνα 55: Εικόνα από το Μετρό της Στοκχόλμης.....	56
Εικόνα 56: Εικόνα από το Μετρό της Μόσχας.....	56

Εικόνα 57: «Το Ωρολόγιο του Μετρό», έργο στο Μετρό της Αθήνας. Στο βάθος διακρίνονται τα αρχαιολογικά εκθέματα.....	56
Εικόνα 58: «Υπόγειο Πάρκο», έργο στο Μετρό της Αθήνας.....	56
Εικόνα 59: Υπόγειο εμπορικό κέντρο στο Μόντρεαλ.....	65
Εικόνα 60: Υπόγειο εμπορικό κέντρο στο Μόντρεαλ.....	65
Εικόνα 61: Υπόγειος χώρος στάθμευσης στο Τορόντο.....	66
Εικόνα 62: Υπόγειο εμπορικό κέντρο στο Τορόντο.....	66
Εικόνα 63: Σήραγγες της Εγνατίας Οδού στην Ήπειρο.....	71
Εικόνα 64: Σήραγγες στην Κακιά Σκάλα.....	71
Εικόνα 65: Φάση κατασκευής της σήραγγας εκτροπής του Αχελώου.....	71
Εικόνα 66: Φάση κατασκευής του υπόγειου ΥΗΣ του φράγματος Θησαυρού στο Νέστο.....	71
Εικόνα 67: Άποψη αποβάθρας στο Μετρό της Αθήνας.....	73
Εικόνα 68: Σήραγγες της Αττικής Οδού.....	73
Εικόνα 69: Η είσοδος του υπόγειου χώρου στάθμευσης στο Νοσοκομείο Παίδων της Αθήνας.....	73
Εικόνα 70: Ο υπόγειος χώρος στάθμευσης στο σταθμό «Συγγρού-Φιξ» του Μετρό της Αθήνας.....	73
Εικόνα 71: Φάση κατασκευής του Μετρό της Θεσσαλονίκης.....	74
Εικόνα 72: Υπόγεια με προκήπιο.....	75
Εικόνα 73: Υπόγεια χωρίς προκήπιο.....	75

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Η εξέλιξη του παγκόσμιου αστικού και αγροτικού πληθυσμού την περίοδο 1950-2050.....	3
Γράφημα 2: Η γεωγραφική κατανομή του παγκόσμιου αστικού πληθυσμού για τα έτη 2007, 2025 και 2050.....	4

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση της μηκοτομής της σήραγγας Seikan.....	14
Σχήμα 2: Η προτεινόμενη χάραξη της σήραγγας στον Πορθμό του Γιβραλτάρ.....	14
Σχήμα 3: Τριδιάστατη απεικόνιση της Σήραγγας Βάσης St.Gotthard στις Άλπεις.....	15

Σχήμα 4: Σχηματική απεικόνιση του έργου “Kasumigaura”.....	16
Σχήμα 5: “Gjønvic Olympic Mountain Hall”. Σχηματική απεικόνιση.....	20
Σχήμα 6: Τύποι υπόγειων χώρων.....	23
Σχήμα 7: Τυπική διατομή σήραγγας δικτύων κοινής ωφέλειας στο Ελσίνκι.....	24
Σχήμα 8: Κάψουλα πεπιεσμένου αέρα κυκλικής διατομής.....	28
Σχήμα 9: Κάψουλα πεπιεσμένου αέρα ορθογωνικής διατομής.....	28
Σχήμα 10: Οι υπόγειες και επιφανειακές εγκαταστάσεις της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Viikinmäki.....	29
Σχήμα 11: Μηκοτομή και οριζοντιογραφία του “Snake Tunnel”.....	30
Σχήμα 12: Η εγκατάσταση των αντλιών θερμότητας στη Ζυρίχη.....	31
Σχήμα 13: Το υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης νερού “Høgåsen”.....	32
Σχήμα 14: Κατηγορίες υπόγειας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.....	34
Σχήμα 15: Σχηματική μηκοτομή του χώρου συναυλιών της Φιλαρμονικής Ορχήστρας της Κολωνίας.....	39
Σχήμα 16: Κάτοψη των ισογείων και του επιπέδου -4 των συγκροτημάτων της οδού Friedrichstrasse στο Βερολίνο.....	41
Σχήμα 17: Σχηματική όψη της «Πανοπτικής Φυλακής».....	45
Σχήμα 18: Καταλληλότητα ανάπτυξης υπόγειων χρήσεων στον αστικό ιστό σε σχέση με το βάθος.....	47
Σχήμα 19: Σχηματική τομή του κτηρίου της “Galeries Lafayette”.....	52
Σχήμα 20: Σχηματική τομή της υπόγειας επέκτασης της Βιβλιοθήκης.....	53
Σχήμα 21: Οι φυσικοί πόροι του υπεδάφους.....	59
Σχήμα 22: Σχηματική απεικόνιση του στρώματος του υπεδάφους που ορίζεται ως “Deep Underground”.....	61
Σχήμα 23: Η ανάπτυξη του υπόγειου δικτύου του Τορόντο κατά τα έτη 1917, 1971, 1993 και 2006.....	67
Σχήμα 24: Σχηματική τομή της υπόγειας πόλης του Άμστερνταμ.....	68
Σχήμα 25: Αποψη χώρου στάθμευσης στην υπόγεια πόλη του Άμστερνταμ.....	68
Σχήμα 26: Κατανομή των υπόγειων εκμεταλλεύσεων στον ελλαδικό χώρο.....	72
Σχήμα 27: Σχηματική τομή της υποθαλάσσιας αρτηρίας της Θεσσαλονίκης.....	74

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

ΑΕ	Ανώνυμη Εταιρεία
ΓΟΚ	Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΜΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΕΕΔΥΠ	Ελληνική Επιτροπή Διαχείρισης Υδατικών Πόρων
ΕΕΣΥΕ	Ελληνική Επιτροπή Σηράγγων και Υπόγειων Έργων
ΕΥΕ	Ελληνική Υδροτεχνική Ένωση
ΠΑΘΕ	Πάτρα - Αθήνα Θεσσαλονίκη - Εύζωνες
ΤΕΕ	Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
ΤΜΧΠΠΑ	Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΥΗΕ	Υδροηλεκτρικό Έργο
ΥΗΣ	Υδροηλεκτρικός Σταθμός
ACUUS	Associated Research Centers for Urban Underground Space
CAES	Compressed Air Energy Storage
ITA	International Tunnelling Association
NORAD	North American Aerospace Defense Command
SFR	Final Storage For Reactor Waste
UTES	Underground Thermal Energy Storage

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας δε θα ήταν εφικτή χωρίς τη συμβολή ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους οφείλω θερμά να ευχαριστήσω. Θα ήθελα, καταρχήν, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα τη διπλωματική μου εργασία Επίκουρο Καθηγητή του ΤΜΧΠΠΑ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Άρη Σαπουνάκη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την αποδοχή της συνεργασίας μας και για την πολύτιμη καθοδήγησή του όλο αυτό τον καιρό. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του ΤΜΧΠΠΑ κ. Παντελή Σκάγιαννη, για την επικοινωνιακή συζήτηση που είχαμε επί του θέματος της διπλωματικής μου εργασίας και για το σχετικό υλικό που μου παρείχε.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να επισημάνω την καθοριστική συμβολή του Καθηγητή κ. Δημήτρη Καλιαμπάκου, του Λέκτορα κ. Ανδρέα Μπενάρδου και του Διδάκτορα κ. Θανάση Μαυρίκου της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του ΕΜΠ, τους οποίους ολόθερμα ευχαριστώ για το πολύτιμο υλικό που μου παρείχαν, για το χρόνο που μου διέθεσαν όποτε και αν το ζήτησα και για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους, απόσταγμα της σημαντικής ερευνητικής τους δραστηριότητας σχετικά με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του υπεδάφους.

Καθώς η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί και την ολοκλήρωση της φοίτησής μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Χωροταξία, Πολεοδομία και Ανάπτυξη», θα ήθελα με την ευκαιρία αυτή να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες του ΠΜΣ για τις πολύτιμες γνώσεις που μας μετέδωσαν κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μας σπουδών. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Θεοδοσία Βασιλάκη και την κ. Σταυρούλα Βαφειάδου από τη Γραμματεία του ΠΜΣ για την ενημέρωση και την εξυπηρέτηση που μας παρείχαν πάντοτε με μεγάλη προθυμία. Φυσικά, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τη Βιβλιοθηκονόμο του ΠΜΣ κ. Εύη Κολοβού, καθώς επίσης τη μέχρι πρότινος Βιβλιοθηκονόμο κ. Σταυρούλα Καραγκούνη, οι οποίες ήταν πάντοτε δίπλα μας όχι μόνο διευκολύνοντας τις βιβλιογραφικές μας αναζητήσεις, αλλά και σε προσωπικό επίπεδο. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τον αδελφό μου και τους πολύτιμους φίλους μου, που με στηρίζουν πάντοτε σε κάθε μου βήμα.

Σε όλους εσάς οφείλω ένα πολύ μεγάλο...

...ευχαριστώ!

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πόλεις αποτελούσαν πάντοτε και θα εξακολουθήσουν να αποτελούν, καθοριστικό παράγοντα της ανάπτυξης των περιφερειακών, εθνικών και διεθνών οικονομιών. Ενσωματώνοντας όλα τα πλεονεκτήματα των οικονομιών κλίμακας και συγκέντρωσης, οι πόλεις καθοδηγούν την τεχνολογική εξέλιξη και επιπλέον, αντιπροσωπεύουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις επενδύσεων σε υποδομές, κτήρια και εγκαταστάσεις για κοινωνικούς, πολιτιστικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ωστόσο, η ελκυστικότητα μιας πόλης δεν καθορίζεται μόνο από την εκπλήρωση των υλικών αναγκών των κατοίκων της, αλλά και από τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτή (Godard, 2004).

Στα περισσότερα αστικά κέντρα, οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες προκαλούν έντονη ανησυχία, καθώς χαρακτηρίζονται από προβλήματα όπως η έντονη ρύπανση του αέρα και των υδάτων, ο θόρυβος, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η διάθεση των αποβλήτων, αλλά και η έλλειψη ανοικτών χώρων και χώρων πρασίνου. Τα προβλήματα αυτά μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και στην αποσύνθεση του αστικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, οι μεγάλες πόλεις μπορούν να θεωρηθούν απειλή για την παγκόσμια αειφόρο ανάπτυξη, καθώς παράγουν μεγάλα ποσά μη ανακυκλώσιμων αποβλήτων και ρύπανση, που αναπόφευκτα αφομοιώνονται από το οικοσύστημα, προκαλώντας προβλήματα σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα (Godard, 2004).

Η περιβαλλοντική υποβάθμιση σε συνδυασμό με τη διαρκή αύξηση του αστικού πληθυσμού και την έλλειψη χώρου για την κάλυψη αναγκών ζωτικής σημασίας, αναμένεται να οδηγήσουν στην περαιτέρω υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων των σύγχρονων αστικών κέντρων. Η εξασφάλιση χώρου μέσω της κατασκευής πολυώροφων κτηρίων και μέσω της ανεξέλεγκτης αστικής διάχυσης σε βάρος της υπαίθρου, έχει συνδεθεί με την εμφάνιση αρκετών σύγχρονων αστικών προβλημάτων και φαίνεται να έχει εξαντλήσει πλέον τη δυναμική της. Ωστόσο, υπάρχει ένας πολύτιμος φυσικός πόρος ο οποίος παραμένει ουσιαστικά ανεκμετάλλευτος. Ο χώρος που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και κάτω από τα θεμέλια των κτηρίων, παρέχει σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης και μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στη αειφόρο αστική ανάπτυξη.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Χωροταξία, Πολεοδομία και Ανάπτυξη»,

είναι η ανάδειξη των δυνατοτήτων που προσφέρει ο υπόγειος χώρος των πόλεων για την εγκατάσταση δραστηριοτήτων οι οποίες δεν είναι απαραίτητο ή κοινωνικά αποδεκτό να καταλαμβάνουν πολύτιμο επιφανειακό χώρο, αλλά και η ανάδειξη των παραγόντων που δρουν ανασταλτικά ως προς την υπόγεια ανάπτυξη των πόλεων. Για το σκοπό αυτό, η εργασία έχει δομηθεί σε επτά κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην εξέλιξη του παγκόσμιου αστικού πληθυσμού, στις δύο κύριες διεξόδους που επιλέχθηκαν για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες για χώρο, στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν σήμερα τα μεγάλα αστικά κέντρα και στην αξιοποίηση του υπόγειου χώρου ως εναλλακτικής λύσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, πραγματοποιείται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της χρήσης του υπεδάφους από την αρχή της ιστορίας του ανθρώπου μέχρι σήμερα, με έμφαση στα σύγχρονα υπόγεια έργα που συναντώνται εκτός των ορίων των πόλεων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, έπειτα από τον προσδιορισμό του όρου «υπόγειος» και τη διάκριση των κύριων τύπων υπόγειων χώρων, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται αποκλειστικά στην υπόγεια ανάπτυξη των σύγχρονων πόλεων και στις αστικές υπόγειες χρήσεις.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής αναφορά στους παράγοντες που προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στην ψυχολογία και τη φυσιολογία του ανθρώπου κατά την παραμονή του σε υπόγειους χώρους και αναδεικνύεται ο ρόλος της υπόγειας αρχιτεκτονικής και των σχεδιαστικών της αρχών ως προς τον περιορισμό των αρνητικών αυτών επιπτώσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναδεικνύεται η ανάγκη ορθολογικής διαχείρισης του αστικού υπόγειου χώρου μέσω της ένταξής του στον αστικό σχεδιασμό και αναλύονται οι παράγοντες που δρουν ανασταλτικά ως προς την υπόγεια ανάπτυξη των πόλεων. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στις εντυπωσιακές υπόγειες πόλεις του Μόντρεαλ και του Τορόντο, καθώς επίσης στις υπόγειες πόλεις που σχεδιάζονται σήμερα στο Άμστερνταμ και την Κίνα.

Στο έκτο κεφάλαιο, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην υπόγεια ανάπτυξη εντός, αλλά και εκτός, των ορίων των ελληνικών πόλεων.

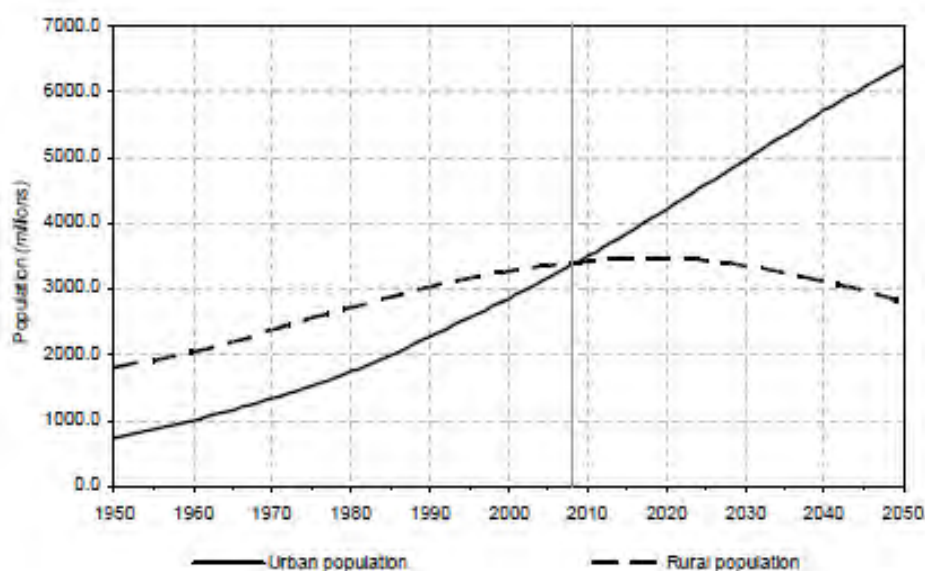
Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΔΙΕΞΟΔΟΙ

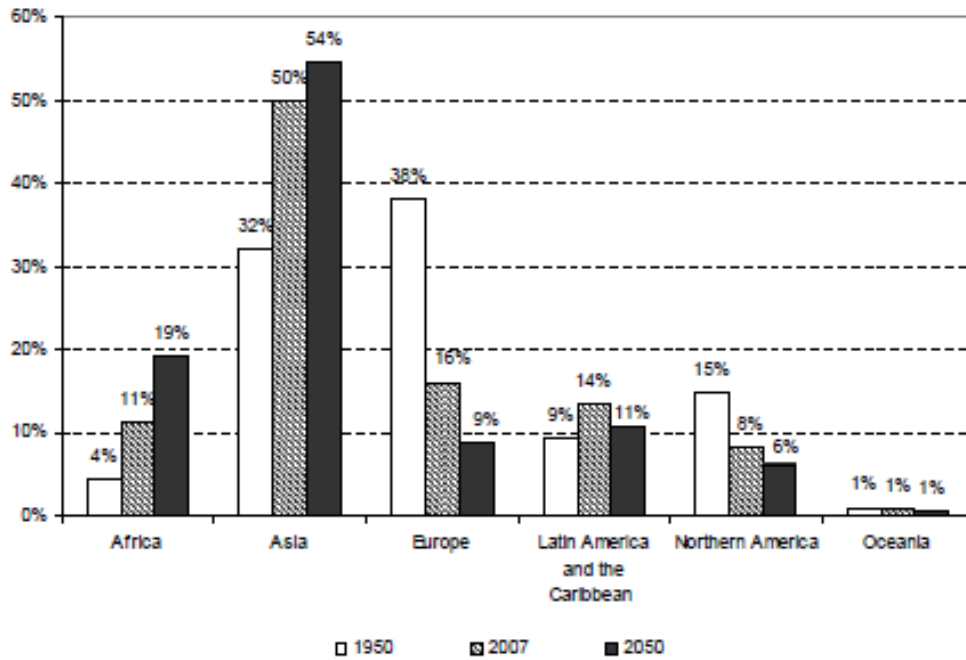
1.1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του 20^{ου} αιώνα ήταν, αναμφισβήτητα, η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης, ο οποίος ανέρχεται σήμερα στα 6.8 δις και μέχρι το 2050 προβλέπεται ότι θα ξεπεράσει τα 9 δις (United Nations, 2009). Κατά το ίδιο χρονικό διάστημα, η αύξηση του αστικού πληθυσμού της γης πραγματοποιήθηκε με ακόμη ταχύτερους ρυθμούς (Μαυρίκος, 2006), καθώς στις αρχές του 20^{ου} αιώνα μόλις το 13% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε αστικά κέντρα, ενώ στα τέλη του σχεδόν το 47.5% είχε αστικοποιηθεί (Burgess, 2000).

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (2008), ο αστικός πληθυσμός του πλανήτη πρέπει να έχει ήδη ξεπεράσει σε μέγεθος τον αγροτικό (Γράφημα 1) και αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω, από τα 3.3 δις το 2007 στα 6.4 δις το 2050, δηλαδή σχεδόν να διπλασιαστεί, απορροφώντας ολόκληρη την αναμενόμενη παγκόσμια πληθυσμιακή αύξηση και συγκεντρώνοντας το μεγαλύτερο μέρος της στις λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές (Γράφημα 2). Συγκεκριμένα, προβλέπεται αύξηση του αστικού πληθυσμού των λιγότερο ανεπτυγμένων περιοχών από τα 2.4 δις το 2007 στα 5.3 δις το 2050 και των περισσότερο ανεπτυγμένων περιοχών από τα 0.9 δις το 2007 στα 1.1 δις το 2050 (United Nations, 2008).



Γράφημα 1: Η εξέλιξη του παγκόσμιου αστικού και αγροτικού πληθυσμού την περίοδο 1950-2050 (Πηγή: United Nations, 2008)



Γράφημα 2: Η γεωγραφική κατανομή του παγκόσμιου αστικού πληθυσμού για τα έτη 2007, 2025 και 2050 (Πηγή: United Nations, 2008)

Η έντονη και συνεχής συγκέντρωση πληθυσμού και οικονομικών δραστηριοτήτων στα μεγάλα αστικά κέντρα είχε ως αποτέλεσμα το σχηματισμό «μεγαπόλεων» (“megacities”), δηλαδή πόλεων με πληθυσμό πάνω από 10 εκ. κατοίκους (Μαυρίκος, 2006). Χαρακτηριστικό είναι ότι το 1960 οι μοναδικές μεγαπόλεις στον κόσμο ήταν το Τόκιο και η Νέα Υόρκη (Jenks, 2000), ενώ το 2007 οι μεγαπόλεις αυξήθηκαν στις 19. Η τάση για ολοένα μεγαλύτερα και πολυπληθέστερα αστικά κέντρα αναμένεται να συνεχιστεί, τουλάχιστον στο άμεσο μέλλον (Μαυρίκος, 2006) και το 2025 προβλέπεται ότι θα υπάρχουν 27 μεγαπόλεις, οι οποίες θα εξακολουθήσουν να συγκεντρώνονται κυρίως στις αναπτυσσόμενες περιοχές του πλανήτη (United Nations, 2008).

1.2 ΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Η έκρηξη του ρυθμού αστικοποίησης που σημειώθηκε κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα στον πλανήτη, δημιούργησε νέες απαιτήσεις χώρου για την κάλυψη αναγκών ζωτικής σημασίας στα αστικά κέντρα, όπως η κατοικία και οι υποδομές (ύδρευση, αποχέτευση και γενικότερα δίκτυα κοινής ωφέλειας). Οι δύο κύριες διέξοδοι που επιλέχθηκαν για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες για χώρο ήταν η κατασκευή πολυώροφων κτηρίων και η εξάπλωση των αστικών κέντρων (Μαυρίκος, 2006).

Η κατασκευή πολυώροφων κτηρίων οδήγησε στην εντατικότερη εκμετάλλευση του αστικού χώρου ανά μονάδα επιφάνειας (Εικόνα 1) (Μαυρίκος, 2006). Η πρακτική αυτή,

αν και έχει κατεξοχήν χρησιμοποιηθεί, υπόκειται σε αρκετούς περιορισμούς και δεν εξασφαλίζει ευελιξία εγκατάστασης διάφορων χρήσεων (Καλιαμπάκος, 2003). Παράλληλα, ευθύνεται για την εμφάνιση σημαντικών οικολογικών, ανθρωπιστικών, κοινωνικών, τεχνολογικών και πολιτιστικών προβλημάτων, καθώς τα πολυώροφα κτήρια (Doxiadis, 1973):

- Καταστρέφουν την κλίμακα του φυσικού ανάγλυφου και παρεμποδίζουν την ομαλή κυκλοφορία του αέρα, προκαλώντας αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ανατρέποντας την ισορροπία μεταξύ φύσης και ανθρώπου.
- Απομονώνουν τους ανθρώπους μεταξύ τους, γεγονός που συμβάλλει στην αύξηση της εγκληματικότητας. Επιπλέον, τα παιδιά χάνουν την άμεση επαφή τους με τη φύση και τα άλλα παιδιά. Έτσι, τόσο οι γονείς όσο και τα παιδιά υποφέρουν.
- Εμποδίζουν τη φυσιολογική λειτουργία κοινωνικών μονάδων, όπως η οικογένεια, η πολυμελής οικογένεια και η γειτονιά.
- Οδηγούν σε υπερφόρτωση των υποδομών (δρόμων και δικτύων κοινής ωφέλειας) λόγω των αυξημένων πληθυσμιακών πυκνοτήτων.
- Καταστρέφουν το αστικό τοπίο, απομακρύνοντας τις αξίες που υπήρχαν στο παρελθόν. Ανθρώπινα σύμβολα, όπως ναοί και δημαρχεία, που κάποτε υψώνονταν πάνω από την πόλη, σήμερα βρίσκονται στη σκιά των πολυώροφων κτηρίων και ουρανοξυστών. Επιπλέον, σε περίπτωση σεισμού μπορεί να προκληθούν απρόβλεπτα προβλήματα τόσο στα ίδια τα πολυώροφα κτήρια όσο και στο άμεσο περιβάλλον τους.



Εικόνα 1: Άποψη του πυκνοκατοικημένου Χονγκ Κονγκ με τα πολυώροφα κτήρια (Πηγή: Πρόγραμμα Οικουμενικός Ελληνισμός)

Από την άλλη μεριά, η εξάπλωση των αστικών κέντρων, η οποία περιορίζεται συχνά από την ύπαρξη φυσικών εμποδίων (λίμνες, ποτάμια, θάλασσες, βουνά), οδήγησε στην ανεξέλεγκτη αστική διάχυση χωρίς ίχνος σχεδιασμού και στην κατανάλωση του περιαστικού χώρου με ταχύτατους ρυθμούς. Επιπλέον, οδήγησε σε αύξηση του χρόνου μετακίνησης, του κόστους των υποδομών και της ενεργειακής κατανάλωσης (Drakouli *et al.*, 2007), χωρίς να ικανοποιεί τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες του κοινωνικού συνόλου. Σε πολλές περιπτώσεις, η εκτατική ανάπτυξη είχε ως αποτέλεσμα την παράταση χρόνου ή, απλά, τη μετάθεση μέρους των προβλημάτων των αστικών κέντρων στις γύρω περιοχές (Μαυρίκος, 2006).

1.3 Η ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΠΟΛΗΣ

Οι πόλεις συμβάλλουν καθοριστικά στην ανάπτυξη, καθώς αποτελούν πόλους οικονομικής ανάπτυξης, πολιτισμικής διαφοροποίησης και τεχνολογικής εξέλιξης (Magdi, 1996). Ωστόσο, στις ανεπτυγμένες χώρες η οικονομική ανάπτυξη, η άνοδος του βιοτικού επιπέδου και η αλλαγή του καταναλωτικού προτύπου προκάλεσαν δραματική αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και της κατανάλωσης φυσικών πόρων, αλλά και ανάλογη αύξηση του μεγέθους των παραγόμενων αποβλήτων και ρύπων. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα χαμηλότερα επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης, η έλλειψη περιβαλλοντικών υποδομών, καταλυμάτων και βασικών παροχών, καθώς και τα υψηλά επίπεδα αστικής φτώχειας, οδήγησαν στη διαμόρφωση ενός διαφορετικού προτύπου αστικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Υπό συνθήκες φτώχειας, η αειφόρος εκμετάλλευση των πόρων και διάθεση των αποβλήτων γίνεται εξαιρετικά δύσκολη, καθώς εκείνο που προέχει είναι η επιβίωση (Burgess, 2000).

Η άποψη ότι η επίτευξη της αειφόρου ανάπτυξης, δηλαδή της ανάπτυξης που θα συμφιλιώνει την ανάπτυξη της οικονομίας, την προστασία του περιβάλλοντος και την κοινωνική δικαιοσύνη (Χριστοπούλου και Σαλάτα, 2009), συνδέεται με την αστική μορφή, ολοένα κυριαρχεί μεταξύ των πολεοδόμων και των πολιτικών (Zhang, 2000). Το γεγονός αυτό οδήγησε στην αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος για τις θεωρίες και τις πολιτικές της συμπαγούς πόλης, ως μιας μορφής επίτευξης της «αειφόρου αστικής ανάπτυξης» (Burgess, 2000). Η έννοια της συμπαγούς πόλης βασίζεται στην υπόθεση ότι οι υψηλές πυκνότητες μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση των αποστάσεων των μετακινήσεων, της ενεργειακής κατανάλωσης και της ρύπανσης και να παρέχουν περισσότερα περιβαλλοντικά και ποιοτικά για τη ζωή οφέλη (Zhang, 2000).

Ένα μέσο που συναντά ολοένα ευρύτερη αποδοχή για την αναγέννηση των αστικών περιοχών και την επίτευξη συμπαγών, άρα και αειφόρων, αστικών μορφών, είναι η επανάχρηση των “brownfields”, που συνήθως βρίσκονται στους πυρήνες των αστικών περιοχών. Ως “brownfields” ορίζονται οι περιοχές που είχαν αναπτυχθεί κατά το παρελθόν και καταλαμβάνονταν, ή καταλαμβάνονται, από εγκαταλελειμμένες, αδρανείς ή υπο-χρησιμοποιημένες βιομηχανικές και εμπορικές εγκαταστάσεις, οι οποίες μπορεί να έχουν προκαλέσει περιβαλλοντική ρύπανση (Paul *et al.*, 2002, De Sousa, 2003). Η επανάχρηση των “brownfields” για βιομηχανικούς, εμπορικούς και οικιστικούς σκοπούς, αλλά και η μετατροπή τους σε χώρους πρασίνου, παρέχουν πολλά κοινωνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη (De Sousa, 2003).

Καθώς, όμως, η συγκέντρωση πληθυσμού και η επακόλουθη συσσώρευση προβλημάτων στα αστικά κέντρα εντείνονται, οι κύριες διέξοδοι φαίνεται να έχουν πρακτικά εξαντλήσει τη δυναμική τους. Έτσι, αρχίζει να προβάλλει μια άλλη εναλλακτική λύση που προωθεί την αξιοποίηση της «τρίτης διάστασης», όχι προς τα πάνω, αλλά προς τα κάτω. Η αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρει ο υπόγειος χώρος των πόλεων για την εγκατάσταση δραστηριοτήτων οι οποίες δεν είναι απαραίτητο ή κοινωνικά αποδεκτό να καταλαμβάνουν πολύτιμο επιφανειακό χώρο, ορίζεται ως «υπόγεια ανάπτυξη» (Μαυρίκος, 2006) και μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην υλοποίηση των αρχών της συμπαγούς πόλης και κατ' επέκταση στην επίτευξη της «αειφόρου αστικής ανάπτυξης».

1.4 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ

Τα χαρακτηριστικά των υπόγειων κατασκευών είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τις ιδιότητες του υπόγειου χώρου (Godard, 2004). Τα βασικά σημεία υπεροχής των υπόγειων έναντι των αντίστοιχων επιφανειακών κατασκευών, ενισχύουν την προοπτική αξιοποίησης του υπόγειου χώρου και είναι τα εξής (Καλιαμπάκος, 2003):

- Η υψηλή διαθεσιμότητα του υπόγειου χώρου και οι περιορισμένες απαιτήσεις των υπόγειων κατασκευών για επιφανειακό χώρο. Η κατασκευή ενός υπόγειου έργου μπορεί να γίνει σχεδόν οπουδήποτε, ανεξάρτητα από εξωτερικούς παράγοντες όπως οι τοπογραφικές συνθήκες ή η επιφανειακή χρήση στην εκάστοτε θέση, καθώς οι απαιτήσεις των υπόγειων κατασκευών για χώρο στην επιφάνεια του εδάφους είναι πολύ περιορισμένες (Καλιαμπάκος, 2003). Έτσι, η κατασκευή υπόγειων έργων συμβάλλει στην απελευθέρωση επιφανειακών χώρων ζωτικής σημασίας και επιπλέον παρέχει αυξημένες δυνατότητες επέκτασης (Μαυρίκος, 2006).

- Η απομόνωση - απόκρυψη και προστασία των υπόγειων κατασκευών. Το γεωλογικό μέσο που παρεμβάλλεται ανάμεσα σε μια υπόγεια κατασκευή και την εδαφική επιφάνεια, αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο που παρέχει στην υπόγεια κατασκευή φυσική απομόνωση και αδιαφάνεια. Έτσι, ο υπόγειος χώρος μπορεί να αποκρύπτει εγκαταστάσεις των οποίων η παρουσία είναι ανεπιθύμητη στην επιφάνεια, όπως είναι, για παράδειγμα, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Επιπλέον, το γεωλογικό μέσο προστατεύει την υπόγεια κατασκευή από τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τις επιφανειακές δραστηριότητες, αλλά και το εξωτερικό περιβάλλον από τις διεργασίες εντός του υπόγειου χώρου (Καλιαμπάκος, 2003).
- Η προστασία του περιβάλλοντος. Η επίδραση μιας υπόγειας κατασκευής στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον θεωρείται σχεδόν μηδενική, καθώς δεν επηρεάζει τη γεωμορφολογία, ούτε τα οικιστικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Οι μεγάλες επιχειρησιακές δυνατότητες των υπόγειων συγκοινωνιακών έργων συμβάλλουν στον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ, όπως έχει ήδη αναφερθεί, το γεωλογικό μέσο προστατεύει το εξωτερικό περιβάλλον από τις διεργασίες εντός του υπόγειου χώρου, που μπορεί να είναι επικίνδυνες (Καλιαμπάκος, 2003).
- Τα κοινωνικά και οικονομικά οφέλη. Λόγω των μικρών θερμοκρασιακών διακυμάνσεων και του ελεγχόμενου περιβάλλοντος του υπόγειου χώρου, οι ενεργειακές απαιτήσεις των υπόγειων κατασκευών είναι περιορισμένες. Επιπλέον, οι υπόγειες κατασκευές διακρίνονται για την ασφάλειά τους, αφού διαθέτουν συγκεκριμένες και απόλυτα ελεγχόμενες προσβάσεις και η συμπεριφορά τους έναντι των επιφανειακών κατασκευών στο σεισμό είναι σημαντικά καλύτερη (Μαυρίκος, 2006).

1.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης και η έκρηξη του ρυθμού αστικοποίησης κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες περιοχές του πλανήτη, δε φαίνεται να δείχνουν σημάδια ανάσχεσης. Συνεπώς, η τάση για ολοένα μεγαλύτερα και πολυπληθέστερα αστικά κέντρα αναμένεται να συνεχιστεί, τουλάχιστον στο άμεσο μέλλον, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ολοένα μεγαλύτερων απαιτήσεων χώρου για την κάλυψη αναγκών ζωτικής σημασίας. Η εντατική εκμετάλλευση της αστικής γης μέσω της κατασκευής πολυώροφων κτηρίων και η ανεξέλεγκτη διάχυση των αστικών κέντρων σε βάρος της υπαίθρου, αποτελούν τις δύο κύριες διεξόδους με τις οποίες

αντιμετωπίζονται μέχρι σήμερα οι αυξημένες απαιτήσεις χώρου. Ωστόσο, οι κύριες αυτές διέξοδοι συνδέονται με την εμφάνιση αρκετών σύγχρονων αστικών προβλημάτων και φαίνεται να έχουν εξαντλήσει πλέον τη δυναμική τους.

Η εναλλακτική λύση που προβάλλει και μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην υλοποίηση των αρχών της συμπαγούς πόλης και κατ' επέκταση στην επίτευξη της αειφόρου αστικής ανάπτυξης, είναι η αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρει ο υπόγειος χώρος των πόλεων για την εγκατάσταση δραστηριοτήτων οι οποίες δεν είναι απαραίτητο ή κοινωνικά αποδεκτό να καταλαμβάνουν πολύτιμο επιφανειακό χώρο. Η σημαντική υπεροχή των υπόγειων έναντι των αντίστοιχων επιφανειακών κατασκευών οφείλεται στα εγγενή χαρακτηριστικά του υπόγειου χώρου, γεγονός που εκμεταλλεύτηκε ο άνθρωπος από τα πρώτα βήματά του μέχρι σήμερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΕΛΑΦΟΥΣ

2.1 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Από τα πρώτα βήματά του, ο άνθρωπος αναζήτησε καταφύγιο στον υπόγειο χώρο (Meijenfeldt, 2003). Τα σπήλαια και οι διάφορες φυσικές κοιλότητες του εδάφους προσέφεραν στον άνθρωπο προστασία από τα άγρια θηρία και τα ακραία καιρικά φαινόμενα (Μαυρίκος, 2006). Στην Ευρώπη, τα πιο γνωστά σπήλαια βρίσκονται στην περιοχή του Λασκό στη Γαλλία, με βραχογραφίες που προκαλούν έντονο θαυμασμό (Εικόνα 2) (Meijenfeldt, 2003). Σημαντικά παραδείγματα λαξευμένων σπηλαίων - κατοικιών που κατοικούνται ακόμα, υπάρχουν στο νησί της Σαντορίνης, αλλά και στην περιοχή Guadix της Ισπανίας (Erdem, 2008). Στην Καππαδοκία της Τουρκίας, οι πρώτοι χριστιανοί διωκόμενοι από τους Ρωμαίους, λάξευσαν κατοικίες, ναούς και μοναστήρια μέσα στο ηφαιστειακό πέτρωμα της περιοχής, δημιουργώντας ολόκληρους οικισμούς (Εικόνα 3) (Meijenfeldt, 2003).

Ο άνθρωπος χρησιμοποίησε τον υπόγειο χώρο ως λατρευτικό χώρο και τόπο ανάπαυσης των νεκρών, προσδίδοντάς του και πνευματική σημασία. Τον 13^ο αιώνα, οι χριστιανοί δημιούργησαν κοντά στη Λαλιμπέλα της Αιθιοπίας περίφημους ναούς λαξευμένους σε βράχο (Εικόνες 4 και 5). Τεράστιοι ναοί λαξευμένοι σε βράχο υπάρχουν και στην Ινδία, έχοντας τόσο για το Βουδισμό όσο και για τον Ινδουισμό βαθιά πνευματική σημασία. Στην Πέτρα της Ιορδανίας, τα επιβλητικά ταφικά μνημεία με τις πλούσια διακοσμημένες, λαξευμένες προσόψεις (Εικόνα 6) χρονολογούνται εδώ και 2000 χρόνια. Στην αρχαία Αίγυπτο, η ταφή των Φαραώ γινόταν, επίσης, υπόγεια, κάτω από τις επιβλητικές Πυραμίδες (Εικόνα 7) (Meijenfeldt, 2003).



Εικόνα 2: Σπήλαιο στο Λασκό, Γαλλία
(Πηγή: Witcombe)



Εικόνα 3: Καππαδοκία, Τουρκία
(Πηγή: Navigatour)



Εικόνες 4 και 5: Ο ναός του Αγ. Γεωργίου, κοντά στη Λαλιμπέλα της Αιθιοπίας
(Πηγή: Sacred Destinations)



Εικόνα 6: Πέτρα, Ιορδανία
(Πηγή: National Geographic)

Εικόνα 7: Οι Πυραμίδες της Γκίζας, Αίγυπτος
(Πηγή: National Geographic)

Με την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού, ο άνθρωπος άρχισε σταδιακά να εγκαταλείπει τις υπόγειες κατοικίες και να εγκαθίσταται στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, το υπέδαφος εξακολουθούσε να παίζει βασικό ρόλο στη ζωή του, εξασφαλίζοντας τις απαραίτητες πρώτες ύλες (Μαυρίκος, 2006). Το 40000 π.Χ. στην περιοχή Bomvu Ridge της Σουαζιλάνδης, πραγματοποιούνταν εξόρυξη διακοσμητικού αιματίτη, που αποτελεί και την πρώτη καταγραφή υπόγειου έργου (Καλιαμπάκος, 2003). Εκτός από τα μεταλλευτικά έργα της εποχής, υπάρχουν σημαντικά παραδείγματα υπόγειων έργων που εξυπηρετούσαν τις κοινωνίες της αρχαιότητας (Μαυρίκος, 2006). Στην αρχαία Βαβυλώνα, γύρω στο 2180 π.Χ., κατασκευάστηκε σήραγγα μήκους 1 km κάτω από τον ποταμό Ευφράτη, για να ενώσει το παλάτι με το

ναό, ενώ ένα από τα μεγαλύτερα τεχνικά έργα των Ρωμαϊκών χρόνων είναι η σήραγγα μήκους 1.6 km στην περιοχή Pausilippo, γύρω στο 36 π.Χ. (Καλιαμπάκος, 2003).

Στον ελλαδικό χώρο, τα πιο γνωστά υπόγεια έργα εντοπίζονται στην περιοχή των μεταλλείων του Λαυρίου για την εξόρυξη αργύρου, γύρω στο 2000 π.Χ., ενώ ένα από τα σημαντικότερα τεχνικά έργα της αρχαιότητας είναι το Ευπαλίνιο όρυγμα, μια σήραγγα μήκους 1 km η οποία κατασκευάστηκε το 520 π.Χ. για την ύδρευση της πόλης της Σάμου. Στην Αθήνα, κατά τον 2^ο αιώνα μ.Χ., κατασκευάστηκε το Αδριάνειο υδραγωγείο, ένα εκτεταμένο δίκτυο σηράγγων για την υδροδότηση της πόλης των Αθηνών, ενώ την ίδια εποχή, κατασκευάστηκαν δύο σήραγγες μεταφοράς νερού από τις πηγές της Στυμφαλίας στην αρχαία Κόρινθο (Καλιαμπάκος, 2003).

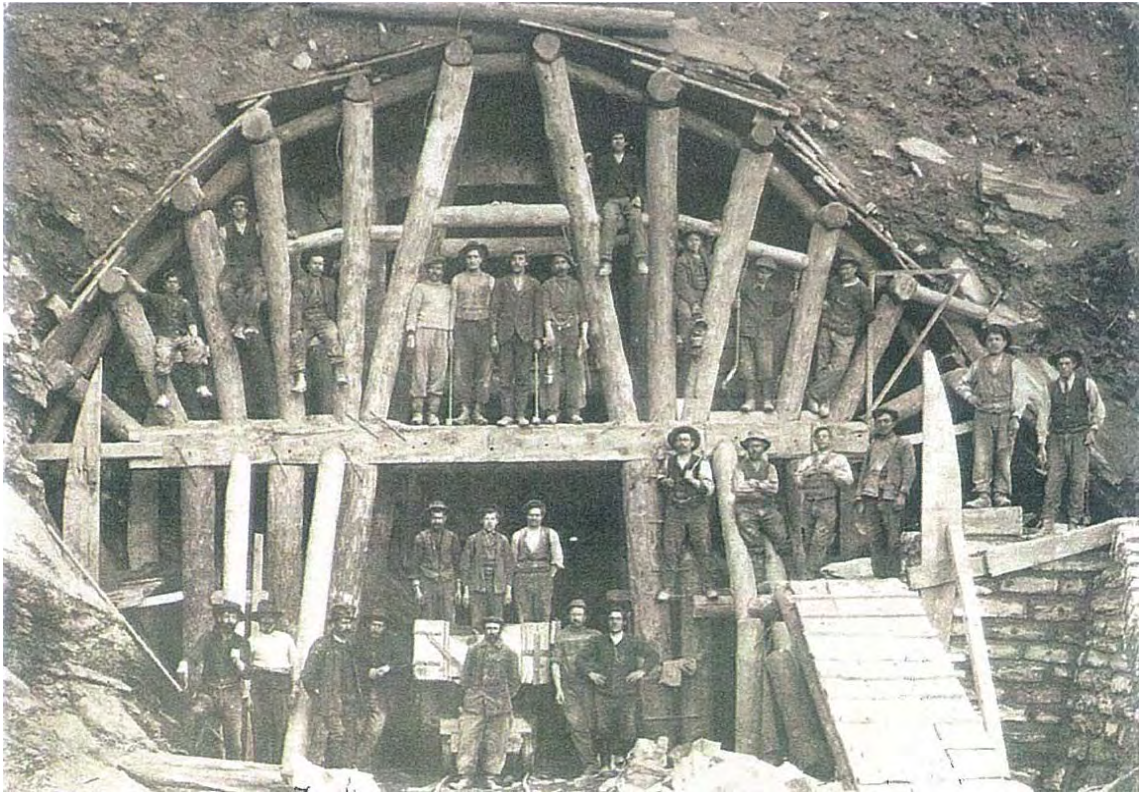
2.2 ΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ

Το πέρασμα στη βιομηχανική επανάσταση έδωσε ώθηση στην κατασκευή υπόγειων έργων. Παρόλο που η χρήση του υπεδάφους εξακολουθούσε να προσανατολίζεται κυρίως σε μεταλλευτικούς σκοπούς, την εποχή αυτή πραγματοποιήθηκαν τα πρώτα ουσιαστικά βήματα για την κατασκευή υπόγειων έργων συγκοινωνιακού, κυρίως, χαρακτήρα (Καλιαμπάκος, 2003). Από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, η κατασκευή υπόγειων σιδηρόδρομων και μητροπολιτικών σιδηρόδρομων ξεκίνησε στην Ευρώπη και αργότερα στη Βόρεια Αμερική (Mulder *et al.*, 2007).

Η διάνοιξη της πρώτης σιδηροδρομικής σήραγγας ξεκίνησε το 1825 και ολοκληρώθηκε το 1843 στο Λονδίνο, για τη διέλευση κάτω από τον ποταμό Τάμεση (Μαυρίκος, 2006). Το 1863, εγκαινιάστηκε στο Λονδίνο ο πρώτος υπόγειος μητροπολιτικός σιδηρόδρομος του κόσμου, με μία γραμμή μήκους μόλις 6 km (Πηγή: Transport for London). Αντίστοιχα έργα άρχισαν να λειτουργούν στη Νέα Υόρκη (1868), στο Σικάγο (1892), στην Αθήνα (1895), στη Γλασκώβη (1896), στη Βοστώνη (1897), στο Παρίσι (1900) και στο Ανατολικό Βερολίνο (1902) (Μαυρίκος, 2006). Επίσης, το 1927 κατασκευάστηκε στη Νέα Υόρκη η πρώτη οδική σήραγγα, για τη διέλευση κάτω από τον ποταμό Χάντσον (Καλιαμπάκος, 2003).

Την εποχή αυτή ξεκίνησε και το εγχείρημα της διάσχισης των Άλπεων, με την κατασκευή της σιδηροδρομικής σήραγγας του Mont Cenis, μήκους 12.7 km, μεταξύ Ιταλίας και Γαλλίας (1857-1871). Ακολούθησε η κατασκευή και άλλων σιδηροδρομικών σηράγγων, μεταξύ των οποίων οι σήραγγες του St.Gotthard, μήκους 15 km (1872-1881), του Lötschberg, μήκους 14.5 km (1906-1913) (Εικόνα 8) και του

Simplon, μήκους 19.8 km (κλάδος I, 1898-1906 και κλάδος II, 1912-1921) (Ε.Ε.Σ.Υ.Ε., 2005).

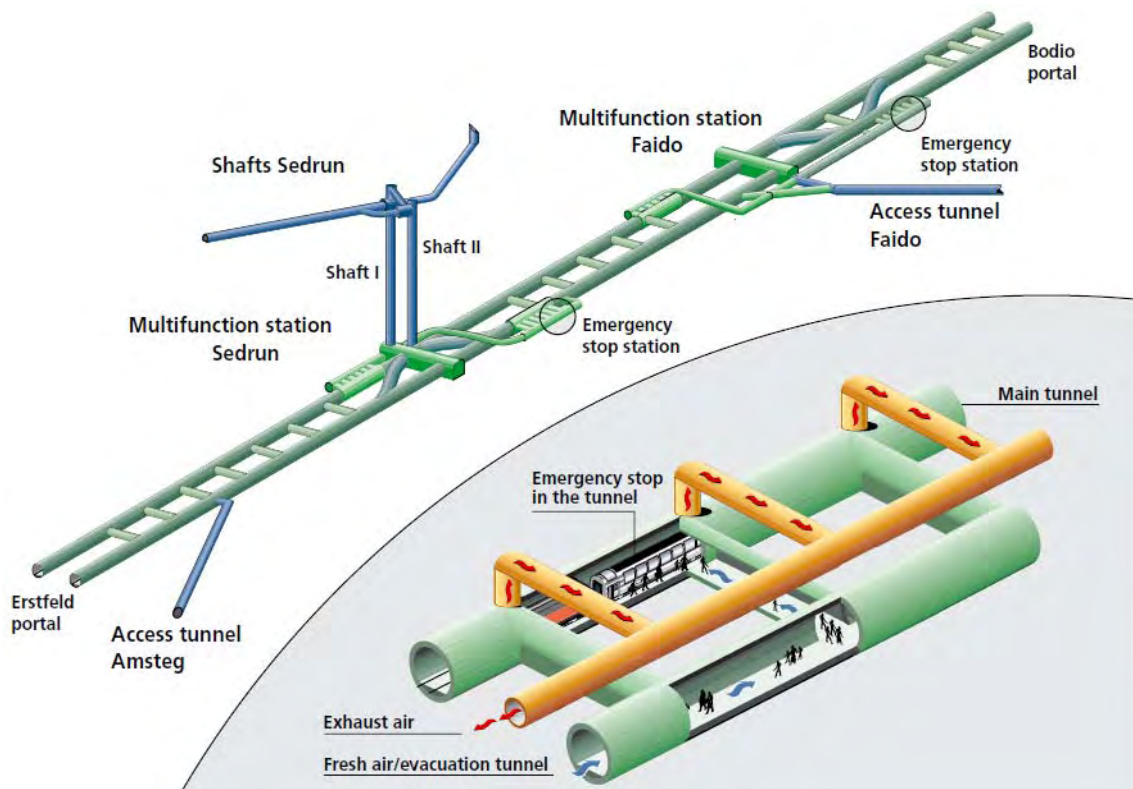


Εικόνα 8: Σιδηροδρομική σήραγγα Lötschberg (απόδοση στην κυκλοφορία το 1913). Κατασκευή του νοτίου στομίου σε χαλαρά εδάφη (Πηγή: Μαρίνος, 2005)

2.3 ΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, η εξέλιξη της τεχνολογίας και η βελτίωση της τεχνογνωσίας έδωσαν νέα ώθηση στην κατασκευή υπόγειων έργων, οδηγώντας σε σημαντική μείωση του κόστους και αύξηση της ασφάλειας, ακόμα και υπό δυσμενείς συνθήκες (Καλιαμπάκος, 2003). Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο Pelizza (1996): «Κάποτε τα υπόγεια έργα χαρακτηρίζονταν ως “τα τρία D”: Dirty - Difficult - Dangerous. Σταδιακά, χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας, οι σήραγγες έγιναν όλο και μακρύτερες». Στην Ευρώπη, οι σιδηροδρομικές και οδικές σήραγγες μεγάλου μήκους (μεγαλύτερου των 5 km) από 50 που ήταν το 1975 αυξήθηκαν στις 160 το 2000. Παρόμοια έκρηξη κατασκευαστικής δραστηριότητας δε σημειώθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ στην Ασία, η κατασκευή συγκοινωνιακών σιδηροδρόμων μεγάλου μήκους ξεκίνησε τη δεκαετία του 1940 και συγκεκριμένα στην Ιαπωνία, η οποία σήμερα ηγείται της κατασκευής μεγάλου μήκους σιδηροδρόμων (87 μέχρι το 2005). Στην Κίνα, η πρώτη μεγάλη σιδηροδρομική σήραγγα ολοκληρώθηκε το 1966 (Mulder *et al.*, 2007).

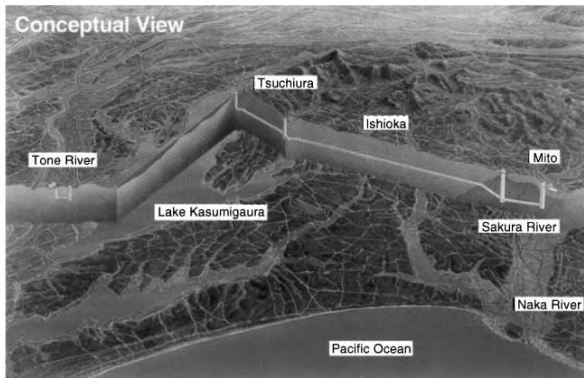
Περίπου στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, η υποχώρηση της σιδηροδρομικής κίνησης και η αύξηση της οδικής κυκλοφορίας σηματοδότησαν την έναρξη μιας περιόδου κατασκευής σημαντικών οδικών σήραγγων στις Άλπεις, μεταξύ των οποίων οι σήραγγες Mont Blanc, μήκους 11.6 km (1959-1964), St.Gotthard, μήκους 16.3 km (1969-1980) και Frejus, μήκους 12.9 km (1974-1979) (ΕΕΣΥΕ, 2005). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών αναπτύχθηκε ένα πανευρωπαϊκό σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλών ταχυτήτων, το οποίο συνεχώς επεκτείνεται (Πηγή: AlpTransit Gotthard). Σημαντικό τμήμα του δικτύου αυτού θα αποτελέσουν οι Σήραγγες Βάσης των Άλπεων, οι οποίες κατασκευάζονται σε χαμηλότερο υψόμετρο από τις παλιές, με αποτέλεσμα να είναι μακρύτερες και να βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη (Μαρίνος, 2005). Η Σήραγγα Βάσης St.Gotthard θα αποτελέσει τη μακρύτερη σιδηροδρομική σήραγγα του κόσμου, περιλαμβάνοντας δύο σήραγγες μονής τροχιάς μήκους 57 km και αξονικής απόστασης 40 m, με συνδετήριες στοές κάθε 300 m (Σχήμα 3) (ΕΕΣΥΕ, 2005).



Σχήμα 3: Τριδιάστατη απεικόνιση της Σήραγγας Βάσης St.Gotthard στις Άλπεις (Πηγή: AlpTransit Gotthard)

Εξίσου εντυπωσιακά δείγματα των σημερινών υπόγειων κατασκευαστικών δυνατοτήτων αποτελούν και οι σήραγγες μεταφοράς νερού. Η σημασία τους είναι, μάλιστα, ιδιαίτερα αυξημένη σήμερα, καθώς οι υδάτινοι πόροι του πλανήτη

αντιμετωπίζουν, στην πλειοψηφία τους, προβλήματα ρύπανσης και εξάντλησης των αποθεμάτων τους, ενώ οι πηγές καθαρού νερού βρίσκονται, συνήθως, μακριά από τον τόπο κατανάλωσής του. Στην Ιαπωνία, το έργο μεταφοράς νερού “Kasumigaura” (“Kasumigaura Water Conveyance Project”) εξυπηρετεί πολλαπλούς σκοπούς, από τη διύλιση λιμναίου νερού μέχρι τη μεταφορά νερού σε αστικά κέντρα, αλλά και για βιομηχανική και αγροτική χρήση, μέσω σήραγγας συνολικού μήκους 45 km (Σχήμα 4, Εικόνα 10). Οι λόγοι που οδήγησαν στην υπόγεια κατασκευή του έργου ήταν η τοπογραφία της περιοχής, η ανεπάρκεια χώρου στην επιφάνεια, η περιβαλλοντική προστασία, αλλά και λόγοι ασφάλειας, καθώς η περιοχή είναι επίπεδη και αστικοποιημένη (Nordmark, 2002).



Σχήμα 4: Σχηματική απεικόνιση του έργου “Kasumigaura” (Πηγή: Nordmark, 2002)



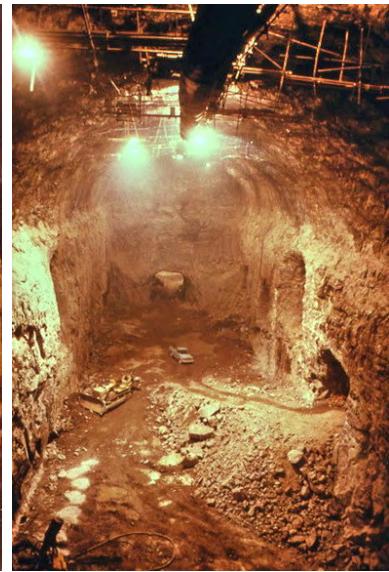
Εικόνα 10: Η σήραγγα μεταφοράς νερού στην περιοχή του ποταμού Naka (Πηγή: Nordmark, 2002)

Όμως, η χρήση του υπεδάφους δεν εξαντλείται μόνο σε μεταλλευτικούς και συγκοινωνιακούς σκοπούς ή στην κατασκευή υδραυλικών σιηράγγων για τη μεταφορά νερού. Σήμερα, σχεδόν όλων των ειδών οι χρήσεις έχουν τοποθετηθεί υπόγεια και τα παραδείγματα υπόγειων έργων από όλο τον κόσμο είναι εντυπωσιακά (Godard, 2004). Στο γεγονός αυτό συνέβαλλε καθοριστικά και η απόκτηση τεχνογνωσίας γύρω από την κατασκευή μεγάλων υπόγειων θαλάμων (caverns), των οποίων το πλάτος μπορεί να ξεπερνά τα 35 m (Καλιαμπάκος, 2003), σε καμιά περίπτωση όμως δεν μπορεί να ξεπεράσει τα ανοίγματα των φυσικών σπηλαίων. Οι περισσότεροι θάλαμοι μοιάζουν με σήραγγες μικρού μήκους, με το ύψος τους να ξεπερνάει το πλάτος, ωστόσο η μορφή τους εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη χρήση την οποία πρόκειται να φιλοξενήσουν (παραγωγή ενέργειας, αποθήκευση καυσίμων, στρατιωτικές εφαρμογές κ.λπ.), έπειτα από τη δομή του υπεδάφους και τέλος από τις κατασκευαστικές μεθόδους (Duffaut, 2007).

Μια σημαντική εφαρμογή των υπόγειων θαλάμων είναι η εγκατάσταση υδροηλεκτρικών και πυρηνικών σταθμών παραγωγής ενέργειας. Η κατασκευή υπόγειων υδροηλεκτρικών σταθμών (ΥΗΣ) ξεκίνησε το 1898 στις Ηνωμένες Πολιτείες και αργότερα στην Ευρώπη, ενώ τη δεκαετία του 1950 διαδόθηκε παγκοσμίως. Στη Νορβηγία, όπου το 99% της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από ΥΗΣ, βρίσκονται, σήμερα, οι 200 από τους 500 υπόγειους ΥΗΣ του κόσμου (Duffaut, 2007). Οι υπόγειοι ΥΗΣ περιλαμβάνουν μεγάλους υπόγειους θαλάμους όπου τοποθετείται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, καθώς και ένα δίκτυο σηράγγων ή φρεάτων (Καλιαμπάκος, 2003). Συγκριτικά με τους επιφανειακούς, οι υπόγειοι ΥΗΣ εμφανίζουν μικρότερο κόστος κατασκευής και συντήρησης και αυξημένα επίπεδα ασφάλειας και περιβαλλοντικής προστασίας (Μαυρίκος, 2006). Στην Αργεντινή, ο ΥΗΣ του ποταμού Ρίο Γκράντε (Εικόνες 11 και 12) με εγκατεστημένη ισχύ της τάξεως των 1000 MW, διαθέτει έναν κύριο θάλαμο πλάτους 25 m και ύψους 44 m, όπου έχουν εγκατασταθεί 4 ηλεκτρογεννήτριες (Hoek, 2006).



Εικόνα 11: Φάση κατασκευής της σήραγγας προσαγωγής του υπόγειου ΥΗΣ του Ρίο Γκράντε (Πηγή: Hoek, 2006)



Εικόνα 12: Φάση κατασκευής του υπόγειου θαλάμου του ΥΗΣ του Ρίο Γκράντε (Πηγή: Hoek, 2006)

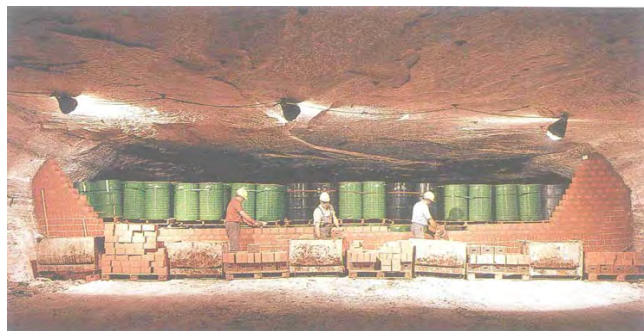
Υπόγειοι πυρηνικοί σταθμοί μικρής κλίμακας κατασκευάστηκαν κατά το παρελθόν στη Νορβηγία (1959) και τη Σουηδία (1963), όμως η πρακτική αυτή εγκαταλείφθηκε (Καλιαμπάκος, 2003). Τα τελευταία χρόνια, η κατασκευή υπόγειων πυρηνικών σταθμών εξετάζεται από πολλές χώρες του κόσμου, κυρίως από εκείνες που εισέρχονται στην εποχή της πυρηνικής ενέργειας (Duffaut, 2007). Συγκριτικά με τους επιφανειακούς, οι υπόγειοι πυρηνικοί σταθμοί προσφέρουν αυξημένη προστασία του

περιβάλλοντος έναντι αισθητικής υποβάθμισης και διαρροών μετά από πυρηνικό ατύχημα, καθώς επίσης τη δυνατότητα καλύτερου συνδυασμού με υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης ραδιενεργών αποβλήτων. Ένας σύγχρονος υπόγειος πυρηνικός σταθμός αποτελείται από μεγάλους υπόγειους θαλάμους, οι οποίοι συνδέονται μέσω δικτύου σηράγγων (Καλιαμπάκος, 2003) και είναι προστατευμένος τόσο από φυσικές απειλές (τυφώνες, πλημμύρες, αστάθεια πρανών, σεισμικές μετακινήσεις) όσο και από ανθρωπογενείς απειλές (βομβιστικές και πυραυλικές επιθέσεις, δολιοφθορά και τρομοκρατία) (Duffaut, 2007).

Η διάθεση επικίνδυνων αποβλήτων μέσα σε υπόγειους θαλάμους, αποτελεί σήμερα μια από τις σημαντικότερες χρήσεις του υπεδάφους (Μαυρίκος, 2006), καθώς η διαρκώς αυξανόμενη περιβαλλοντική ανησυχία επιβάλλει είτε την εξουδετέρωση των επιβλαβών για τη βιόσφαιρα ουσιών, είτε την απομόνωσή τους σε ασφαλείς χώρους για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Zimmels *et al.*, 2006). Ιδανικούς χώρους διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων συνιστούν οι υπόγειοι χώροι και τα εγκαταλελειμμένα μεταλλεία σε μεγάλα βάθη, καθώς επίσης τα αλατωρυχεία, διότι χάρη στις φυσικοχημικές ιδιότητες του ορυκτού άλατος τα απόβλητα απομονώνονται και δεν αλληλεπιδρούν με άλλους γεωλογικούς σχηματισμούς ή υπόγεια νερά. Ένα από τα πιο γνωστά υπόγεια κέντρα διάθεσης ραδιενεργών αποβλήτων είναι το κέντρο SFR (Final Storage For Reactor Waste) στη Σουηδία (Εικόνα 13) (Καλιαμπάκος, 2006), αλλά και το αλατωρυχείο Herfa-Neurode στη Γερμανία (Εικόνα 14), το οποίο λειτουργεί ως χώρος διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων (Zimmels *et al.*, 2006).



Εικόνα 13: Το υπόγειο κέντρο διάθεσης ραδιενεργών αποβλήτων SFR (Πηγή: Καλιαμπάκος, 2003)



Εικόνα 14: Το υπόγειο κέντρο διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων Herfa-Neurode (Πηγή: Μαυρίκος, 2006)

Η υπόγεια αποθήκευση υδρογονανθράκων είναι μια ακόμα χρήση του υπεδάφους που αποκτά ολοένα ευρύτερη αποδοχή, καθώς συμβάλλει στην εξασφάλιση στρατηγικών αποθεμάτων καυσίμων τα οποία επιτρέπουν τη μείωση της εξάρτησης μιας χώρας από εισαγωγές, καθώς επίσης την αδιάλειπτη τροφοδοσία και κατ'

επέκταση, την ομαλή λειτουργία μιας χώρας σε περιόδους κρίσεων ή δυσμενών διεθνών οικονομικών συγκυριών (Καλιαμπάκος, 2003). Η υπόγεια αποθήκευση υδρογονανθράκων πραγματοποιείται μέσα σε μεγάλους υπόγειους θαλάμους, είτε επενδεδυμένους είτε ανεπένδυτους, ανάλογα με το εκάστοτε υδρογεωλογικό καθεστώς και τις ιδιότητες του προϊόντος προς αποθήκευση (Dahlstrom *et al.*, 2004). Με την υπόγεια αποθήκευση υδρογονανθράκων επιτυγχάνεται μικρότερο κόστος ανάπτυξης των υπόγειων θαλάμων, μεγαλύτερη προστασία του περιβάλλοντος έναντι διαρροών και ατυχημάτων, αλλά και προστασία του αποθηκευμένου προϊόντος έναντι δολιοφθορών (Μαυρίκος, 2006). Στην Κορέα, η πρώτη υπόγεια εγκατάσταση αποθήκευσης αργού πετρελαίου κατασκευάστηκε την περίοδο 1981-1985 στις νότιες ακτές της. Πρόκειται για το συγκρότημα U-2 (Εικόνα 15), που αποτελείται από 12 υπόγειους θαλάμους πλάτους 18 m, ύψους 30 m και συνολικού μήκους 8814 m, με τον μακρύτερο θάλαμο να έχει μήκος 875 m (Lee and Song, 2003).



Εικόνα 15: Διάταξη του υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης αργού πετρελαίου U-2 στην Κορέα (Πηγή: Lee and Song, 2003)

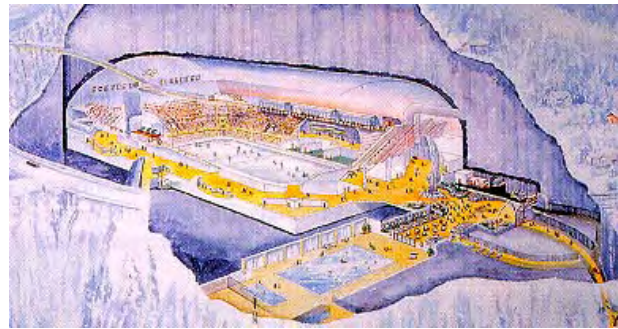
Ο υπόγειος χώρος έχει αποτελέσει εδώ και αρκετές δεκαετίες χώρο εγκατάστασης στρατιωτικών εφαρμογών, οι οποίες διακρίνονται για τις υψηλές απαιτήσεις απόκρυψης και ασφάλειας έναντι εξωτερικών απειλών. Παραδείγματα υπόγειων στρατιωτικών εφαρμογών εντοπίζονται σε όλο τον κόσμο και περιλαμβάνουν χώρους στρατηγείων και κέντρων επικοινωνιών, χώρους αποθήκευσης πυρομαχικών, χώρους στάθμευσης

αρμάτων και οχημάτων, καταφύγια, καθώς επίσης οχυρωματικά και αμυντικά έργα. Σήμερα, ένα από τα πιο γνωστά υπόγεια στρατιωτικά συγκροτήματα, εάν όχι το γνωστότερο, είναι το κέντρο ελέγχου της αεράμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών (North American Aerospace Defense Command ή NORAD), του οποίου η κατασκευή ξεκίνησε το 1961, ενώ η επιχειρησιακή του λειτουργία το 1966 (Εικόνα 16) (Καλιαμπάκος, 2003).

Εκτός από τις χρήσεις που προαναφέρθηκαν, ο υπόγειος χώρος φιλοξενεί σήμερα και κοινωφελείς χρήσεις, μεταξύ των οποίων πολλές αθλητικές εγκαταστάσεις. Εντυπωσιακό παράδειγμα αποτελεί η κατασκευή του “Gjøvic Olympic Mountain Hall” στη Νορβηγία (Σχήμα 5), όπου φιλοξενήθηκαν οι 17^{οι} Χειμερινοί Ολυμπιακοί Αγώνες του 1994 (Μαυρίκος, 2006). Ο υπόγειος θάλαμος βρίσκεται σε βάθος 25-50 m, έχει 61 m πλάτος, 25 m ύψος και 91 m μήκος και χωρητικότητα 5800 θεατών, γεγονός που τον καθιστά μέχρι σήμερα το μεγαλύτερο υπόγειο θάλαμο που έχει κατασκευαστεί για να δέχεται ανθρώπους. Η αθλητική εγκατάσταση εγκαινιάστηκε το Μάιο του 1993 και κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων φιλοξένησε 16 αγώνες χόκεϋ. Το επιτυχημένο παράδειγμα του “Gjøvic Olympic Mountain Hall”, οδήγησε στο να ξεπεραστούν οι φόβοι που συνδέονταν με την κατασκευή υπόγειων θαλάμων μεγάλων ανοιγμάτων (Duffaut, 2007).



Εικόνα 16: Κέντρο ελέγχου NORAD
(Πηγή: Καλιαμπάκος, 2003)



Σχήμα 5: “Gjøvic Olympic Mountain Hall”.
Σχηματική απεικόνιση (Πηγή: Μαυρίκος, 2006)

2.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αξιοποίηση των δυνατοτήτων του υπόγειου χώρου έχει οδηγήσει σήμερα στην ανάπτυξη ενός ευρύτατου φάσματος υπόγειων εφαρμογών, πέραν των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Ωστόσο, η χρήση του υπόγειου χώρου δεν είναι κάτι καινούριο, καθώς από τα πρώτα βήματά του ο άνθρωπος αναζήτησε στον υπόγειο χώρο προστασία από τις καιρικές συνθήκες και τα άγρια ζώα. Η ιστορική εξέλιξη της χρήσης του υπεδάφους φανερώνει ότι ο υπόγειος χώρος πάντοτε διαδραμάτιζε σημαντικό ρόλο

στην εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού, συμβάλλοντας στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου σε κάθε εποχή.

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, η εξέλιξη της τεχνολογίας και η βελτίωση της τεχνογνωσίας έδωσαν νέα ώθηση στην κατασκευή υπόγειων έργων, οδηγώντας σε σημαντική μείωση του κόστους και αύξηση της ασφάλειας, ακόμα και υπό δυσμενείς συνθήκες. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη εντυπωσιακών υπόγειων εφαρμογών, όπως υποθαλάσσιες σήραγγες, συγκοινωνιακές και υδραυλικές σήραγγες, υπόγειοι υδροηλεκτρικοί και πυρηνικοί σταθμοί, υπόγειες εγκαταστάσεις διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων, αποθήκευσης υδρογονανθράκων και στρατιωτικών εφαρμογών. Ωστόσο, η χρήση του υπόγειου χώρου δεν εξαντλείται εδώ, καθώς ένα ευρύτατο φάσμα υπόγειων εφαρμογών και κοινωφελών χρήσεων συναντάται και εντός των ορίων των πόλεων. Η υπόγεια ανάπτυξη των σύγχρονων πόλεων αποτελεί, αναμφισβήτητα, καθοριστικό παράγοντα της ποιότητας ζωής του σύγχρονου ανθρώπου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ

Ο αστικός υπόγειος χώρος φιλοξενεί σήμερα ένα ευρύτατο φάσμα δραστηριοτήτων, συμβάλλοντας καθοριστικά στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής των σύγχρονων πόλεων. Όσο τα αστικά κέντρα αναπτύσσονται, ο ρόλος του αστικού υπόγειου χώρου γίνεται ολοένα σημαντικότερος (Parker, 2006). Μάλιστα, ο 21^{ος} αιώνας αναμένεται να αποτελέσει τον αιώνα αξιοποίησης του υπόγειου χώρου, ακολουθώντας τις γέφυρες του 19^{ου} αιώνα και τα πολυώροφα κτήρια του 20^{ου} αιώνα (International Tunnelling Association, 1992). Στις παραγράφους που ακολουθούν, επιχειρείται η παρουσίαση των κυριότερων δυνατοτήτων ανάπτυξης του υπόγειου χώρου των πόλεων, μέσα από επιλεγμένα παραδείγματα διεθνώς. Πριν από αυτό, όμως, κρίνεται σκόπιμος ο ακριβής προσδιορισμός του όρου «υπόγειος» χώρος.

3.1 ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΧΩΡΩΝ

Ο «υπόγειος» χώρος αναφέρεται στο χώρο ο οποίος βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Rönkä *et al.*, 1998). Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τη θέση του σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους και την επαφή του με το εξωτερικό περιβάλλον, μπορούν να διακριθούν τρεις τύποι υπόγειων χώρων, οι οποίοι στην πράξη συνδυάζονται μεταξύ τους, αλλά και με κτήρια που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003).

3.1.1 ΤΕΛΕΙΩΣ ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΧΩΡΟΙ (“FULLY UNDERGROUND SPACES”)

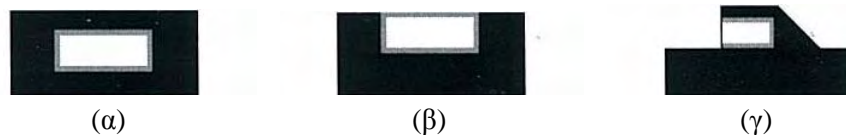
Οι χώροι που είναι τελείως υπόγειοι (Σχήμα 6α), μπορεί να βρίσκονται αρκετά βαθιά ή ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και η πρόσβαση σε αυτούς να γίνεται μέσω μιας επιφανειακής εισόδου ή μέσω ενός άλλου υπόγειου χώρου. Οι χώροι αυτοί έχουν ελάχιστη ή καθόλου επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και συνεπώς, εξασφαλίζουν την απαραίτητη ποσότητα φωτός και αέρα αποκλειστικά με μηχανικά μέσα. Η έλλειψη φυσικού φωτός και οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον, καθιστά την παρατεταμένη παραμονή σε αυτούς τους χώρους λιγότερο ευχάριστη. Ο συγκεκριμένος τύπος κατασκευής συναντάται κυρίως στις υποδομές, όπως, για παράδειγμα, στους σταθμούς μετρό. Ωστόσο, οι χώροι αυτοί μπορούν να συγκριθούν με αντίστοιχους χώρους στην επιφάνεια που δε διαθέτουν φυσικό φωτισμό, όπως μεγάλα πολυκαταστήματα (π.χ. ΙΚΕΑ) και βιομηχανικά συγκροτήματα (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003).

3.1.2 ΒΥΘΙΣΜΕΝΟΙ ΧΩΡΟΙ (“SUBMERGED SPACES”)

Οι βυθισμένοι χώροι (Σχήμα 6β) βρίσκονται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και μπορεί να εκτείνονται σε μεγάλα βάθη, διατηρώντας πάντοτε άμεση επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και το φυσικό φως. Η παροχή φυσικού φωτός επιτυγχάνεται με τη δημιουργία αίθριων και θόλων στην επιφάνεια του εδάφους. Ένα αίθριο μπορεί να μεταφέρει σε αρκετά μεγάλα βάθη το φυσικό φως, καθώς επίσης εικόνες από το εξωτερικό περιβάλλον. Όταν οι βυθισμένοι χώροι είναι καλά σχεδιασμένοι, ακόμα και η παρατεταμένη παραμονή σε αυτούς μπορεί να καταστεί ευχάριστη (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003).

3.1.3 ΧΩΡΟΙ ΚΑΛΥΜΜΕΝΟΙ ΜΕ ΧΩΜΑ (“EARTH-COVERED SPACES”)

Οι χώροι που καλύπτονται με χώμα (Σχήμα 6γ) δεν είναι, για την ακρίβεια, υπόγειοι, καθώς βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους, όμως διαθέτουν ένα εδαφικό κάλυμμα. Το φυσικό φως εισέρχεται στο χώρο κανονικά και η εξωτερική θέαση παραμένει συνήθως ανεπηρέαστη. Αυτός ο τύπος κατασκευής είναι απαλλαγμένος από τις τεχνικές δυσκολίες του υπόγειου χώρου, ενώ ταυτόχρονα απολαμβάνει τα χωρικά του οφέλη, καθώς η υπερυψωμένη στάθμη του εδάφους μπορεί να διαμορφωθεί ως πάρκο, τοπίο ή αστικό περιβάλλον (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003).



Σχήμα 6: Τύποι υπόγειων χώρων (Πηγή: Meijnenfeldt and Regenboog, 2003)

3.2 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ

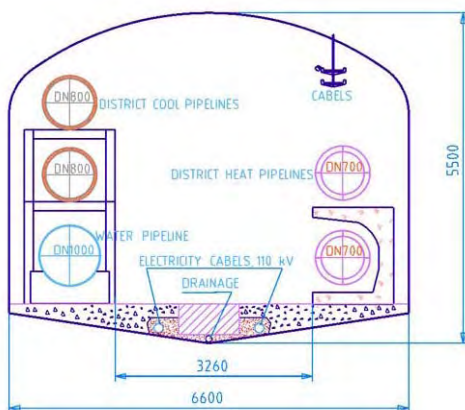
3.2.1 ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ (“UTILITY TUNNELS”)

Η εγκατάσταση δικτύων κοινής ωφέλειας αποτελεί, μέχρι σήμερα, την πιο εκτεταμένη χρήση του αστικού υπεδάφους, με αποτέλεσμα ο χώρος που βρίσκεται κάτω από τους δρόμους των σύγχρονων πόλεων να καταλαμβάνεται από δίκτυα κοινής ωφέλειας έως και το βάθος των 2 m. Η συσσώρευση των προβλημάτων που προκάλεσε η συμφόρηση στο αβαθές τμήμα του αστικού υπεδάφους, οδήγησε σε αύξηση του ενδιαφέροντος για την τοποθέτηση των δικτύων κοινής ωφέλειας μέσα σε σήραγγες, ως μέσου επίλυσης των προβλημάτων αυτών (Cano-Hurtado and Canto-Perello, 1999).

Οι σήραγγες δικτύων κοινής ωφέλειας επιτρέπουν την τοποθέτηση διάφορων τύπων δικτύων κοινής ωφέλειας (ενέργειας, ύδρευσης, αποχέτευσης, επικοινωνιών και

αερίου) σε έναν εύκολα προσβάσιμο χώρο, διευκολύνοντας την εγκατάσταση, τον έλεγχο, τη συντήρηση και την αντικατάστασή τους κάτω από οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες. Βεβαίως, η συνήθης πρακτική εγκατάστασης των δικτύων κοινής ωφέλειας απευθείας μέσα στο έδαφος θεωρείται ταχύτερη και φθηνότερη, καθώς δεν απαιτεί τη διάνοιξη σήραγγας, ωστόσο η ανάγκη εκσκαφής του οδοστρώματος για την επέκταση, συντήρηση και αντικατάσταση των δικτύων κοινής ωφέλειας και η σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητάς του, στην ουσία επιφέρουν αύξηση του κόστους. Επιπλέον, η ανάγκη εκσκαφής του οδοστρώματος προκαλεί διακοπή της κυκλοφορίας και αυξάνει την πιθανότητα πρόκλησης βλαβών σε άλλα δίκτυα (Canto-Perello *et al.*, 2009).

Υιοθετώντας μια ενοποιημένη προσέγγιση, η πόλη του Ελσίνκι προχώρησε στην ανάπτυξη ενός συστήματος σήραγγων δικτύων κοινής ωφέλειας σε βάθος 30-80 m κάτω από την πόλη, το μήκος του οποίου ξεπερνάει τα 40 km. Οι σήραγγες έχουν ύψος 5 m και πλάτος 7 m περίπου (Σχήμα 7 και Εικόνα 17) (Chow *et al.*, 2002) και φιλοξενούν τα δίκτυα θέρμανσης και ψύξης, ηλεκτρικής ενέργειας και ύδρευσης, καθώς επίσης πλήθος καλωδιακών συνδέσεων (Πηγή: City of Helsinki).



Σχήμα 7: Τυπική διατομή σήραγγας δικτύων κοινής ωφέλειας στο Ελσίνκι (Πηγή: City of Helsinki)



Εικόνα 17: Σήραγγα δικτύων κοινής ωφέλειας στο Ελσίνκι (Πηγή: City of Helsinki)

3.2.2 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Όπως ακριβώς η λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού εξαρτάται από το κυκλοφορικό του σύστημα, έτσι και η λειτουργία μιας πόλης εξαρτάται από τα δίκτυα κοινής ωφέλειας και τις μεταφορικές της υποδομές (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003). Τα διαρκώς αυξανόμενα προβλήματα της κυκλοφοριακής συμφόρησης, της υποβάθμισης του αστικού περιβάλλοντος και της έλλειψης διαθέσιμου επιφανειακού χώρου, οδήγησαν στην ανάπτυξη υπόγειων μεταφορικών υποδομών με αποτέλεσμα τον

περιορισμό της κυκλοφοριακής συμφόρησης και κατ' επέκταση τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την εξοικονόμηση χρόνου και ενέργειας, την καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου και την αισθητική αναβάθμιση του αστικού τοπίου (Parker, 2004). Οι αστικές υπόγειες μεταφορικές υποδομές περιλαμβάνουν υπόγειους μητροπολιτικούς σιδηρόδρομους, υπόγειους αυτοκινητόδρομους, καθώς επίσης υπόγεια συστήματα διανομής.

3.2.2.1 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΟΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΙ («ΜΕΤΡΟ»)

Ο υπόγειος μητροπολιτικός σιδηρόδρομος, όπως έχει ήδη αναφερθεί, έκανε την εμφάνισή του στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και σήμερα αποτελεί ένα βασικό αστικό συγκοινωνιακό μέσο για πολλά μεγάλα αστικά κέντρα παγκοσμίως. Ως μέσο μαζικής μεταφοράς, το «μετρό» συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής εξυπηρετώντας πρωτίστως τις πυκνοκατοικημένες περιοχές μιας πόλης, μέσω της διασύνδεσης πολυσύχναστων σημείων, όπως νοσοκομεία, πανεπιστήμια, πολιτιστικά και εμπορικά κέντρα, αλλά και χώρους αναψυχής (Tzouvadakis and Batsos, 2007b).

Οι σταθμοί του «μετρό» αποτελούν αφενός πύλες εισόδου - εξόδου προς και από τις απολήξεις ενός λειτουργικού δικτύου και αφετέρου χώρους πληροφόρησης, συνάντησης και συναλλαγής, γεγονός που υποδηλώνει και την κοινωνική του διάσταση (Triantis *et al.*, 2007). Συμπαράσυνροντας με αναπλάσεις και παρεμβάσεις τις ευρύτερες περιοχές, οι σταθμοί του «μετρό» συμβάλλουν στο μετασχηματισμό του αστικού τοπίου. Έτσι, η παρουσία τους σε μια αστική περιοχή αυξάνει την ελκυστικότητά της, αλλά και την αξία της γης, συμβάλλοντας τόσο στην ποσοτική όσο και την ποιοτική αναβάθμιση της οικονομικής δραστηριότητας (Μπάτσος και Τζουβαδάκης, 2009).

Ένας από τους πιο σύγχρονους μητροπολιτικούς σιδηρόδρομους στον κόσμο είναι το Μετρό της Αθήνας, του οποίου η κατασκευή ξεκίνησε το 1992 με τη χρήση των πιο σύγχρονων τεχνολογιών. Το Μετρό της Αθήνας διαθέτει 2 γραμμές συνολικού μήκους 30.4 km και 28 σύγχρονους σταθμούς (Εικόνες 18 και 19) και μαζί με το Τραμ, τον Προαστιακό Σιδηρόδρομο και τον Ηλεκτρικό Σιδηρόδρομο Αθηνών - Πειραιώς, συμβάλλει στη σύνθεση ενός σύγχρονου συγκοινωνιακού δικτύου και την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής στην ελληνική πρωτεύουσα (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ). Επιπλέον, οι σταθμοί του Μετρό, διαδραματίζουν πρωταρχικό ρόλο στην αναμόρφωση του αστικού ιστού, καθώς στις περιοχές γύρω από τους σταθμούς πραγματοποιούνται πολεοδομικές παρεμβάσεις και κυκλοφοριακές ρυθμίσεις, με αποτέλεσμα τη βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών, της ασφάλειας και της αισθητικής του αστικού τοπίου

(Tzounadakis and Batsos, 2007a). Μια από τις πιο εντυπωσιακές πολεοδομικές παρεμβάσεις αποτελεί η πεζογέφυρα Calatrava στο σταθμό «Κατεχάκη», με σκοπό τη σύνδεση των δύο πλευρών της Λεωφόρου Μεσογείων (Εικόνα 20) (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ).



Εικόνα 18: Άποψη σταθμού του Μετρό της Αθήνας (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ)



Εικόνα 19: Άποψη αποβάθρας του Μετρό της Αθήνας (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ)



Εικόνα 20: Η πεζογέφυρα Calatrava στο σταθμό «Κατεχάκη» (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ)

3.2.2.2 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ

Η παρουσία μεγάλων οδικών αρτηριών, είτε επιφανειακών είτε υπερυψωμένων, μέσα στον αστικό ιστό, προκαλεί αισθητική υποβάθμιση του αστικού τοπίου, αλλά και διαχωρισμό της πόλης σε επιμέρους τομείς. Επιπλέον, οι μεγάλες οδικές αρτηρίες αποτελούν πηγή ηχητικής και ατμοσφαιρικής ρύπανσης και απωθούν την εγκατάσταση πληθυσμού στις περιοχές που τις περιβάλλουν, με αποτέλεσμα την πτώση των αξιών γης και την εμφάνιση κοινωνικών προβλημάτων που με την πάροδο του χρόνου διαρρηγνύουν τον κοινωνικό ιστό της πόλης. Ως απάντηση στα παραπάνω προβλήματα, αναπτύχθηκαν στις πόλεις οι υπόγειοι αυτοκινητόδρομοι (Parker, 2004).

Το τεράστιο οδικό έργο “Big Dig” είχε σκοπό τη βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών κατά μήκος της Βοστώνης, μέσω της αντικατάστασης της υπερυψωμένης Κεντρικής Αρτηρίας από έναν υπόγειο αυτοκινητόδρομο. Η Κεντρική Αρτηρία λειτουργούσε από το 1959, διχοτομώντας ουσιαστικά τη Βοστώνη και εξυπηρετώντας μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο από τον προβλεπόμενο, με αποτέλεσμα την εμφάνιση κυκλοφοριακής συμφόρησης και την πρόκληση μεγάλου αριθμού ατυχημάτων. Με το έργο “Big Dig”, το οποίο ξεκίνησε το 1991 και ολοκληρώθηκε το 2005, η υπερυψωμένη Κεντρική Αρτηρία κατεδαφίστηκε και αντικαταστάθηκε από έναν υπόγειο αυτοκινητόδρομο 10 λωρίδων κυκλοφορίας, απελευθερώνοντας πολύτιμο επιφανειακό χώρο για τη δημιουργία ελκυστικών λεωφόρων και πάρκων (Εικόνες 21 και 22) (Πηγή: Roadtraffic-technology.com).



Εικόνα 21: Το κέντρο της Βοστώνης πριν το έργο “Big Dig” (Πηγή: Paul *et al.*, 2002)



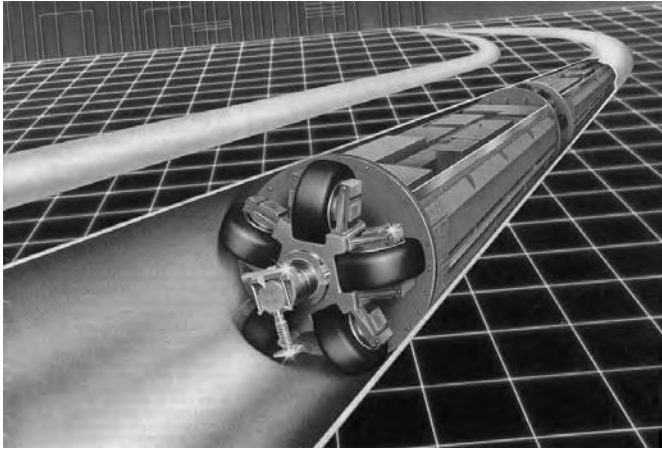
Εικόνα 22: Το κέντρο της Βοστώνης μετά το έργο “Big Dig” (Πηγή: Paul *et al.*, 2002)

3.2.2.3 ΥΠΟΓΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

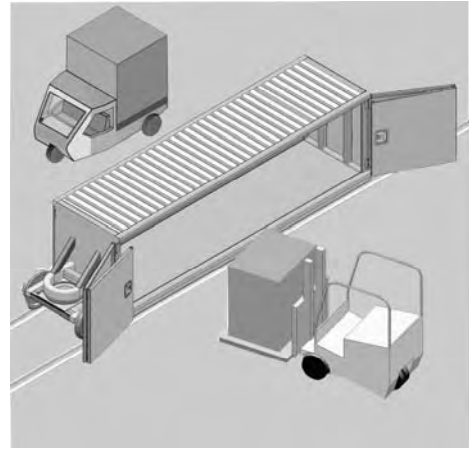
Στην πλειοψηφία τους, οι μεγαλύτερες πόλεις του κόσμου έχουν αναπτύξει μεταφορικές υποδομές για τη μετακίνηση ανθρώπων, τόσο επιφανειακά όσο και υπόγεια, ωστόσο υπάρχει έλλειψη ενός ξεχωριστού συστήματος για τη μετακίνηση φορτίων υπόγεια, ή μεταξύ της επιφάνειας και του υπεδάφους (Liu and Lenau, 2009). Το κενό αυτό μπορεί να καλυφθεί με την ανάπτυξη υπόγειων συστημάτων διανομής φορτίων, όπου τα φορτία θα μεταφέρονται είτε μέσα σε βαγόνια μέσω σιδηροδρομικών γραμμών, είτε μέσα σε μη επανδρωμένα ηλεκτροκίνητα οχήματα, είτε μέσα σε κάψουλες μέσω της κίνησης πεπιεσμένου αέρα μέσα στον αγωγό (Σχήματα 8 και 9) (Yokotsuka *et al.*, 2007).

Οι λύσεις αυτές οδηγούν σε σημαντική μείωση του αριθμού των οχημάτων που κινούνται στους δρόμους και κατ’ επέκταση σε μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, του θορύβου και των ατυχημάτων που προκαλούνται από την κίνηση των φορτηγών. Επιπλέον, αυξάνουν την προστασία και την ασφάλεια, διασφαλίζουν ταχύτερη και πιο αξιόπιστη μεταφορά των φορτίων και απαιτούν λιγότερη ενέργεια. Μεταξύ των

δυνατών εφαρμογών των υπόγειων αυτών συστημάτων στις μεγάλες πόλεις είναι η μεταφορά στερεών αποβλήτων, η διανομή αγαθών και η μεταφορά “container” από και προς τα λιμάνια (Lavagno and Schranz, 2007).



Σχήμα 8: Κάψουλα πεπιεσμένου αέρα κυκλικής διατομής (Πηγή: Liu and Lenau, 2009)

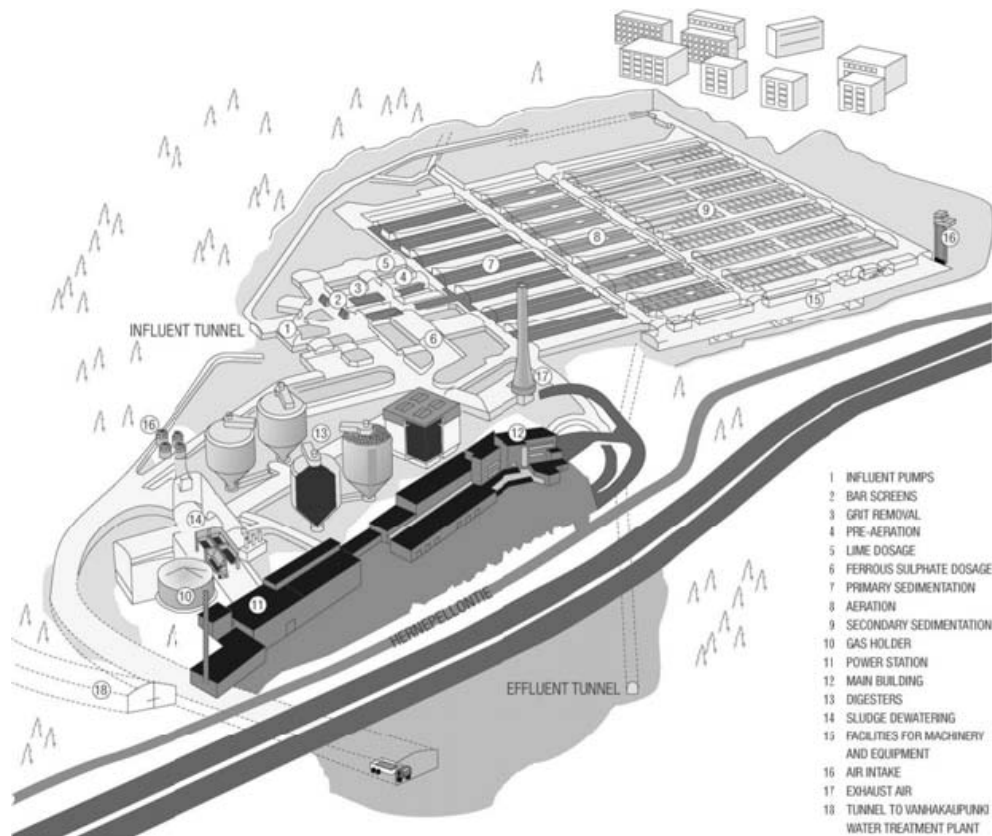


Σχήμα 9: Κάψουλα πεπιεσμένου αέρα ορθογωνικής διατομής (Πηγή: Liu and Lenau, 2009)

3.2.3 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Λόγω της υπόγειας θέσης τους, οι υπόγειες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων προστατεύουν το άμεσο περιβάλλον τους από την αισθητική υποβάθμιση και την έκθεση σε δυσάρεστες και επιβλαβείς οσμές και επιπλέον συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι θερμοκρασιακά ευαίσθητη και η σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους καθιστά τον έλεγχο της διαδικασίας ενεργειακά αποδοτικότερο (Parker, 2004).

Η μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Viikinmaki της Φινλανδίας αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους υπόγειους χώρους στον κόσμο (Σχήμα 10), όπου πραγματοποιείται η επεξεργασία όλων των υγρών αποβλήτων του Ελσίνκι (Paul *et al.*, 2002). Η συγκέντρωση της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε μία μονάδα και η χρήση των πιο σύγχρονων τεχνολογιών, οδήγησαν στη σταδιακή βελτίωση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας, αλλά και της ποιότητας των νερών ανοικτά του Ελσίνκι. Επιπλέον, η επανάκτηση των εκτάσεων που καταλάμβαναν οι παλιές μονάδες και η μετατροπή τους σε περιοχές κατοικίας, πάρκα ή εγκαταστάσεις αναψυχής, συνέβαλλαν σημαντικά στη βελτίωση του αστικού τοπίου (Πηγή: Helsinki Water). Η περιοχή πάνω από την υπόγεια μονάδα αποτέλεσε ιδανική τοποθεσία για την ανάπτυξη μιας νέας περιοχής κατοικίας, η οποία έχει έκταση 600 στρεμμάτων και περιλαμβάνει πάρκα και κατοικίες για 3500 ανθρώπους (Paul *et al.*, 2002).



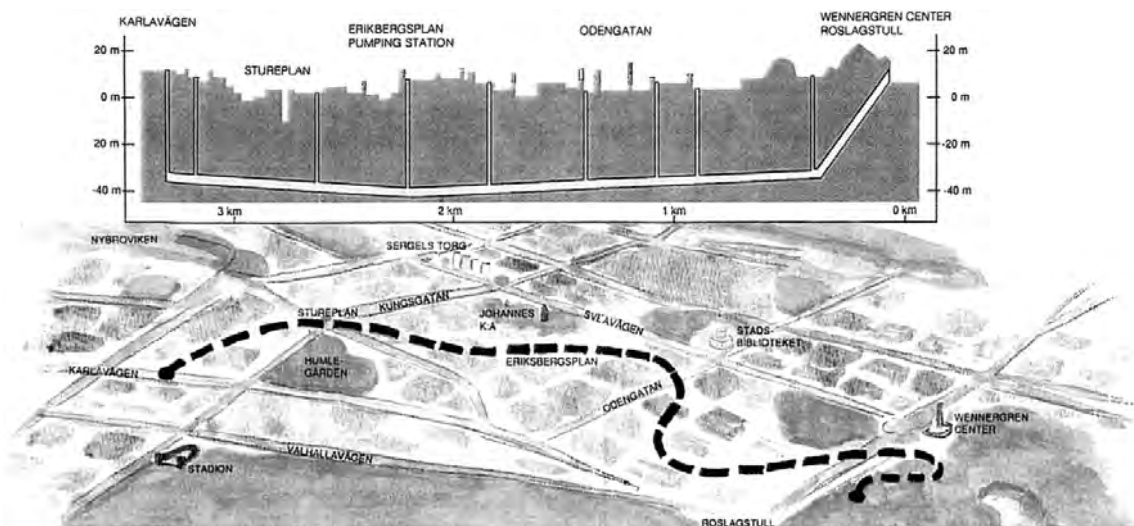
Σχήμα 10: Οι υπόγειες και επιφανειακές εγκαταστάσεις της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Viikinmäki (Πηγή: Chow *et al.*, 2002)

3.2.4 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Με την ανάπτυξη των αστικών περιοχών, η φυσική γήινη επιφάνεια καταλαμβάνεται προοδευτικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας του εδάφους να απορροφά το νερό. Έτσι, οι ποταμοί υπερχειλίζουν σήμερα με τη μικρότερη ένταση βροχής που έχει σημειωθεί ποτέ, ενώ η απορροή των υδάτων που παρατηρείται στις πόλεις είναι έντονη, οδηγώντας συχνά σε πλημμύρες και υποβάθμιση των υγειονομικών συνθηκών. Συνεπώς, η κατασκευή υπόγειων εγκαταστάσεων πλημμυρικού ελέγχου αποκτά ολοένα μεγαλύτερη σημασία για τις πόλεις (Nordmark, 2002).

Το αποχετευτικό σύστημα της Στοκχόλμης αποτελείται από ένα δίκτυο αγωγών, οι οποίοι οδηγούν τα όμβρια μαζί με τα ακάθαρτα ύδατα στις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Κατά τη διάρκεια των έντονων βροχοπτώσεων η χωρητικότητα του αποχετευτικού συστήματος δεν επαρκούσε, με αποτέλεσμα την υπερχειλίση των υγρών αποβλήτων και την κατάληξή τους στη λίμνη Malar (Tollerup, 1993). Για την επίλυση του σημαντικού αυτού προβλήματος που οδηγούσε σε σταδιακή υποβάθμιση της λίμνης, κατασκευάστηκε μια ενιαία σήραγγα, το “Snake Tunnel” (Σχήμα 11), με σκοπό

την προσωρινή αποθήκευση της πλεονάζουσας ποσότητας υγρών αποβλήτων κατά τη διάρκεια των έντονων βροχοπτώσεων, μέχρι να μειωθεί η πίεση που δέχονται οι αγωγοί και οι μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, αποτρέποντας έτσι τον κίνδυνο πλημμύρας. Το “Snake Tunnel” διέρχεται σε βάθος 10-40 m κάτω από το κέντρο της Στοκχόλμης και έχει μήκος 3.2 km και χωρητικότητα 32000 m³ (Tollerup, 1993, Nordmark, 2002).



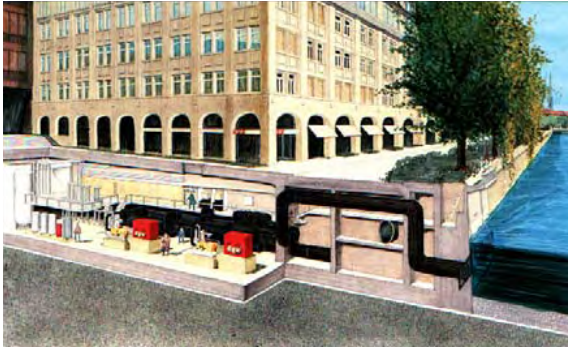
Σχήμα 11: Μηκοτομή και οριζοντιογραφία του “Snake Tunnel” (Πηγή: Nordmark, 2002)

3.2.5 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η Γη διαθέτει τεράστια αποθέματα θερμικής ενέργειας (Paul *et al.*, 2002). Επομένως, ο υπόγειος χώρος από μόνος του αποτελεί μια άμεση πηγή ενέργειας (Lavagno and Schranz, 2007). Η θερμική αυτή ενέργεια, που είτε περιέχεται στο έδαφος είτε στο υπόγειο νερό, χρησιμοποιείται σήμερα για την αποδοτική θέρμανση και ψύξη μεμονωμένων κτηρίων, ακόμη και ολόκληρων αστικών περιοχών που χαρακτηρίζονται από ακραίες κλιματικές συνθήκες. Η εφαρμογή των συστημάτων αυτών βασίζεται στη λειτουργία αντλιών θερμότητας, οι οποίες αποσπούν θερμότητα από το υπέδαφος το χειμώνα και αποδίδουν θερμότητα στο υπέδαφος το καλοκαίρι (Nielsen, 2003). Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης αστικών περιοχών συμβάλλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (International Energy Agency, 2002).

Δύο σημαντικά παραδείγματα υπόγειων μονάδων παραγωγής ενέργειας αποτελούν η εγκατάσταση αντλιών θερμότητας στη Ζυρίχη της Ελβετίας και η μονάδα θέρμανσης στην Ίμολα της Ιταλίας, που ανήκουν στα τοπικά συστήματα θέρμανσης των αντίστοιχων αστικών περιοχών. Στη Ζυρίχη, η εγκατάσταση των αντλιών θερμότητας

βρίσκεται κάτω από ένα κήπο κοντά στην όχθη του ποταμού Λιμάτ, ο οποίος αποτελεί την θερμική πηγή (Σχήμα 12). Η κεντρική μονάδα θέρμανσης στην Ίμολα (Εικόνα 23) που τροφοδοτεί το τοπικό σύστημα θέρμανσης, βρίσκεται στη μέση ενός πάρκου το οποίο περιβάλλεται από εγκαταστάσεις αναψυχής (Lavagno and Schranz, 2007).



Σχήμα 12: Η εγκατάσταση των αντλιών θερμότητας στη Ζυρίχη
(Πηγή: Lavagno and Schranz, 2007)



Εικόνα 23: Η κεντρική μονάδα θέρμανσης στην Ίμολα
(Πηγή: Lavagno and Schranz, 2007)

3.2.6 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ

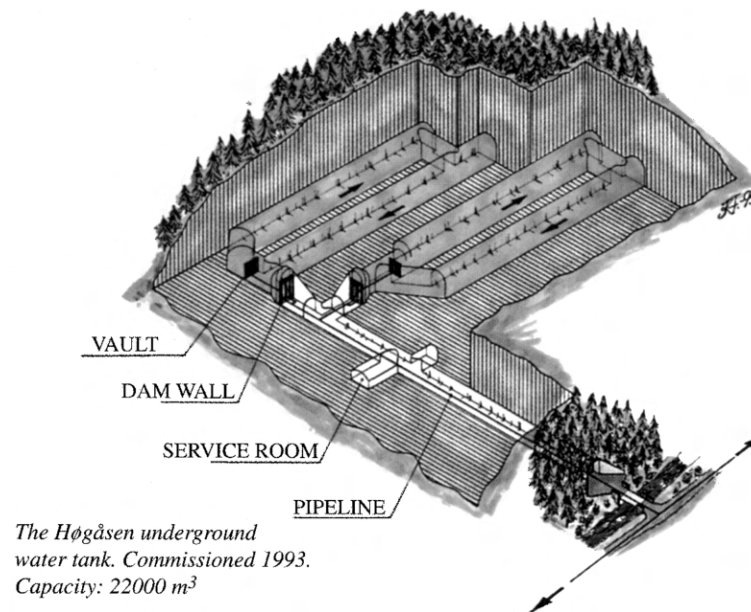
Μια από τις πιο διαδεδομένες χρήσεις του αστικού υπεδάφους είναι η αποθήκευση. Στο παρελθόν, τα υπόγεια αποτελούσαν χώρους αποθήκευσης ευπαθών προϊόντων, κρασιού και πάγου, ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται πρωτίστως ως χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων. Ωστόσο, η στάθμευση των αυτοκινήτων, είτε σε ιδιωτικούς είτε σε δημόσιους υπόγειους χώρους, αποτελεί μια από τις πολλές μορφές υπόγειας αποθήκευσης που συναντώνται στις σύγχρονες πόλεις (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003).

3.2.6.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΝΕΡΟΥ

Η κατασκευή εγκαταστάσεων αποθήκευσης και μεταφοράς νερού για τις πόλεις είναι αναπόφευκτη, καθώς η ανάγκη εξασφάλισης των απαραίτητων ποσοτήτων νερού που θα διασφαλίζουν σταθερή παροχή στο δίκτυο ύδρευσης, είναι ζωτικής σημασίας, ιδιαίτερα σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ξηρασία και ανομβρία (Nordmark, 2002). Η αποθήκευση σε κλειστές επιφανειακές δεξαμενές προστατεύει το νερό από την επίδραση του ήλιου και της ρύπανσης από επιφανειακά ρέοντα νερά και παρέχει τη δυνατότητα διατήρησης της θερμοκρασίας του (Καλλιανιώτης *et al.*, 2009). Με την κατασκευή υπόγειων θαλάμων αποθήκευσης νερού, η οποία πραγματοποιείται ανεξάρτητα από την ανεπάρκεια χώρου στην επιφάνεια (Nordmark, 2002), επιτυγχάνεται μεγαλύτερος βαθμός ασφάλειας έναντι της ρύπανσης, της δολιοφθοράς

και της απειλής πολέμου, σταθερή και χαμηλή θερμοκρασία του νερού, αλλά και χαμηλότερο κόστος συντήρησης (Broch, 2007).

Στη Νορβηγία, λόγω των ευνοϊκών γεωλογικών συνθηκών, το νερό αποθηκεύεται σε υπόγειους θαλάμους από το 1950 (Nordmark, 2002). Στην πόλη Τρόντσαϊμ, η οποία υδροδοτείται από τη λίμνη Jonsvatnet μέσω ενός δικτύου σηράγγων, το νερό αποθηκεύεται σε διάφορους υπόγειους θαλάμους γύρω από την πόλη (Broch, 2007). Μεταξύ αυτών, το υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης νερού “Høgåsen” (Σχήμα 13) έχει χωρητικότητα 22000 m³ και αποτελείται από ένα σύστημα δίδυμων σηράγγων πλάτους 8 m και ύψους 8.5 m (Nordmark, 2002).



Σχήμα 13: Το υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης νερού “Høgåsen” (Πηγή: Nordmark, 2002)

3.2.6.2 ΥΠΟΓΕΙΑ ΨΥΧΡΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Οι υπόγειες εγκαταστάσεις ψυχρής αποθήκευσης παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις αντίστοιχες επιφανειακές εγκαταστάσεις. Λόγω των φυσικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους, τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας των χώρων αυτών δεν επηρεάζονται από εποχιακές μεταβολές, με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις σε μόνωση και ενεργειακή κατανάλωση προκειμένου να διατηρηθεί η θερμοκρασία σε χαμηλά επίπεδα, να είναι ελάχιστες (Brachos and Benardos, 2007). Επιπλέον, σε περίπτωση που ο ψυκτικός μηχανισμός ενός τέτοιου χώρου τεθεί εκτός λειτουργίας, η ψυχρή περιβάλλουσα βραχόμαζα περιορίζει σημαντικά την άνοδο της θερμοκρασίας του υπόγειου χώρου. Έτσι, ο υπόγειος χώρος χρησιμοποιείται είτε για την αποθήκευση προϊόντων όπως φρούτα και λαχανικά, σε κανονική θερμοκρασία ψύξης της τάξεως

των +2 με +5 °C, είτε για την αποθήκευση προϊόντων όπως ψάρι, κρέας και παγωτό, σε χαμηλές θερμοκρασίες της τάξεως των -20 με -25 °C.

Η πόλη Τρόντχαϊμ διαθέτει τον υπόγειο θάλαμο ψυχρής αποθήκευσης “Staur” χωρητικότητας 10000 m³, όπου η αποθήκευση των προϊόντων πραγματοποιείται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (Εικόνα 24). Ο θάλαμος έχει πλάτος 15 m και μέγιστο ύψος 8.6 m περίπου (Broch, 2007).

3.2.6.3 ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Η υπόγεια αποθήκευση υδρογονανθράκων, στην οποία ήδη έγινε αναφορά, είναι μια εφαρμογή που συναντάται κυρίως στον εξωαστικό χώρο. Ωστόσο, υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου συναντώνται και στις πόλεις (Meijenfeldt and Regenboog, 2003). Σε αρκετές περιπτώσεις, μάλιστα, η επέκταση των πόλεων προς γειτονικές βιομηχανικές περιοχές, είχε ως αποτέλεσμα να συμπεριληφθούν στον αστικό ιστό βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπως επιφανειακές δεξαμενές αποθήκευσης πετρελαίου (Benardos and Kaliampakos, 2005). Στην πόλη Τρόντχαϊμ, η αποθήκευση πετρελαίου πραγματοποιείται κατά το μεγαλύτερο μέρος της μέσα σε υπόγειους θαλάμους (Εικόνα 24) (Broch, 2007).



Εικόνα 24: Η είσοδος του υπόγειου θαλάμου ψυχρής αποθήκευσης “Staur” στο Τρόντχαϊμ (Πηγή: Broch, 2007)



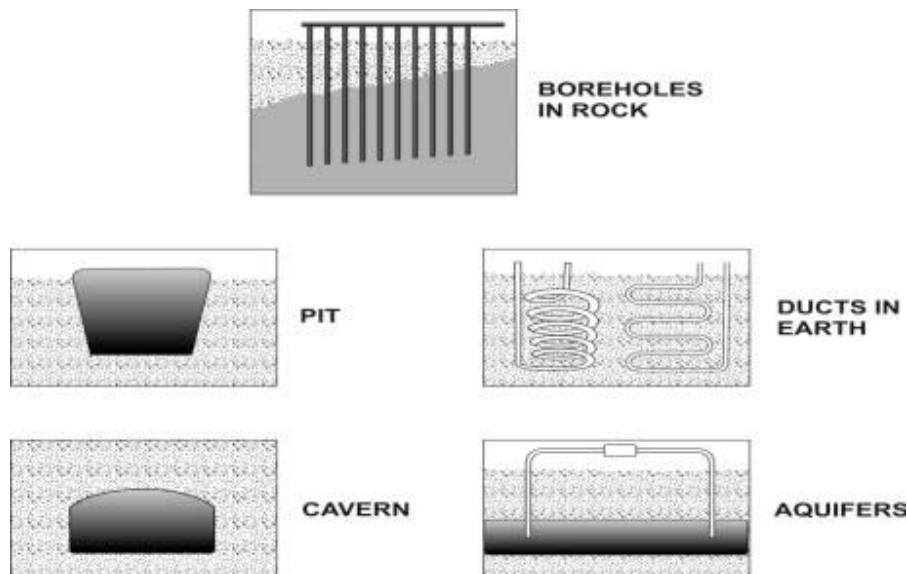
Εικόνα 25: Μεταφορά πετρελαίου από υπόγειο θάλαμο αποθήκευσης στο Τρόντχαϊμ (Πηγή: Broch, 2007)

3.2.6.4 ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η υπόγεια αποθήκευση θερμικής ενέργειας (Underground Thermal Energy Storage ή UTES) βασίζεται στην αποθήκευση της θερμικής ενέργειας (ζέστης/κρύου) στο υπέδαφος για μεταγενέστερη ή εποχιακή χρήση. Η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άμεση θέρμανση/ψύξη ή σε συνδυασμό με αντλίες θερμότητας και ψυκτικά μηχανήματα. Η υπόγεια αποθήκευση θερμικής ενέργειας πραγματοποιείται είτε σε υδροφορέα (aquifer), είτε σε σύστημα γεωτρήσεων

(borehole), είτε σε υπόγειο θάλαμο (cavern), είτε σε συστήματα αγωγών (ducts), είτε σε ορυχείο (pit) (Σχήμα 14) (Nielsen, 2003). Σήμερα υπάρχουν αρκετές εφαρμογές υπόγειας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε διάφορες χώρες του κόσμου με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και την αποδοτικότερη χρήση των πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ανανεώσιμων (Lavagno and Schranz, 2007).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα θέρμανσης/ψύξης της έδρας των Σκανδιναβικών Αερογραμμών στη Στοκχόλμη, που παρέχει εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό 65%. Το κτήριο αποθηκεύει θερμική ενέργεια σε έναν υδροφορέα ο οποίος διαθέτει δύο θερμά και τρία ψυχρά φρεάτια, με θερμοκρασία γύρω στους 15 και 2 °C, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το ζεστό νερό εξάγεται από τα θερμά φρεάτια και χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας για τις αντλίες που παρέχουν θέρμανση στο κτήριο. Ταυτόχρονα, το κρύο νερό αποθηκεύεται ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οπότε η διαδικασία αντιστρέφεται με χρήση των ψυχρών φρεατίων και των ψυκτικών μηχανημάτων (Paul *et al.*, 2002).



Σχήμα 14: Κατηγορίες υπόγειας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (Πηγή: Nielsen, 2003)

3.2.6.5 ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

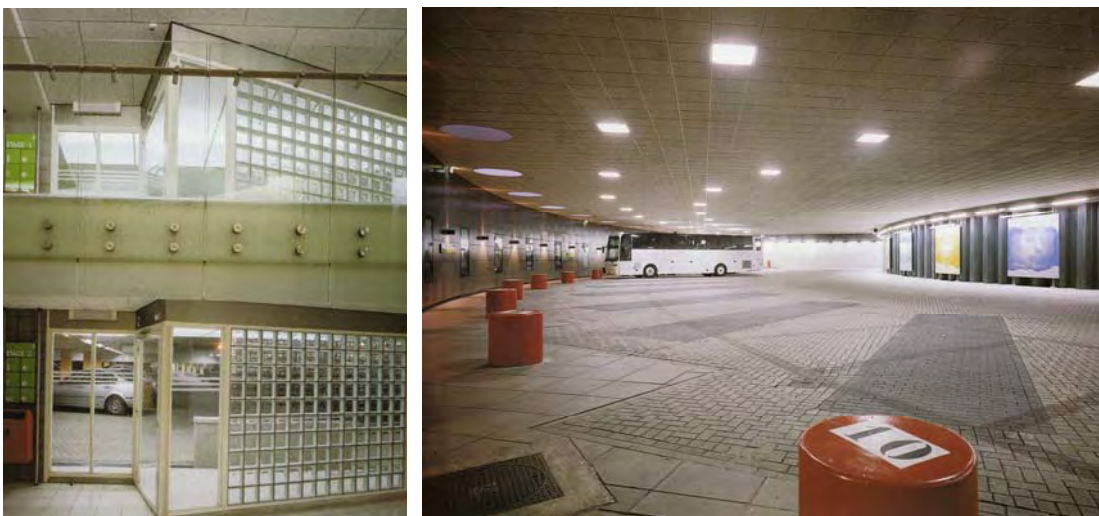
Η τεχνική αυτή βασίζεται στη λειτουργία ενός ηλεκτρικού συμπιεστή ο οποίος μετατρέπει και αποθηκεύει υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα την ηλεκτρική ενέργεια που εξοικονομείται κατά τη διάρκεια των περιόδων ήπιας κατανάλωσης, ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής. Η αποθήκευση του πεπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage ή CAES) μπορεί να γίνει είτε σε

υδροφορείς, είτε σε ορυχεία άλατος, είτε σε υπόγειους θαλάμους που περιβάλλονται από γερό και αδιαπέρατο βράχο (Lindblom, 1990).

3.2.6.6 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΧΩΡΟΙ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Η συνεχής αύξηση του αριθμού των οχημάτων σε συνδυασμό με την έλλειψη διαθέσιμου επιφανειακού χώρου στα μεγάλα αστικά κέντρα, οδήγησαν στη συστηματική ανάπτυξη υπόγειων χώρων στάθμευσης. Οι υπόγειοι χώροι στάθμευσης συμβάλλουν στην αποσυμφόρηση μιας περιοχής και στην εξοικονόμηση πολύτιμου επιφανειακού χώρου, περιορίζουν την περιβαλλοντική όχληση (μειωμένα επίπεδα θορύβου, μηδενική οπτική ρύπανση) και παρέχουν στα οχήματα αυξημένη προστασία από τις καιρικές συνθήκες (Μαυρίκος, 2006). Ωστόσο, οι απαιτήσεις των χώρων αυτών σε αερισμό είναι αυξημένες, καθώς κατά την κίνηση των οχημάτων παράγονται καυσαέρια επικίνδυνα για τον άνθρωπο (Καλιαμπάκος, 2003).

Το “Museumplein” είναι μια περιοχή στο κέντρο του Άμστερνταμ όπου βρίσκονται τα τρία μεγαλύτερα και σημαντικότερα μουσεία της πόλης, δηλαδή το “Rijksmuseum”, το “Stedelijk Museum” και το “Van Gogh Museum” (Πηγή: Amsterdam.info). Τα προβλήματα στάθμευσης στην περιοχή του “Museumplein”, που οφείλονταν κυρίως στα τουριστικά λεωφορεία, οδήγησαν στην κατασκευή ενός υπόγειου χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων 600 θέσεων σε δύο επίπεδα (Εικόνα 26), και ενός τερματικού σταθμού λεωφορείων (Εικόνα 27), ο οποίος συνδέεται με το “Rijksmuseum” για ανεφοδιασμό και τα απογεύματα χρησιμοποιείται ως χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων. Η περιοχή του “Museumplein”, απελευθερωμένη πλέον από τα αυτοκίνητα, καλύπτεται από μια μεγάλη και συνεχή έκταση γρασιδιού (Εικόνα 28) (Meijenfheldt, 2003).



Εικόνες 26 και 27: Ο υπόγειος χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων (αριστερά) και ο υπόγειος τερματικός σταθμός λεωφορείων (δεξιά) στο “Museumplein” (Πηγή: Meijenfheldt, 2003)



Εικόνα 28: Άποψη της περιοχής του “Museumplein”, όπου φαίνεται η είσοδος στον υπόγειο τερματικό σταθμό των λεωφορείων (Πηγή: Meijenfeldt, 2003)

3.2.7 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΕΙΜΗΛΙΩΝ

Η ανάπτυξη των πόλεων και η ανασυγκρότηση των ιστορικών τους κέντρων συχνά απειλούν με καταστροφή τα ιστορικά κειμήλια που βρίσκονται εκεί. Η χρήση του υπόγειου χώρου όχι μόνο μπορεί να συμφιλώσει την προστασία των κειμηλίων με την αστική ανάπτυξη, αλλά και να παρέχει αποτελεσματική προστασία τους όταν οι επικρατούσες επιφανειακές συνθήκες θέτουν περιορισμούς. Το σταθερό περιβάλλον του υπόγειου χώρου είναι ιδανικό για τη συντήρηση και έκθεση πολύτιμων ιστορικών κειμηλίων, καθώς η ευαισθησία τους σε παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Επιπλέον, ο υπόγειος χώρος είναι απόλυτα προστατευμένος από κάθε είδους φυσική καταστροφή και λόγω του περιορισμένου αριθμού εισόδων/εξόδων που διαθέτει, ελέγχεται καλύτερα αποτρέποντας το ενδεχόμενο κλοπής (Ping *et al.*, 2009).

Σε περιοχές ιστορικής και πολιτιστικής σημασίας, η υπόγεια επέκταση των ιστορικών κτηρίων συνήθως αποτελεί μονόδρομο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η υπόγεια επέκταση του παλατιού του Λούβρου στο Παρίσι, όπου στεγάζεται το περίφημο Μουσείο, καθώς η δυνατότητα επιφανειακής επέκτασης περιοριζόταν τόσο από την έλλειψη επιφανειακού χώρου όσο και από την ανάγκη διατήρησης της αρμονικής διάταξης του παλατιού (Ping *et al.*, 2009). Η επέκταση του Μουσείου πραγματοποιήθηκε κάτω από την εσωτερική αυλή “Napoleon”, ενώ η είσοδος στον υπόγειο χώρο πραγματοποιείται μέσω μιας γυάλινης πυραμίδας, έργο του αρχιτέκτονα

Ieoh Ming Pei, η οποία δεσπόζει στο κέντρο της πλατείας (Εικόνα 29) (Πηγή: Louvre Museum).

Η αξιοποίηση του υπόγειου χώρου για την προστασία αρχαιοτήτων στα κέντρα των πόλεων, είναι απολύτως αναγκαία (Ping *et al.*, 2009). Στην Αθήνα, η κατασκευή του Μετρό αποτέλεσε αφορμή για την υλοποίηση μιας τεράστιας αρχαιολογικής ανασκαφής (Εικόνα 30), η οποία έφερε στο φως περισσότερα από 50000 αρχαιολογικά ευρήματα. Προκειμένου να μειωθούν στο ελάχιστο οι πιθανότητες συνάντησης αρχαιολογικών ευρημάτων, η διάνοιξη των σηράγγων πραγματοποιήθηκε, κατά μέσο όρο, σε βάθος μεγαλύτερο των 15 m. Τμήμα των εντυπωσιακών αυτών ευρημάτων εκτίθεται σήμερα στους κεντρικούς σταθμούς του δικτύου (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ).



Εικόνα 29: Η γυάλινη Πυραμίδα στο Μουσείο του Λούβρου (Πηγή: Wikipedia)



Εικόνα 30: Αρχαιολογική ανασκαφή στο σταθμό «Ακρόπολη» του Μετρό της Αθήνας (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ)

3.2.8 ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Σε ολόκληρο τον κόσμο υπάρχουν εντυπωσιακά παραδείγματα χρήσης του αστικού υπόγειου χώρου για εγκατάσταση δραστηριοτήτων ελεύθερου χρόνου, όπως μουσεία, βιβλιοθήκες, αίθουσες συναυλιών και χώροι άθλησης. Σε πολλές περιπτώσεις, η παρουσία του φυσικού φωτός θεωρείται περιττή ή και ανεπιθύμητη, όπως, για παράδειγμα, στους χώρους άθλησης, τις αίθουσες συναυλιών και τα μουσεία, λόγω της ευαισθησίας των εκθεμάτων στο φυσικό φως. Χώροι όπως κέντρα διασκέδασης και κινηματογράφοι, οι οποίοι βασίζουν τη λειτουργία τους στην εκτεταμένη χρήση τεχνητού φωτισμού, μπορούν άνετα να εγκατασταθούν υπόγεια, περιορίζοντας έτσι και την ηχητική όχληση που προκαλούν στο άμεσο περιβάλλον τους (Meijenfeldt and Regenboog, 2003).

Δύο εντυπωσιακά παραδείγματα υπόγειων χώρων άθλησης είναι το “Gjønvi Olympic Mountain Hall” στη Νορβηγία, στο οποίο έχει ήδη γίνει αναφορά και το κολυμβητήριο “Itäkeskus”, το οποίο βρίσκεται στα προάστια του Ελσίνκι μέσα στο βραχώδη λόφο μιας κατάφυτης προστατευόμενης περιοχής. Το κολυμβητήριο αποτελεί τμήμα ενός υπόγειου συγκροτήματος το οποίο διαθέτει και καταφύγιο. Το συγκρότημα διατάσσεται σε 2 υπόγεια επίπεδα σε βάθος 32 m, ενώ στην επιφάνεια βρίσκεται μόνο η είσοδος (Εικόνα 31). Στο κατώτατο επίπεδο, κάτω από έναν γρανιτικό θόλο που διαμορφώθηκε ώστε να μοιάζει με συνεφιασμένο ουρανό, βρίσκεται μια πισίνα μήκους 50 m (Εικόνα 32) και πολλές ακόμα εγκαταστάσεις, όπως παιδικές πισίνες και σάουνα. Το διαρκές παιχνίδισμα του φωτός στην οροφή, το οποίο προκαλείται από τους αντικατοπτρισμούς του νερού, κάνει το χώρο να μοιάζει ψηλότερος και την αίσθηση του υπόγειου χώρου να χάνεται (Samwel, 2003).

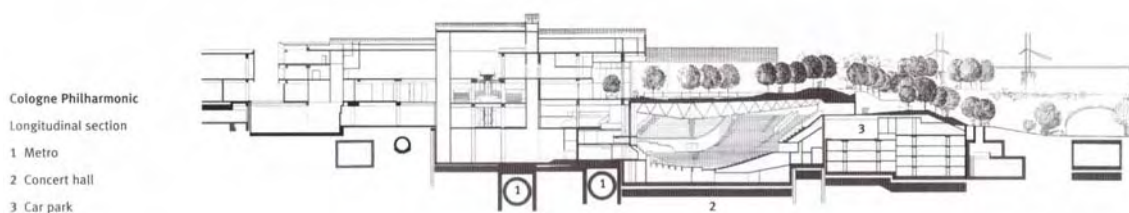
Ένα ακόμη εντυπωσιακό έργο αποτελεί η κατασκευή της υπόγειας αίθουσας συναυλιών της Φιλαρμονικής Ορχήστρας της Κολωνίας, χωρητικότητας 2000 θέσεων, στα πλαίσια της ανασυγκρότησης του ιστορικού κέντρου της πόλης. Η αίθουσα εκτείνεται σε βάθος 25 m και η κατασκευή της κάτω από το δρόμο επέτρεψε τη δημιουργία ενός μεγάλου ανοιχτού χώρου στην επιφάνεια, ο οποίος εξελίχθηκε σε μια πλατεία γεμάτη ζωή (Σχήμα 15). Με την είσοδό τους στο χώρο, η οποία πραγματοποιείται από την πλατεία (Εικόνα 33), οι επισκέπτες βρίσκονται μέσα σε πλούσια διακοσμημένους διαδρόμους οι οποίοι περιβάλλουν την αίθουσα συναυλιών. Η αίθουσα έχει αμφιθεατρική διάταξη και μια θολωτή οροφή, η οποία αποτελεί τμήμα της πλατείας (Εικόνα 34) (Deelen, 2003).



Εικόνα 31: Άποψη της εισόδου του υπόγειου συγκροτήματος (Πηγή: Samwel, 2003)



Εικόνα 32: Άποψη του κολυμβητηρίου “Itäkeskus” (Πηγή: Samwel, 2003)



Σχήμα 15: Σχηματική μηκοτομή του χώρου συναυλιών της Φιλαρμονικής Ορχήστρας της Κολωνίας (Πηγή: Deelen, 2003)



Εικόνα 33: Η είσοδος του χώρου συναυλιών από την πλατεία (Πηγή: Deelen, 2003)



Εικόνα 34: Άποψη της αίθουσας συναυλιών (Πηγή: Deelen, 2003)

3.2.9 ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΑ

Δεδομένου ότι οι καταναλωτές κινούνται με μεγαλύτερη ευκολία οριζόντια παρά κατακόρυφα, για την προσέλκυσή τους στο χώρο υπόγειων εμπορικών καταστημάτων απαιτούνται ισχυρά κίνητρα. Μεγάλες εμπορικές αλυσίδες, όπως σούπερ-μάρκετ, πολυκαταστήματα, καταστήματα “do-it-yourself” και οικιακού εξοπλισμού, μπορούν να αποτελέσουν ισχυρούς πόλους έλξης αν τοποθετηθούν υπόγεια, καθώς δεν απαιτούν την παρουσία φυσικού φωτισμού (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003). Άλλωστε, έρευνες έχουν αποδείξει ότι το φυσικό φως και η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον επηρεάζουν αρνητικά την αγοραστική συμπεριφορά των καταναλωτών (Meijnenfeldt, 2003). Ωστόσο, οι απαιτήσεις των χώρων αυτών σε επαρκείς χώρους στάθμευσης, είναι ιδιαίτερα αυξημένες (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003). Το υποκατάστημα της αλυσίδας σούπερ-μάρκετ “Albert Heijn” χρησιμοποιεί μια κεκλιμένη γωνία, το λεγόμενο “Ezelsoor” ή “Dog-Ear”, σαν σημείο αναφοράς που υποδηλώνει την υπόγεια παρουσία του στο “Museumplein” (Εικόνα 35). Το σούπερ-μάρκετ συνδέεται με τον υπόγειο χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων, στον οποίο έχει ήδη γίνει αναφορά, διευκολύνοντας έτσι τους πελάτες (Meijnenfeldt, 2003).

Εμπορική κίνηση μπορούν να προσελκύσουν και τα καταστήματα τα οποία διαθέτουν σε μεγάλο βαθμό ψυχαγωγικό χαρακτήρα, όπως βιβλιοπωλεία, καταστήματα ένδυσης και καταστήματα με είδη δώρων. Τα καταστήματα αυτά δεν είναι αρκετά ελκυστικά ώστε να τοποθετηθούν μεμονωμένα στον υπόγειο χώρο και γι’ αυτό συνδυάζονται μεταξύ τους. Ιδανική περίπτωση αποτελεί η σύνδεση των καταστημάτων με σταθμούς του μετρό, οπότε η εμπορική κίνηση προκύπτει από την επιβατική. Στην υπόγεια πόλη του Μόντρεαλ, στην οποία γίνεται εκτενής αναφορά παρακάτω, η εμπορική κίνηση τροφοδοτείται από τη ροή των επιβατών μεταξύ των δύο γραμμών του μετρό που περιβάλλουν την πόλη (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003). Στο Παρίσι, το υπόγειο συγκρότημα “Le Carrousel du Louvre”, το οποίο σχηματίστηκε κατά τη δεύτερη φάση της υπόγειας επέκτασης του Μουσείου του Λούβρου, συνδέει το μουσείο με χώρους στάθμευσης και ένα σταθμό του μετρό, μέσω εμπορικών στοών. Ο χώρος είναι ιδιαίτερα φωτεινός και χαρακτηρίζεται από την ανεστραμμένη γυάλινη πυραμίδα που δεσπόζει στο κέντρο του (Εικόνα 36) και η οποία τις ηλιόλουστες μέρες αντανακλά όλα τα χρώματα της ίριδος (Huisman, 2003a).

Ο συνδυασμός επιφανειακών και υπόγειων εμπορικών επιπέδων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία υπερσύγχρονων εμπορικών συγκροτημάτων, όπως συμβαίνει στο Μόντρεαλ, το Τορόντο και το Έντμοντον του Καναδά (Meijnenfeldt and Regenboog,

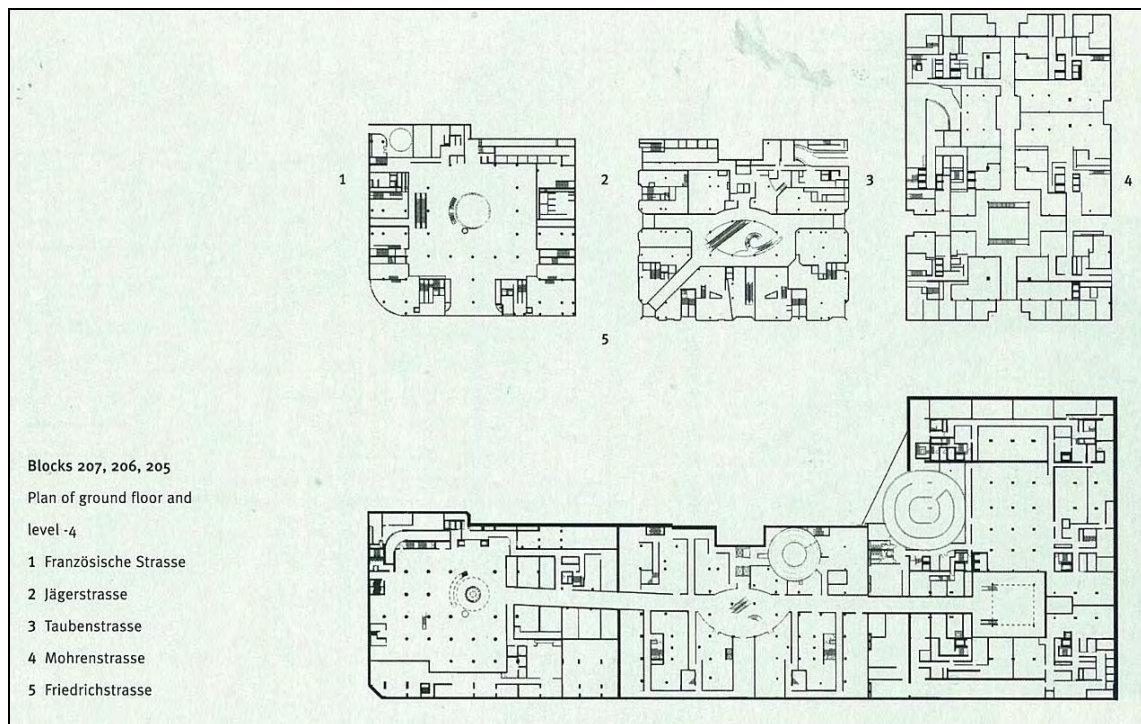
2003). Στο Βερολίνο, σε μια προσπάθεια να αναζωογονηθεί η άλλοτε μοντέρνα εμπορική περιοχή Friedrichstrasse μετά την πτώση του τείχους, κατασκευάστηκαν σε γειτονικά οικοδομικά τετράγωνα επί της οδού Friedrichstrasse τρία ανεξάρτητα συγκροτήματα, τα οποία συνδέθηκαν υπόγεια μέσω εμπορικών στοών (Σχήμα 16). Κάθε συγκρότημα διαθέτει 7 ορόφους και 4 υπόγεια επίπεδα και περιλαμβάνει εμπορικά καταστήματα, γραφεία, κατοικίες και χώρους στάθμευσης. Ένα από τα συγκροτήματα αυτά είναι η “Galeries Lafayette”, έργο του Γάλλου αρχιτέκτονα Jean Nouvel, στο οποίο γίνεται ιδιαίτερη αναφορά παρακάτω (Meijenfeldt, 2003).



Εικόνα 35: Το “Ezelsoor” ή “Dog-Ear” στο “Museumplein” (Πηγή: Meijenfeldt, 2003)



Εικόνα 36: Άποψη του συγκροτήματος “Le Carrousel du Louvre” (Πηγή: Huisman, 2003a)



Σχήμα 16: Κάτοψη των ισόγειων (επάνω) και του επιπέδου -4 (κάτω) των συγκροτημάτων της οδού Friedrichstrasse στο Βερολίνο (Πηγή: Meijenfeldt, 2003)

3.2.10 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΙ ΧΩΡΟΙ

Οι εργασιακοί χώροι πρέπει να τηρούν τους κανονισμούς που ορίζονται από το νόμο και οι οποίοι σχετίζονται με το εσωτερικό κλίμα, το φυσικό φως, την ασφάλεια, την υγεία και τις ώρες εργασίας. Σε χώρους που δε διαθέτουν φυσικό φωτισμό, απαγορεύεται η εργασία να διαρκεί πολλές ώρες (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003).

Υπόγειοι εργασιακοί χώροι υπό τη μορφή βυθισμένων χώρων και χώρων καλυμμένων με χώμα, συναντώνται παντού, καθώς μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν στη νομοθεσία, αλλά και στις απαιτήσεις των χρηστών τους, καλύπτοντας ένα ευρύτατο φάσμα αντικειμένων όπως υπηρεσίες, εκπαίδευση, έρευνα, εμπόριο και παραγωγή. Στην Ουτρέχτη, η επέκταση της έπαυλης στην οποία στεγάζονται τα γραφεία των συμβούλων επιχειρήσεων “Andersson Elffers Felix” πραγματοποιήθηκε υπόγεια, προκειμένου να προστατευθεί το μεγαλοπρεπές σκηνικό του 19^{ου} αιώνα που χαρακτηρίζει την περιοχή (Εικόνα 37). Η επέκταση πραγματοποιήθηκε κάτω από τον κήπο, το επίπεδο του οποίου ανυψώθηκε ελαφρώς ώστε να δημιουργηθεί επιπρόσθετος υπόγειος χώρος και περιλαμβάνει δύο δωμάτια, ένα γραφείο και μια αίθουσα συνεδριάσεων, καθώς επίσης δύο ανοιχτά, βυθισμένα αίθρια από όπου εισέρχεται το φυσικό φως (Εικόνα 38). Για την αποφυγή πρόκλησης αισθημάτων κλειστοφοβίας στο προσωπικό, χρησιμοποιήθηκαν θερμά υλικά, όπως έγχυτο σκυρόδεμα και ξύλο (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003).



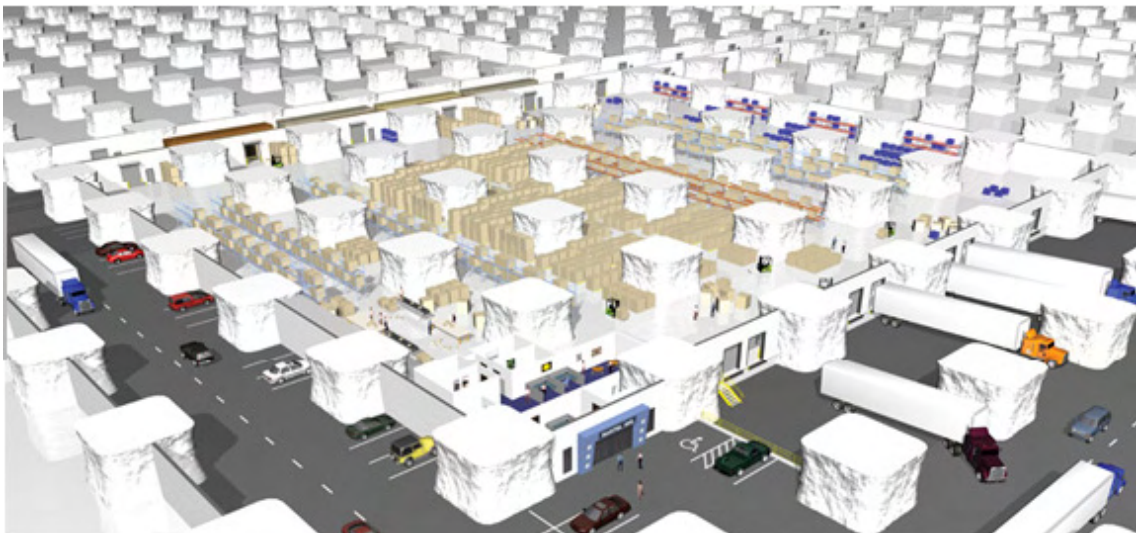
Εικόνα 37: Η έπαυλη και η υπόγεια επέκταση των γραφείων της
(Πηγή: Meijnenfeldt and Regenboog, 2003)



Εικόνα 38: Αίθριο στην υπόγεια επέκταση των γραφείων της “Andersson Elffers Felix”
(Πηγή: Meijnenfeldt and Regenboog, 2003)

Αντίθετα, οι επιλογές εγκατάστασης εργασιακών χώρων σε τελείως υπόγειους χώρους είναι σχετικά περιορισμένες. Ωστόσο, οι κλειστού τύπου εγκαταστάσεις που στεγάζουν επιχειρήσεις έντασης εργασίας, όπως υπηρεσίες εφοδιασμού (logistics),

αποθήκευση, αυτοματοποιημένη παραγωγή, εγκαταστάσεις κοινής ωφέλειας, μεταφορά και διανομή, είναι προτιμότερο να τοποθετούνται σε τελείως υπόγειους χώρους (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003). Ένα εντυπωσιακό παράδειγμα υπόγειου συγκροτήματος, όπου στεγάζονται 50 εταιρείες και απασχολούνται περισσότεροι από 1300 άνθρωποι, είναι το “Subtropolis” στο Κάνσας των Ηνωμένων Πολιτειών. Η δημιουργία του χώρου οφείλεται στην εκμετάλλευση του ασβεστολιθικού κοιτάσματος από το 1945 και η οποία εξελίχθηκε στο μεγαλύτερο έργο ανάπτυξης ακινήτων. Η εκμετάλλευση πραγματοποιείται με τη μέθοδο «θαλάμων και στύλων»¹ και η ετήσια παραγωγή της ξεπερνά το 1 εκατομμύριο τόνους ασβεστόλιθου. Σήμερα, η έκταση του υπόγειου χώρου ξεπερνά τα 400 στρέμματα, ενώ μετά το πέρας της εκμετάλλευσης υπολογίζεται ότι θα υπερβαίνει τα 4800 στρέμματα. Το υπόγειο συγκρότημα βρίσκεται σε βάθος περίπου 34 m και φιλοξενεί χρήσεις όπως αποθήκες, ψυγεία, γραφεία και χώρους στάθμευσης (Εικόνα 39) (Μαυρίκος, 2006).



Εικόνα 39: Τρισδιάστατη απεικόνιση του υπόγειου συγκροτήματος “Subtropolis”
(Πηγή: Καλιαμπάκος, 2003)

¹ Στη μέθοδο θαλάμων και στύλων (rooms and pillars), ο κενός χώρος που δημιουργείται κατά την εξορυκτική διαδικασία διατηρείται ανοιχτός με τη βοήθεια φυσικής υποστήριξης, η οποία προέρχεται από τους στύλους πετρώματος που δημιουργούνται και οι οποίοι υποστηρίζουν την οροφή (Καλιαμπάκος, 2003).

3.2.11 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ

Η κατοικία είναι η δυσκολότερη χρήση που μπορεί να τοποθετηθεί υπόγεια. Η επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, το φως και τον αέρα είναι τόσο σημαντική, ώστε οι κανόνες που αφορούν στα ζητήματα αυτά να καθορίζονται από τη νομοθεσία. Συγκεκριμένα τμήματα μιας κατοικίας, όπως αποθηκευτικοί χώροι, χώροι στάθμευσης και αποχωρητήρια, μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν υπόγεια. Τοποθετώντας τα υπνοδωμάτια στο κατώτατο αντί για το ανώτατο επίπεδο της κατοικίας, το κατώτατο αυτό επίπεδο μπορεί να βρίσκεται μερικώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ώστε να μπορεί να διαθέτει παράθυρα, όπως τα κοινά υπόγεια (Εικόνα 40) (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003).

Οι βυθισμένοι χώροι, με κάποιο βαθμό επινοητικότητας, μπορούν να προσαρμοστούν στους κανόνες της νομοθεσίας και να αποτελέσουν υπόγειες κατοικίες εξ' ορισμού εσωστρεφείς, σε αντιστοιχία με τις κατοικίες που διαθέτουν εσωτερική αυλή (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003). Η βυθισμένη κατοικία στην πόλη Tsukuba, κοντά στο Τόκυο, διατάσσεται γύρω από μια εσωτερική αυλή και προσαρμόζεται απόλυτα στο αστικό ανάγλυφο, επιτρέποντας ανεμπόδιστα την ανάπτυξη της τοπικής βλάστησης (Εικόνα 41) (Melet, 2003).



Εικόνα 40: Υπόγειο στο Παρίσι
(Πηγή: Ζούλιας, 2009)



Εικόνα 41: Βυθισμένη κατοικία στην πόλη Tsukuba (Πηγή: Melet, 2003)

Οι υπόγειες κατοικίες υπό τη μορφή χώρων καλυμμένων με χώμα έχουν περισσότερα σημεία επαφής με την ευρέως αποδεκτή μορφή κατοικίας, εξασφαλίζοντας αντίστοιχη επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, ποιότητα ζωής, ακόμα και θέα. Εκτός όμως από το αστικό περιβάλλον, σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης κατοικιών καλυμμένων με χώμα προσφέρει και η ύπαιθρος (Meijnenfeldt and Regenboog, 2003). Το συγκρότημα κατοικιών “Nine Houses” στην Ελβετία (Εικόνα

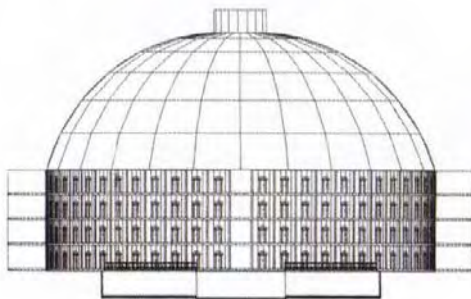
42), αποτελεί ένα εντυπωσιακό παράδειγμα κατοικιών που καλύπτονται με χόμα και οι οποίες ενσωματώνονται τέλεια στο λοφώδες ανάγλυφο της περιοχής (Melet, 2003).



Εικόνα 42: Το συγκρότημα κατοικιών “Nine Houses” στην Ελβετία (Πηγή: Melet, 2003)

3.3.12 ΑΛΛΕΣ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Δυο ακόμη εντυπωσιακά παραδείγματα χρήσης του αστικού υπόγειου χώρου που αξίζει να αναφερθούν, είναι η υπόγεια επέκταση της «Πανοπτικής Φυλακής» στη Μπρέντα της Ολλανδίας και η εκκλησία “Tempreliaukio” στο Ελσίνκι. Η «Πανοπτική Φυλακή» στη Μπρέντα διαθέτει το ίδιο σχήμα και τις ίδιες διαστάσεις με το «Πάνθεον» της Ρώμης (Σχήμα 17), επιτρέποντας την επιτήρηση όλων των ορόφων και των κελιών από το κέντρο του χώρου. Η ανάγκη εγκατάστασης χώρων αναψυχής και εκγύμνασης για τους κρατούμενους, οδήγησε στην υπόγεια επέκταση της φυλακής ώστε να διατηρηθεί ο αρχικός σχεδιασμός του χώρου. Έτσι, σε βάθος 3 m κάτω από το κέντρο της ροτόντας κατασκευάστηκε ένα γυμναστήριο και γύρω από αυτό, σε ημικυκλική διάταξη, κατασκευάστηκαν 4 χώροι αναψυχής με γυάλινη οροφή, επιτρέποντας την πολυδιάστατη επιτήρηση του χώρου (Εικόνα 43) (Meijenfeldt and Regenboog, 2003).



Σχήμα 17: Σχηματική όψη της «Πανοπτικής Φυλακής» (Πηγή: Meijenfeldt and Regenboog, 2003)



Εικόνα 43: Άποψη του εσωτερικού της «Πανοπτικής Φυλακής» (Πηγή: Meijenfeldt and Regenboog, 2003)

Η εκκλησία “Tempeliaukio” στο Ελσίνκι, έχει λαξευθεί σε βάθος 6 m μέσα σε βράχο και η στέγη της αποτελείται από ένα χάλκινο θόλο με παράθυρα που διατρέχουν τη βάση του (Εικόνα 44). Τα παράθυρα κάνουν το θόλο να μοιάζει αιωρούμενος, ενώ ο γυμνός βράχος επιτρέπει στο νερό να διαρρέει στα τοιχώματα της Εκκλησίας (Εικόνα 45). Το φυσικό φως που εισέρχεται από την οροφή δημιουργεί στο χώρο μια ιδιαίτερα κατανοητική ατμόσφαιρα (Samwel, 2003).



Εικόνα 44: Άποψη του χώρου γύρω από την εκκλησία “Tempeliaukio” (Πηγή: Samwel, 2003)



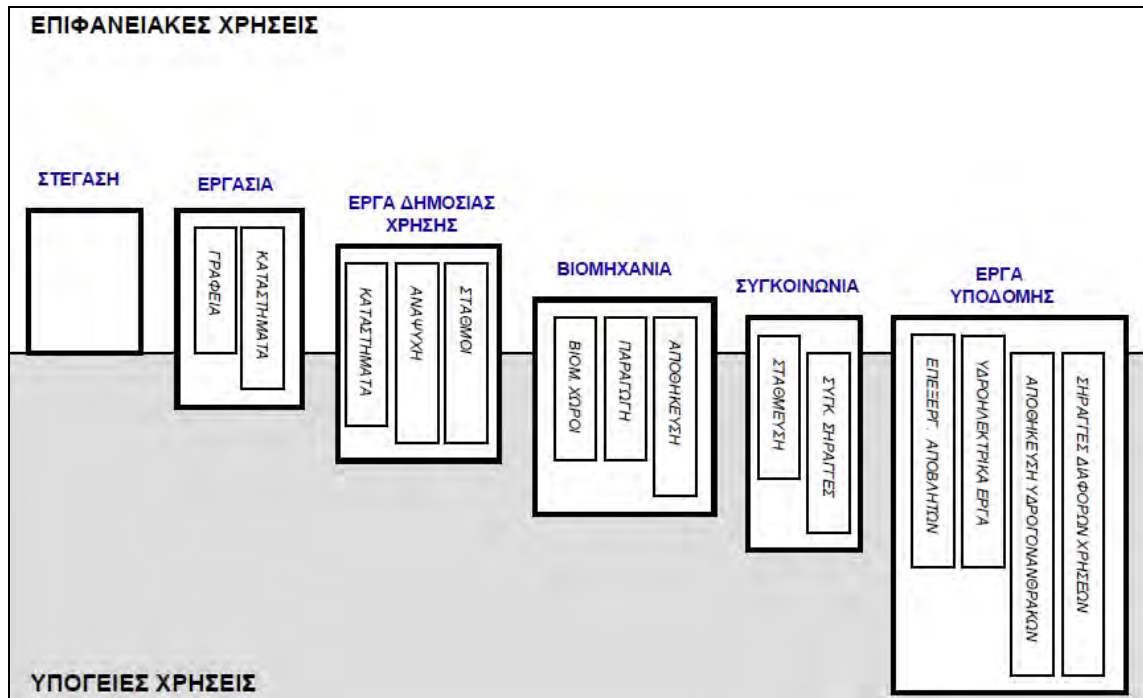
Εικόνα 45: Άποψη του εσωτερικού της εκκλησίας “Tempeliaukio” (Πηγή: Samwel, 2003)

3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φάσμα των υπόγειων χρήσεων που συναντώνται σήμερα στις πόλεις είναι αρκετά ευρύ και διευρύνεται ολοένα περισσότερο. Σε γενικές γραμμές, οι χρήσεις αυτές μπορούν να διακριθούν σε χρήσεις για το ευρύ κοινό, συγκοινωνιακές υποδομές, τεχνικές υποδομές, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και εγκαταστάσεις παραγωγής, καθώς και ειδικές χρήσεις (Rönkä *et al.*, 1998). Εκείνο που παρατηρείται είναι μια σταδιακή μετάβαση των υπόγειων εγκαταστάσεων σε μεγαλύτερα βάθη όσο λιγότερο αφορά η χρήση τους το ευρύ κοινό και όσο οι εγκαταστάσεις γίνονται πιο πολύπλοκες ή αφορούν δραστηριότητες ανεπιθύμητες στην επιφάνεια (Σχήμα 18) (Καλιαμπάκος, 2003).

Εκτός από το βάθος το οποίο ποικίλλει μεταξύ των διάφορων χρήσεων, διαφορετικές είναι και οι απαιτήσεις χώρου για κάθε χρήση, ενώ καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του υπόγειου χώρου διαδραματίζει και η διάρκεια παραμονής του ανθρώπου μέσα σε αυτόν (Meijenfeldt and Regenboog, 2003). Η διάρκεια παραμονής του ανθρώπου μέσα σε έναν υπόγειο χώρο εξαρτάται από τη χρήση που φιλοξενείται σε

αυτόν και δημιουργεί διαφορετικές απαιτήσεις σε ότι αφορά τον φυσικό φωτισμό, τον αερισμό και την επαφή του υπόγειου χώρου με το εξωτερικό περιβάλλον, προκειμένου να αποφευχθεί η εμφάνιση ενδεχόμενων αρνητικών επιπτώσεων κυρίως στην ψυχολογία, αλλά και τη φυσιολογία του ανθρώπου. Η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ψυχολογία και τη φυσιολογία του ανθρώπου κατά την παραμονή του σε υπόγειους χώρους, οδήγησε στη διαμόρφωση διάφορων σχεδιαστικών αρχών οι οποίες πλαισιώνουν την υπόγεια αρχιτεκτονική.



Σχήμα 18: Καταλληλότητα ανάπτυξης υπόγειων χρήσεων στον αστικό ιστό σε σχέση με το βάθος (Πηγή: Καλιαμπάκος, 2003)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

Κατά το σχεδιασμό των υπόγειων χώρων, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στην ψυχολογία και τη φυσιολογία του ανθρώπου (Carmody and Sterling, 1987). Τα τελευταία χρόνια, ένας σημαντικός αριθμός ερευνών συνέβαλλε στην ερμηνεία της συμπεριφοράς του ανθρώπου κατά την παραμονή του σε υπόγειους χώρους, με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση κάποιων σχεδιαστικών αρχών για την υπόγεια αρχιτεκτονική (Samwel, 2003). Τα δείγματα που έχει να επιδείξει σήμερα η υπόγεια αρχιτεκτονική, είναι εντυπωσιακά.

4.1 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Πολλοί από τους παράγοντες που συνδέονται με την εμφάνιση αρνητικών επιπτώσεων στην ψυχολογία και τη φυσιολογία του ανθρώπου κατά την παραμονή του σε υπόγειους χώρους, συναντώνται επίσης στους κλειστούς, χωρίς παράθυρα, επιφανειακούς χώρους (Carmody and Sterling, 1987).

4.1.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΨΥΧΟΛΟΓΙΑ

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του υπόγειου χώρου είναι η έλλειψη φυσικού φωτισμού. Στην πραγματικότητα, χαμηλά επίπεδα φυσικού φωτισμού παρατηρούνται και σε πολλά επιφανειακά κτήρια. Ωστόσο, το φαινόμενο γίνεται ακόμα πιο έντονο στον υπόγειο χώρο εξαιτίας της έλλειψης οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον, καθώς ο άνθρωπος έχει ανάγκη την επαφή με τον έξω κόσμο και τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εκεί. Έτσι, ο άνθρωπος νιώθει απομονωμένος, γεγονός που του δημιουργεί αισθήματα πλήξης, αλλά και ανησυχίας (Samwel, 2003).

Λόγω της θέσης του υπόγειου χώρου κάτω από την επιφάνεια της γης, συχνά προκαλούνται αισθήματα κλειστοφοβίας και ανασφάλειας. Οι αντιδράσεις αυτές είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με το φόβο κατάρρευσης της υπόγειας κατασκευής, το φόβο εγκλωβισμού σε περίπτωση πυρκαγιάς, αλλά και το φόβο πλημμύρας. Άλλα φυσικά χαρακτηριστικά του υπόγειου χώρου, όπως μικροί εσωτερικοί χώροι, χαμηλές οροφές και σκοτεινοί διάδρομοι, εντείνουν ακόμη περισσότερο τις αρνητικές αυτές αντιδράσεις (Carmody and Sterling, 1987).

Το γεγονός ότι υπάρχει μια συνειδητή ή υποσυνείδητη συσχέτιση της ποιότητας του αέρα με την παρουσία παραθύρων, έχει ως αποτέλεσμα το σύστημα εξαερισμού των υπόγειων χώρων να θεωρείται συχνά μη αποτελεσματικό, ακόμα και όταν είναι

αξιόπιστο (Samwel, 2003). Επιπλέον, οι χρήστες υπόγειων χώρων, αλλά και επιφανειακών χώρων χωρίς παράθυρα, συχνά διαμαρτύρονται για τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας, ενώ στην πραγματικότητα, ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας γίνεται ευκολότερα στους υπόγειους, παρά στους επιφανειακούς χώρους, λόγω της σταθερότητας του υπόγειου περιβάλλοντος (Carmody and Sterling, 1987).

4.1.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

Κατά την παραμονή του ανθρώπου σε υπόγειους χώρους, η ανθρώπινη φυσιολογία επηρεάζεται άμεσα από το περιβάλλον του υπόγειου χώρου, αλλά και έμμεσα ως συνέπεια της ανθρώπινης ψυχολογίας. Η ανάλυση που ακολουθεί αφορά αποκλειστικά στις επιπτώσεις που προκαλεί το περιβάλλον του υπόγειου χώρου στην ανθρώπινη φυσιολογία (Carmody and Sterling, 1987).

Το φυσικό φως, λόγω της υπεριώδους ακτινοβολίας που περιέχει, συμβάλλει στην παραγωγή βιταμίνης D από τον ανθρώπινο οργανισμό, η οποία είναι απαραίτητη για την πρόληψη ασθενειών και την καταπολέμηση βακτηρίων. Επιπλέον, το φυσικό φως προκαλεί μια νευροενδοκρινική λειτουργία και επηρεάζει το μεταβολισμό (Carmody and Sterling, 1987). Λόγω της έλλειψης φυσικού φωτός και οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον, την ώρα της ημέρας, τον καιρό και τις εποχές, οι άνθρωποι που παραμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε υπόγειους χώρους αντιμετωπίζουν προβλήματα με το βιολογικό τους ρολόι και αποδιοργανώνονται (Samwel, 2003). Ωστόσο, έλλειψη υπεριώδους ακτινοβολίας παρατηρείται ακόμα και στα κτήρια που διαθέτουν παράθυρα, καθώς η υπεριώδης ακτινοβολία δε διαπερνάει το γυαλί των παραθύρων (Carmody and Sterling, 1987).

Η δυσκολία φυσικής ανανέωσης του αέρα στους υπόγειους χώρους, μπορεί να οδηγήσει στη συγκέντρωση ρυπογόνων σωματιδίων στο εσωτερικό του υπόγειου χώρου, όπως το ραδόνιο που περιέχεται στα οικοδομικά υλικά, αλλά και στη συσσώρευση πλεονάζουσας θερμότητας. Επιπλέον, τα υψηλά επίπεδα υγρασίας των υπόγειων χώρων, μπορεί να προκαλέσουν επιδείνωση κάποιων ασθενειών, όπως οι ρευματισμοί και να αυξήσουν την πιθανότητα αλλεργικών αντιδράσεων (Carmody and Sterling, 1987).

4.2 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Εκτός από τη φύση του υπόγειου χώρου, επιπτώσεις στην ανθρώπινη ψυχολογία και φυσιολογία μπορεί να προκαλέσουν διάφοροι παράγοντες που σχετίζονται με τη χρήση του. Για παράδειγμα, η ύπαρξη εσωτερικών ερεθισμάτων σε έναν υπόγειο χώρο μπορεί να αντισταθμίσει την απουσία φυσικού φωτός και οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον, περιορίζοντας τις αρνητικές ψυχολογικές επιπτώσεις τους στον άνθρωπο. Στην περίπτωση ενός εργασιακού χώρου, τα εσωτερικά αυτά ερεθίσματα θα πρέπει να είναι διακριτικά και να μην αποσπούν την προσοχή των εργαζομένων. Επιπλέον, όσο πιο ενδιαφέρον βρίσκει το αντικείμενο της εργασίας του ένας άνθρωπος ο οποίος εργάζεται σε ένα κλειστό και χωρίς παράθυρα χώρο, τόσο μειώνονται οι αρνητικές επιπτώσεις στην ψυχολογία του (Carmody and Sterling, 1987).

Οι αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ψυχολογία και φυσιολογία, είναι ευθέως ανάλογες της διάρκειας παραμονής του ανθρώπου μέσα σε έναν κλειστό χώρο χωρίς παράθυρα. Έτσι, οι υπόγειες εγκαταστάσεις που φιλοξενούν σύντομης διάρκειας δραστηριότητες, όπως αθλητικές εγκαταστάσεις, εστιατόρια, βιβλιοθήκες και εμπορικά κέντρα, προκαλούν μικρότερες αντιδράσεις σε σχέση με ένα υπόγειο γραφείο, που απαιτεί μεγαλύτερης διάρκειας παραμονή. Επιπλέον, όταν η αναγκαιότητα της υπόγειας τοποθέτησης μιας δραστηριότητας γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο, όπως, για παράδειγμα, στην περίπτωση όπου η παρουσία παραθύρων είναι περιττή (π.χ. αθλητικές εγκαταστάσεις, μουσεία και εμπορικά κέντρα), οι αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ψυχολογία μπορεί να μειωθούν (Carmody and Sterling, 1987).

4.3 ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

Οι ενδεχόμενες αρνητικές επιπτώσεις του υπόγειου χώρου στην ψυχολογία και τη φυσιολογία του ανθρώπου μπορούν να περιοριστούν σε μεγάλο βαθμό υιοθετώντας τις κατάλληλες σχεδιαστικές πρακτικές (Carmody and Sterling, 1987), οι οποίες διαμορφώνουν ένα πλαίσιο βασικών αρχών για την υπόγεια αρχιτεκτονική.

4.3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

Η είσοδος ενός υπόγειου χώρου αποτελεί το μοναδικό ορατό από την επιφάνεια στοιχείο του και μπορεί να επηρεάσει ολόκληρη την εικόνα του, ανεξάρτητα από το σχεδιασμό του υπόλοιπου χώρου. Συνεπώς, η είσοδος πρέπει να είναι ελκυστική και να μην παραπέμπει στον κλειστό και σκοτεινό χώρο ενός υπόγειου ή ενός μεταλλείου. Η είσοδος πρέπει να γίνεται εύκολα αναγνωρίσιμη από το επίπεδο της επιφάνειας ή να

ενσωματώνεται σε κάποιο επιφανειακό κτήριο. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι ευρύχωρη και να επιτρέπει τη διείσδυση όσο το δυνατό περισσότερου φυσικού φωτός. Η μετάβαση από τον επιφανειακό στον υπόγειο χώρο πρέπει να γίνεται σταδιακά, ωστόσο η καθοδική κατακόρυφη κίνηση προς τα βαθύτερα επίπεδα είναι δύσκολο να αποφευχθεί (Carmody and Sterling, 1987, Samwel, 2003).

Ένα επιτυχημένο παράδειγμα αποτελούν οι εισοδοί του σταθμού “Canary Wharf” του Μετρό του Λονδίνου. Ο σταθμός, έργο του Άγγλου αρχιτέκτονα Norman Foster, διαθέτει 3 εισόδους οι οποίες καλύπτονται από γυάλινα υπόστεγα σε σχήμα έλλειψης (Εικόνα 46), υποδηλώνοντας στην επιφάνεια την ύπαρξη του υπόγειου σταθμού και επιτρέποντας τη διείσδυση του φυσικού φωτός στο πρώτο από τα 2 υπόγεια επίπεδα (Εικόνα 47) (Huisman, 2003b).



Εικόνα 46: Εξωτερική άποψη της εισόδου του σταθμού “Canary Wharf” (Πηγή: Greenroofs.com)



Εικόνα 47: Εσωτερική άποψη της εισόδου του σταθμού “Canary Wharf” (Πηγή: Huisman, 2003b)

4.3.2 ΑΙΣΘΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ, ΤΗΣ ΘΕΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ

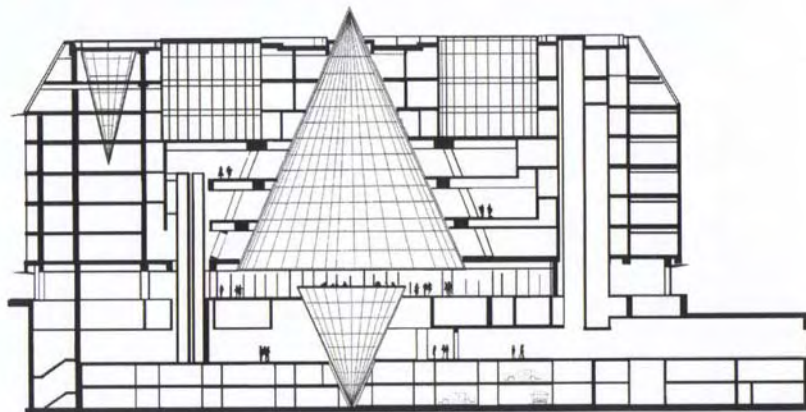
Λόγω της έλλειψης οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον, η ανάγκη για κίνηση και δυναμική σε έναν υπόγειο χώρο μπορεί να ικανοποιηθεί με τη δημιουργία εσωτερικών ερεθισμάτων, όπως υπόγειους χώρους πρασίνου που προσελκύουν την ανθρώπινη παρουσία ή με την προβολή φυσικού μεγέθους εικόνων από δραστηριότητες του εξωτερικού περιβάλλοντος με χρήση οπτικών μέσων (Samwel, 2003). Άλλες τεχνικές περιλαμβάνουν τη χρήση γυάλινων διαχωριστικών μεταξύ των διάφορων χώρων, τη δημιουργία πολυεπίπεδων χώρων και την κατασκευή κεντρικών αίθριων από την επιφάνεια μέχρι τη στάθμη του υπόγειου χώρου. Το ύψος της οροφής είναι ένα ακόμα σημαντικό σχεδιαστικό στοιχείο και το οποίο, γενικά, προτιμάται να είναι

μεγαλύτερο σε σχέση με το ύψος ενός τυπικού μονώροφου κτηρίου (Carmody and Sterling, 1987).

4.3.3 ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Η εξασφάλιση φυσικού φωτισμού σε έναν υπόγειο χώρο μπορεί να πραγματοποιηθεί με την ταπείνωση της στάθμης του εδάφους που περιβάλλει τον υπόγειο χώρο, ώστε να δημιουργηθούν υπόγειοι εξωτερικοί χώροι γύρω από την υπόγεια κατασκευή και το φυσικό φως να διεισδύει σε αυτή πλευρικά. Με την κατασκευή φωταγωγών και αίθριων με γυάλινη οροφή, το φυσικό φως διεισδύει στον υπόγειο χώρο από πάνω και κατανέμεται καλύτερα μέσα σε αυτόν. Επιπλέον, η μεταφορά φυσικού φωτός βαθιά μέσα στο έδαφος μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ανακλαστήρων, όπως καθρέπτες και ηλιοστάτες (Samwel, 2003). Δύο θαυμάσια παραδείγματα μεταφοράς φυσικού φωτός βαθιά μέσα στο έδαφος είναι το κτήριο της “Galeries Lafayette” στην εμπορική περιοχή Friedrichstrasse του Βερολίνου και η υπόγεια επέκταση της Βιβλιοθήκης της Νομικής Σχολής του Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν στην πόλη Αν Άρμπορ.

Το κτήριο της “Galeries Lafayette”, έργο του Γάλλου αρχιτέκτονα Jean Nouvel, διαθέτει 7 ορόφους και 4 υπόγεια επίπεδα σε βάθος 12 m, περιλαμβάνοντας εμπορικά καταστήματα, γραφεία, κατοικίες και χώρους στάθμευσης. Οι πλευρές του κτηρίου, όπως και η οροφή του, είναι γυάλινες (Εικόνα 48) και ο πυρήνας του αποτελείται από δύο γυάλινους ανεστραμμένους κώνους οι οποίοι βελτιώνουν τη διείσδυση και τη μεταφορά του φυσικού φωτός βαθιά μέσα στο κτήριο (Σχήμα 19). Οι βάσεις των δύο κώνων βρίσκονται στο ισόγειο επίπεδο, από όπου παρέχεται θέαση και στους 11 ορόφους (Εικόνα 49) (Meijenfeltdt, 2003).



Σχήμα 19: Σχηματική τομή του κτηρίου της “Galeries Lafayette” (Πηγή: Meijenfeltdt, 2003)

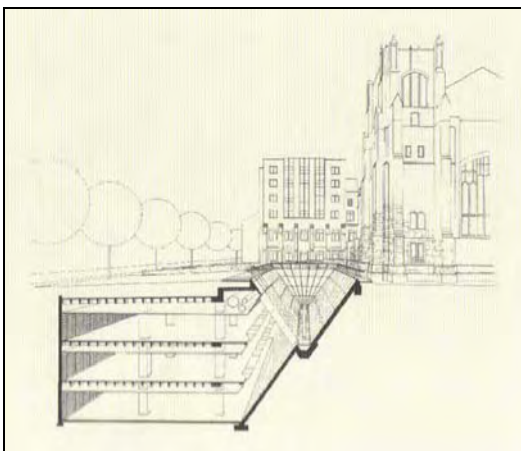


Εικόνα 48: Εξωτερική άποψη της “Galeries Lafayette”
(Πηγή: Meijenfeldt, 2003)



Εικόνα 49: Άποψη του εσωτερικού της “Galeries Lafayette”
(Πηγή: Meijenfeldt, 2003)

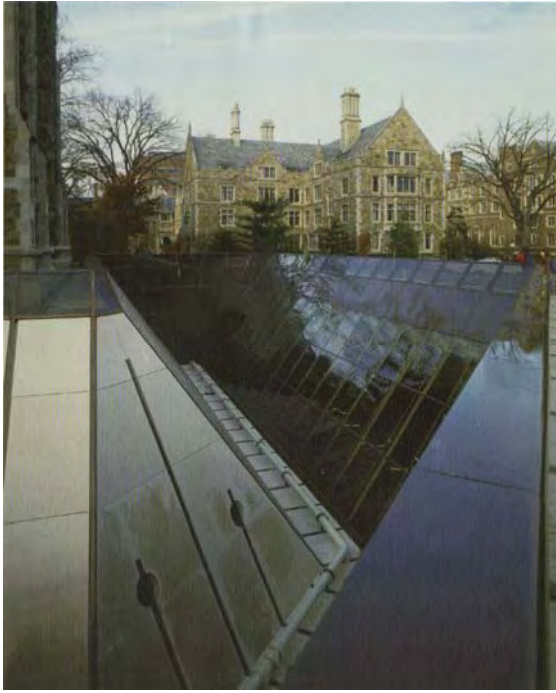
Η υπόγεια επέκταση της Βιβλιοθήκης της Νομικής Σχολής στην Αν Άρμπορ, έργο του αρχιτέκτονα Gunner Birkerts, έχει σχήμα “L” και περιλαμβάνει 3 υπόγεια επίπεδα που εκτείνονται σε βάθος 12 m. Ανάμεσα στην υπόγεια επέκταση και το αρχικό κτήριο της Βιβλιοθήκης, που αποτελεί κτίσμα της δεκαετίας του 1920, κατασκευάστηκε μια γυάλινη τάφρος με διατομή σχήματος “V” (Σχήμα 20), μέσα στην οποία εισέρχεται το φυσικό φως και μεταφέρεται στον υπόγειο χώρο μέσω ενός κεκλιμένου τοίχου (Εικόνες 50 και 51). Ο τοίχος, που ουσιαστικά αποτελεί προέκταση της τάφρου, έχει τοποθετηθεί σε τέτοια γωνία ώστε το φως να εισέρχεται σε κάθε υπόγειο επίπεδο οριζόντια. Ένα σύστημα καθρεπτών προσαρμοσμένο στη γυάλινη τάφρο εντείνει το φως της ημέρας, μεταφέροντας παράλληλα στον υπόγειο χώρο εικόνες από το εξωτερικό περιβάλλον (Εικόνα 52) (Melet, 2003).



Σχήμα 20: Σχηματική τομή της υπόγειας επέκτασης της Βιβλιοθήκης
(Πηγή: Melet, 2003)



Εικόνα 50: Άποψη του εσωτερικού της υπόγειας επέκτασης της Βιβλιοθήκης (Πηγή: Melet, 2003)



Εικόνα 51: Η γυάλινη τάφος
(Πηγή: Melet, 2003)



Εικόνα 52: Εξωτερική άποψη της Βιβλιοθήκης
και της υπόγειας επέκτασης (Πηγή: Melet, 2003)

Μια τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως για το φυσικό φωτισμό και τον αερισμό υπόγειων χώρων είναι και η “cour anglaise” (Εικόνες 53 και 54), η οποία σχηματίζεται με την αφαίρεση τμήματος του εδάφους μπροστά από κάποιο άνοιγμα (πόρτα, παράθυρο) το οποίο βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του φυσικού εδάφους (Ζούλιας, 2009).



Εικόνες 53 και 54: “Cour anglaise” σε υπόγεια στο Λονδίνο (Πηγή: Ζούλιας, 2009)

4.3.4 ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Το τεχνητό φως μπορεί σήμερα να αναπληρώσει επαρκώς την απουσία του φυσικού φωτός (Samwel, 2003) ή να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό μαζί του (Carmody and

Sterling, 1987). Όταν ο φωτισμός βασίζεται αποκλειστικά σε τεχνητά μέσα, είναι επιθυμητή η όσο το δυνατόν ακριβέστερη αναπαραγωγή της φασματικής σύνθεσης του φυσικού φωτός. Η χρήση τεχνητού φωτισμού σε όλο το εύρος του φάσματος ως εναλλακτική, μπορεί να παρέχει κάποια οφέλη στην ανθρώπινη φυσιολογία περισσότερο αποτελεσματικά σε σχέση με άλλες τεχνικές, όπως, για παράδειγμα, εκείνα που προέρχονται από την εξομοίωση της υπεριώδους ακτινοβολίας, η οποία αποκλείεται από το γυαλί των παραθύρων. Επιπλέον, το τεχνητό φως μπορεί να παρέχει σταθερό φωτισμό σε οπουδήποτε και οποτεδήποτε (Carmody and Sterling, 1987).

4.3.5 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ

Η αίσθηση του χώρου που δημιουργείται κάνοντας χρήση υψηλών οροφών, γυάλινων διαχωριστικών και φυσικού φωτισμού, συνθέτουν το ευρύτερο πλαίσιο των στοιχείων της εσωτερικής διακόσμησης ενός υπόγειου χώρου. Η επιτυχής εσωτερική διακόσμηση και η δημιουργία ενός θετικού περιβάλλοντος στον υπόγειο χώρο, μπορεί να επιτευχθεί με μια ποικιλία σχεδιαστικών προσεγγίσεων, όπως και στα επιφανειακά κτήρια και οι οποίες περιλαμβάνουν τη χρήση θερμών και ανοιχτών χρωμάτων, την εκτεταμένη χρήση πρασίνου και τη χρήση υδάτινου στοιχείου. Επιπλέον, είναι επιθυμητή η ένταξη καλλιτεχνικών δημιουργιών μέσα στον υπόγειο χώρο και η διακύμανση του φωτισμού σε συγκεκριμένες περιοχές του (Carmody and Sterling, 1987).

Εντυπωσιακά παραδείγματα εσωτερικής διακόσμησης έχουν αναπτυχθεί σε κάποιους σταθμούς του Μετρό της Στοκχόλμης με την εφαρμογή της λεγόμενης «Οργανικής Αρχιτεκτονικής», κατά την οποία το πέτρωμα παραμένει εκτεθειμένο χάρη στην καλή ποιότητά του, πλησιάζοντας την αισθητική του φυσικού σπηλαίου (Εικόνα 55) (ΕΕΣΥΕ, 2008). Στη Μόσχα, οι σταθμοί του Μετρό αποτελούν υπόγεια παλάτια για τους ανθρώπους, περιλαμβάνοντας τεράστιους επιχρυσωμένους πολυέλαιους, γλυπτά, μωσαϊκά και διακοσμημένες κολώνες (Εικόνα 56) (Huisman, 2003b).

Αλλά και στο Μετρό της Αθήνας, έργα τέχνης διακεκριμένων Ελλήνων καλλιτεχνών κοσμούν σχεδόν το σύνολο των σταθμών του, ενώ τμήμα των εντυπωσιακών αρχαιολογικών ευρημάτων που ήρθαν στο φως κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου εκτίθεται στους κεντρικούς σταθμούς του δικτύου (Εικόνες 57 και 58) (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ).



Εικόνα 55: Εικόνα από το Μετρό της Στοκχόλμης (ΕΕΣΥΕ, 2008)



Εικόνα 56: Εικόνα από το Μετρό της Μόσχας (Huisman, 2003b)



Εικόνα 57: «Το Ωρολόγιο του Μετρό», έργο στο Μετρό της Αθήνας. Στο βάθος διακρίνονται τα αρχαιολογικά εκθέματα (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ)



Εικόνα 58: «Υπόγειο Πάρκο», έργο στο Μετρό της Αθήνας (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ)

4.3.6 ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το μηχανικό σύστημα θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις ιδιαίτερες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του υπόγειου χώρου και ταυτόχρονα να διατηρεί τα οφέλη που προκύπτουν από την εξοικονόμηση ενέργειας, λόγω της φυσικής απομόνωσης του υπόγειου χώρου. Οι τεχνικές για τον περιορισμό των αρνητικών αντιδράσεων των χρηστών του υπόγειου χώρου, περιλαμβάνουν την παροχή εξαερισμού που να γίνεται αντιληπτός από τους χρήστες και την παροχή ενός ευέλικτου μηχανικού συστήματος που θα ελέγχει τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας, ώστε να ικανοποιείται η λειτουργία κάθε χώρου, αλλά και η άνεση των χρηστών (Carmody and Sterling, 1987).

4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αρνητικές επιπτώσεις στην ψυχολογία, αλλά και τη φυσιολογία του ανθρώπου κατά την παραμονή του σε υπόγειους χώρους είναι αποτέλεσμα τριών κυρίως παραγόντων,

δηλαδή της έλλειψης φυσικού φωτισμού, της έλλειψης επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον και της θέσης του υπόγειου χώρου κάτω από την επιφάνεια της γης. Κάποιοι από τους παράγοντες αυτούς συναντώνται, επίσης, στους κλειστούς, χωρίς παράθυρα, επιφανειακούς χώρους. Ωστόσο, οι ψυχολογικοί παράγοντες και οι φοβίες που σχετίζονται με τη χρήση του υπόγειου χώρου μπορεί να δράσουν ως ο πιο καταλυτικός ανασταλτικός παράγοντας για την υλοποίηση ενός υπόγειου έργου, καθώς απειλούν την οικονομική του βιωσιμότητα (Καλιαμπάκος, 2003).

Η ερμηνεία της συμπεριφοράς του ανθρώπου κατά την παραμονή του σε υπόγειους χώρους και η διαμόρφωση σχεδιαστικών αρχών για την υπόγεια αρχιτεκτονική, οδήγησαν στον περιορισμό των αρνητικών αυτών επιπτώσεων, δίνοντας περαιτέρω ώθηση στην υιοθέτηση υπόγειων λύσεων. Ωστόσο, η υπόγεια ανάπτυξη στο βεβαρημένο περιβάλλον των σύγχρονων πόλεων χρειάζεται να αντιπαρέλθει μια σειρά παραγόντων οι οποίοι αναστέλλουν την ένταξή της στον αστικό σχεδιασμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Η ΕΝΤΑΞΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΔΙΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

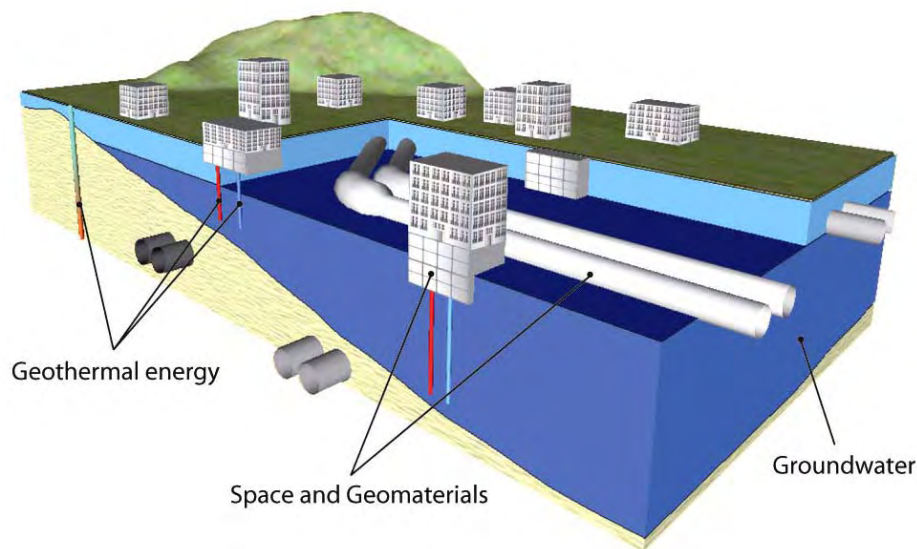
Η χρήση του αστικού υπόγειου χώρου παρέχει στις πόλεις ένα νέο βαθμό ελευθερίας, ο οποίος μπορεί να συμβάλλει στην επίτευξη της αειφόρου αστικής ανάπτυξης (Blunier *et al.*, 2007). Ωστόσο, ο υπόγειος χώρος αποτελεί ένα μη ανανεώσιμο φυσικό πόρο που απαιτεί ορθολογική διαχείριση (Bobylen, 2009), καθώς με τη δημιουργία ενός υπόγειου ανοίγματος το υπέδαφος δε μπορεί να επανέλθει ποτέ ξανά στην αρχική του κατάσταση, ενώ η παρουσία του ανοίγματος αυτού μπορεί να επηρεάσει όλες τις υπόγειες, αλλά και επίγειες, μελλοντικές χρήσεις στην άμεση γειτονία του (ITA Working Group on Subsurface Planning, 1991b).

Στις περισσότερες πόλεις, η ανάπτυξη του υπόγειου χώρου δεν έχει ενταχθεί σε κάποιο γενικότερο σχεδιασμό, αλλά πραγματοποιείται βάσει των αναγκών που προκύπτουν κάθε φορά, χωρίς να γίνεται πρόβλεψη των πιθανών μελλοντικών αναγκών. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την ιστορική εξέλιξη της χρήσης του αστικού υπόγειου χώρου από τα αβαθή στα βαθύτερα στρώματά του, είχε ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση συχνά απαρχαιωμένων υπόγειων κατασκευών και την έλλειψη διαθέσιμου ελεύθερου χώρου, ιδιαίτερα στο αβαθές τμήμα του. Συχνά, ο συνωστισμός που παρατηρείται στο αβαθές τμήμα του αστικού υπόγειου χώρου εμποδίζει την ανάπτυξη κατασκευών στα βαθύτερα στρώματά του (Bobylen, 2009).

Όμως, το υπέδαφος δεν αποτελεί μόνο πηγή χώρου για τη δημιουργία κατασκευών, αλλά και πηγή τριών ακόμη φυσικών πόρων. Οι φυσικοί αυτοί πόροι είναι τα υπόγεια ύδατα, η γεωθερμική ενέργεια και τα γεωϋλικά (Σχήμα 21). Η ανάγκη εξασφάλισης των απαραίτητων υποδομών γρήγορα και φθηνά και η απουσία μακροπροθέσμου σχεδιασμού της χρήσης του υπεδάφους, οδήγησαν στην εκμετάλλευση των φυσικών αυτών πόρων χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι αλληλεπιδράσεις τους, με αποτέλεσμα την κατασπατάλησή τους και την εμφάνιση συγκρούσεων μεταξύ των διαφόρων χρήσεων (Pargiaux *et al.*, 2007).

Μέχρι σήμερα ο αστικός σχεδιασμός πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις δύο διαστάσεις και επιπλέον, τα επιφανειακά σχέδια χρήσεων γης προηγούνται συνήθως των σχεδίων χρήσης του υπόγειου χώρου (Bobylen, 2009). Η αειφόρος εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του υπεδάφους σε συνδυασμό με την ανάγκη άμεσης διασύνδεσης των υπόγειων και των επιφανειακών δραστηριοτήτων, απαιτεί την ένταξη

του αστικού υπόγειου χώρου σε ένα τρισδιάστατο χωρικό σχεδιασμό (Parriaux *et al.*, 2007). Επίσης, είναι σημαντική η επίλυση ζητημάτων νομικής φύσεως, όπως το ιδιοκτησιακό καθεστώς του υπόγειου χώρου, το οποίο θεωρείται ένας από τους βασικότερους ανασταλτικούς παράγοντες για την υιοθέτηση υπόγειων λύσεων, ενώ ένα ακόμη κρίσιμο ζήτημα είναι και η ανάγκη αποτίμησης της αξίας του υπόγειου χώρου και των πλεονεκτημάτων αυτού σε χρηματικούς όρους, ώστε να είναι εφικτή η ρεαλιστική σύγκριση μεταξύ επίγειων και υπόγειων λύσεων (Μαυρίκος, 2006). Η άγνοια των δυνατοτήτων της υπόγειας ανάπτυξης και η προσκόλληση στα επιφανειακά έργα, αποτελούν ακόμη ένα σοβαρό ανασταλτικό παράγοντα (Καλιαμπάκος, 2003).



Σχήμα 21: Οι φυσικοί πόροι του υπεδάφους (Πηγή: Parriaux *et al.*, 2007)

5.1 ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΧΩΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Για την ένταξη του αστικού υπόγειου χώρου σε ένα τρισδιάστατο χωρικό σχεδιασμό, είναι σημαντική η σύνταξη ενός τρισδιάστατου γεωλογικού προσομοιώματος το οποίο θα προσδιορίζει, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, τους γεωλογικούς σχηματισμούς που συναντώνται στο υπέδαφος μιας πόλης, αλλά και τις ιδιότητές τους, αξιοποιώντας όλα τα στοιχεία που είναι διαθέσιμα από γεωλογικούς χάρτες, γεωτρήσεις, υφιστάμενες υπόγειες κατασκευές και θεμελιώσεις κτηρίων. Το γεωλογικό προσομοίωμα πρέπει να συμπληρώνεται με την καταγραφή των υφιστάμενων υπόγειων κατασκευών και να βελτιώνεται σταδιακά με την εισαγωγή νέων στοιχείων, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της γνώσης της δομής του αστικού υπεδάφους και των δυνατοτήτων του (Parriaux *et al.*, 2007).

Για την αποφυγή συγκρούσεων μεταξύ των διαφόρων χρήσεων, κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού απαιτείται η εκτίμηση των αναγκών που θα κληθεί να καλύψει στο μέλλον ο αστικός υπόγειος χώρος και ο καθορισμός των χρήσεων που έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα. Δεδομένης της πολυπλοκότητας των ζητημάτων αυτών, μια πιθανή λύση θα ήταν η διατήρηση πολύτιμων περιοχών του αστικού υπεδάφους για μελλοντική χρήση (Bobylen, 2009). Επιπλέον, ο αστικός υπόγειος χώρος πρέπει να αξιοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο για συνδυασμένες χρήσεις, χωρίς τη δημιουργία μακροχρόνιων συγκρούσεων. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η θέσπιση κανόνων που θα προσδιορίζουν τους όρους της πολλαπλής χρήσης του αστικού υπεδάφους, καθορίζοντας δυνατές συνέργειες, εξαιρέσεις και περιορισμούς (Parriaux *et al.*, 2007).

Ένας εκτεταμένος υπόγειος σχεδιασμός έχει πραγματοποιηθεί σε πολλές Σκανδιναβικές πόλεις, όπου προβλέπεται η δημιουργία μιας δημόσιας βάσης δεδομένων των συνθηκών του υπεδάφους και υλοποιείται η πολιτική της διατήρησης τμημάτων του υπόγειου χώρου για μελλοντική χρήση (Bobylen, 2009).

5.2 ΟΙ ΑΝΑΣΤΑΛΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

5.2.1 ΤΟ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ

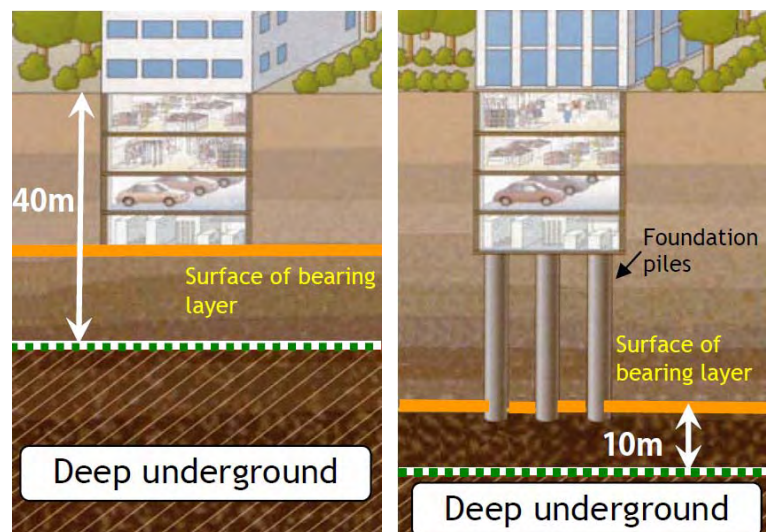
Ο πιο συχνά συναντώμενος ορισμός των ορίων της επιφανειακής ιδιοκτησίας προέρχεται από το Ρωμαϊκό νόμο, ο οποίος ορίζει ότι η επιφανειακή ιδιοκτησία εκτείνεται ως τον ουρανό και ως το κέντρο της γης (ITA Working Group on Subsurface Planning, 2000). Ένας ορισμός που συναντάται, επίσης, συχνά, περιορίζει το δικαίωμα της επιφανειακής ιδιοκτησίας ως το βάθος όπου υπάρχει εύλογο ενδιαφέρον. Ωστόσο, πρόσφατες τροποποιήσεις νομοθετικών πλαισίων που σχετίζονται με την ιδιοκτησία της γης, περιορίζουν το δικαίωμα χρήσης του υπόγειου χώρου προωθώντας τη χρήση του για δημόσιους σκοπούς, εφόσον αυτή δεν παρεμποδίζει το σκοπό που επιτελεί η επιφανειακή χρήση. Σε διάφορες Σκανδιναβικές χώρες, η επιφανειακή ιδιοκτησία εκτείνεται ως ένα περιορισμένο βάθος (6 m) κάτω από την επιφάνεια (Bobylen, 2009). Έτσι, τα όρια της επιφανειακής ιδιοκτησίας διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες (ITA Working Group on Subsurface Planning, 1991a):

- Η επιφανειακή ιδιοκτησία εκτείνεται ως το κέντρο της γης
- Η επιφανειακή ιδιοκτησία εκτείνεται ως το βάθος όπου υπάρχει εύλογο ενδιαφέρον
- Η επιφανειακή ιδιοκτησία εκτείνεται ως ένα συγκεκριμένο βάθος (π.χ. 6 m)

➤ Ιδιωτική ιδιοκτησία δεν υφίσταται και άρα, ο υπόγειος χώρος ανήκει στο κράτος

Εκτός από τη νομοθεσία που σχετίζεται με την ιδιοκτησία της γης, η χρήση του υπόγειου χώρου καθορίζεται και από τη νομοθεσία που σχετίζεται με τις περιβαλλοντικές διασφαλίσεις, την εξορυκτική πολιτική και τη δημόσια ασφάλεια (Bobylen, 2009). Για παράδειγμα, το δικαίωμα δόμησης όταν πρόκειται για ιδιωτική ιδιοκτησία, υπόκειται στους περιορισμούς που σχετίζονται με τους ορυκτούς πόρους και τα αρχαιολογικά ευρήματα και τα οποία περιέρχονται στην ιδιοκτησία του κράτους (Besner, 2007).

Σε πολλές χώρες, το ιδιοκτησιακό καθεστώς του υπόγειου χώρου δεν έχει αποσαφηνιστεί, ενώ σε κάποιες άλλες δρα ανασταλτικά. Συνεπώς, σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται αναθεώρηση του νομοθετικού πλαισίου που σχετίζεται με το ιδιοκτησιακό καθεστώς του υπόγειου χώρου (Μαυρίκος, 2006). Μια εφικτή λύση αποτελεί η δημιουργία τρισδιάστατου “real-estate”, με τη στρωματοποίηση της ιδιοκτησίας του υπεδάφους (ITA Working Group on Subsurface Planning, 2000). Στην Ιαπωνία, όπου το δικαίωμα της ιδιωτικής ιδιοκτησίας της γης είναι ισχυρό (Bobylen, 2009), τέθηκε σε εφαρμογή το 2001 ο νόμος “Deep Underground Utilization Law”, προωθώντας τη δημόσια χρήση των βαθύτερων στρωμάτων του υπόγειου χώρου στις μητροπολιτικές περιοχές του Τόκυο, της Οσάκα και της Ναγκόγια. Ο συγκεκριμένος νόμος βασίζεται στο σκεπτικό ότι εάν η κατασκευή των δημόσιων εγκαταστάσεων λαμβάνει χώρα μέσα στο στρώμα του υπεδάφους που ορίζεται ως “Deep Underground” (Σχήμα 22), δεν επηρεάζει τα υφιστάμενα υπέργεια κτήρια, συμπεριλαμβανομένων των πασσάλων θεμελίωσης και των υπογείων (Nishioka *et al.*, 2007).



Σχήμα 22: Σχηματική απεικόνιση του στρώματος του υπεδάφους που ορίζεται ως “Deep Underground” (Nishioka *et al.*, 2007)

5.2.2 Η ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ

Ο υπόγειος χώρος φιλοξενεί σήμερα ένα ευρύτατο φάσμα δραστηριοτήτων και η εμπορική του εκμετάλλευση είναι αντίστοιχη με εκείνη των επιφανειακών ακινήτων, συνιστώντας ένα ιδιότυπο “real estate”. Το γεγονός αυτό φανερώνει την αντιμετώπιση του υπόγειου χώρου ως ακίνητης περιουσίας. Σε αντίθεση, όμως, με την αξία των επιφανειακών ακινήτων, η οποία εκτιμάται βάσει τεκμηριωμένων οικονομικών θεωριών, ελάχιστη σημασία έχει δοθεί μέχρι σήμερα στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της αξίας του υπόγειου χώρου. Έτσι, ο υπόγειος χώρος αντιμετωπίζεται, στην ουσία, ως ένα ελεύθερο αγαθό με μηδενική τιμή, με αποτέλεσμα την κατασπατάλησή του και τη συμφόρηση υπόγειων εγκαταστάσεων στα αβαθή στρώματά του (Μαυρίκος, 2006).

Με βάση τα παραπάνω, η αποτίμηση της αξίας του υπόγειου χώρου καθίσταται απολύτως αναγκαία για την ορθολογική χρήση του αστικού υπόγειου χώρου και την ενσωμάτωση της υπόγειας ανάπτυξης στον αστικό σχεδιασμό. Η μεθοδολογία για την αποτίμηση της αξίας του υπόγειου χώρου θα πρέπει να αναζητηθεί πρωτίστως στις οικονομικές θεωρίες της εκτίμησης ακινήτων. Επιπλέον, η αποτίμηση της αξίας του υπόγειου χώρου προϋποθέτει βαθιά γνώση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και απαιτήσεων της κάθε χρήσης, γεγονός που υποδηλώνει τη συλλογή και την ανάλυση ενός σημαντικού όγκου δεδομένων, καθώς ο υπόγειος χώρος καλύπτει σήμερα ένα ευρύτατο φάσμα χρήσεων (Μαυρίκος, 2006).

5.2.3 Η ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ

Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη της τεχνολογίας και η βελτίωση των τεχνικών κατασκευής υπόγειων έργων, οδήγησαν σε σημαντική μείωση του κόστους και αύξηση της ασφάλειας κατασκευής των υπόγειων έργων. Ωστόσο, το υψηλότερο αρχικό κόστος κατασκευής των υπόγειων έναντι των επίγειων εναλλακτικών, αποτελεί συνήθως ανασταλτικό παράγοντα για την υιοθέτηση υπόγειων λύσεων. Η κατάσταση αυτή συχνά αναστρέφεται, όταν κατά τη διαδικασία ανάλυσης του κύκλου ζωής (“Life-Cycle Assessment”) λαμβάνεται υπόψη το κόστος συντήρησης και λειτουργίας των δύο εναλλακτικών. Ωστόσο, μια σημαντική παράμετρος που απουσιάζει συστηματικά από τη διαδικασία αυτή, είναι η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η οποία, με τη διαρκώς αυξανόμενη περιβαλλοντική ανησυχία, καθίσταται ολοένα σημαντικότερη (Μαυρίκος and Κάλιαμπακος, 2007).

Παρόλο που τα οφέλη τα οποία προκύπτουν από τη χρήση του αστικού υπόγειου χώρου είναι εμφανή, τα περισσότερα και ιδιαίτερα εκείνα που αφορούν στην προστασία του περιβάλλοντος, δε μπορούν να αποτιμηθούν εύκολα σε χρηματικούς όρους, με αποτέλεσμα την υποτίμηση των υπόγειων λύσεων. Ωστόσο, η διαρκής πρόοδος του κλάδου της «Περιβαλλοντικής Οικονομίας»¹ παρέχει σήμερα στους ερευνητές, τους πολεοδόμους και τα κέντρα λήψης αποφάσεων όχι μόνο τα απαραίτητα εργαλεία για την αποτίμηση των περιβαλλοντικών οφελών, αλλά και μια πληθώρα πρότυπων μελετών, συμβάλλοντας στη βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων και δίνοντας ώθηση στην υπόγεια ανάπτυξη (Mavrikos and Kaliampakos, 2007).

5.2.4 Η ΑΓΝΟΙΑ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Οι άνθρωποι που ευθύνονται για τη λήψη αποφάσεων πολιτικής ή οικονομικής φύσεως, συχνά χαρακτηρίζονται από άγνοια των δυνατοτήτων της υπόγειας ανάπτυξης και «μη εξοικείωση» με την ίδια τη φιλοσοφία των υπόγειων έργων, γεγονός που τους οδηγεί στη συντηρητική επιλογή των επιφανειακών έργων (Καλιαμπάκος, 2003). Συνεπώς, η ανάγκη ενημέρωσης των κέντρων λήψης αποφάσεων σχετικά με τις ευκαιρίες και τις δυνατότητες μελλοντικής ανάπτυξης οι οποίες χάνονται εξαιτίας της επικρατούσας συντηρητικής νοοτροπίας, είναι ζωτικής σημασίας. Επιπλέον, η διαδικασία σχεδιασμού της αστικής υπόγειας ανάπτυξης θα πρέπει να αποτελεί διεπιστημονικό αντικείμενο στο οποίο θα συμμετέχουν διάφορες ειδικότητες, όπως μηχανικοί, γεωεπιστήμονες, κατασκευαστές, σχεδιαστές μηχανικού εξοπλισμού, πολεοδόμοι, αρχιτέκτονες, ψυχολόγοι, φυσιολόγοι, κοινωνιολόγοι, οικονομολόγοι και νομοθέτες (ΙΤΑ, 1990).

Σε ερευνητικό επίπεδο, η προώθηση της χρήσης του υπεδάφους πραγματοποιείται σήμερα από δύο διεθνείς ενώσεις, τη «Διεθνή Ένωση Σηράγγων» (“International Tunnelling Association” ή ΙΤΑ), που ιδρύθηκε το 1974 και τα «Ηνωμένα Ερευνητικά Κέντρα για τον Αστικό Υπόγειο Χώρο» (“Associated Research Centers for Urban Underground Space” ή ACUUS), που ιδρύθηκε το 1996. Σκοπός της ΙΤΑ είναι η ενθάρρυνση της χρήσης του υπεδάφους προς όφελος του κοινού, του περιβάλλοντος και της αειφόρου ανάπτυξης, ενώ σκοπός της ACUUS είναι η προώθηση της έρευνας πάνω σε θέματα σχεδιασμού και διαχείρισης του υπόγειου χώρου σε αστικές περιοχές (Μαυρίκος, 2006, ΕΕΣΥΕ, 2007).

¹ Η Περιβαλλοντική Οικονομία στηρίζεται στην υπόθεση ότι όλες οι λειτουργίες που παρέχονται από το φυσικό περιβάλλον (αγαθά και υπηρεσίες) έχουν μια οικονομική αξία, η οποία θα ήταν φανερή αν οι λειτουργίες αυτές ήταν ενταγμένες σε μια πραγματική αγορά (Μαυρίκος, 2006)

5.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΠΟΛΕΩΝ

Η ανάγκη για προστασία από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες που κυριαρχούν στις βόρειες χώρες του πλανήτη, οδήγησε στην ανάπτυξη υπόγειων δικτύων κίνησης πεζών, κάποια από τα οποία σταδιακά εξελίχθηκαν σε υπόγειες πόλεις. Στον Καναδά, η ανάπτυξη των υπόγειων πόλεων του Μόντρεαλ και του Τορόντο κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, αποτελούν τα πιο εντυπωσιακά παραδείγματα παγκοσμίως. Ωστόσο, εξίσου εντυπωσιακά παραδείγματα θα αποτελέσουν και οι υπόγειες πόλεις που σχεδιάζονται σήμερα, προκειμένου να αντισταθμίσουν την έλλειψη χώρου και να συμβάλλουν στην αναβάθμιση του βεβαρημένου αστικού περιβάλλοντος.

5.3.1 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΡΕΑΛ

Η υπόγεια πόλη του Μόντρεαλ αποτελεί μια από τις παλαιότερες υπόγειες πόλεις και ίσως το πιο εκτεταμένο εσωτερικό δίκτυο κίνησης πεζών στον κόσμο (Besner, 2007), διαθέτοντας πάνω από 32 km σηράγγων και καλύπτοντας μια περιοχή 12 km². Το υπόγειο δίκτυο διαθέτει 120 σημεία πρόσβασης και εξυπηρετεί καθημερινά περίπου 500000 ανθρώπους στο κέντρο του Μόντρεαλ, συνδέοντας εμπορικά κέντρα (Εικόνες 59 και 60), ξενοδοχεία, τράπεζες, γραφεία, μουσεία, πανεπιστήμια, 7 σταθμούς μετρό, 2 σταθμούς τρένων, ένα τερματικό σταθμό λεωφορείων, καθώς επίσης το στάδιο “Bell Centre”. Επιπλέον, η υπόγεια πόλη αποτελεί ένα πρότυπο υπόγειας αστικοποίησης (Lavagno and Schranz, 2007).

Η δημιουργία της υπόγειας πόλης του Μόντρεαλ ξεκίνησε το 1962, με την κατασκευή δύο σηράγγων για τη σύνδεση του εμπορικού συγκροτήματος “Place Ville-Marie” και του σιδηροδρομικού σταθμού “Central Station”. Ωστόσο, ο μηχανισμός που έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη της υπόγειας πόλης ήταν η κατασκευή του υπόγειου σιδηρόδρομου. Η υπόγεια πόλη άρχισε να αναπτύσσεται χωρίς κάποιο αρχικό σχέδιο. Εκείνη την εποχή, άλλωστε, ελάχιστες πόλεις της Βόρειας Αμερικής διέθεταν γενικό σχέδιο και ο έλεγχος της αστικής ανάπτυξης γινόταν με τη χρήση κανονιστικών εργαλείων. Παρά τις επανηλειμμένες απόπειρες της πόλης του Μόντρεαλ να σχεδιάσει την ανάπτυξη της υπόγειας πόλης, η αρμονική της ανάπτυξη οφείλεται στην υιοθέτηση μιας σειράς κινήτρων για τους επενδυτές. Με την έγκριση του πρώτου γενικού σχεδίου της πόλης του Μόντρεαλ το 1992, δε δόθηκε άμεση προτεραιότητα στο σχεδιασμό της υπόγειας πόλης. Ωστόσο, με το νέο διευρυμένο γενικό σχέδιο της πόλης το 2002, το υπόγειο δίκτυο πεζόδρομων αποτελεί μέρος της στρατηγικής για την προώθηση της κίνησης των πεζών έναντι των αυτοκινήτων (Besner, 2007).

Δύσκολα μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι η υπόγεια πόλη του Μόντρεαλ θα είχε αναπτυχθεί καλύτερα ακολουθώντας ένα αρχικό σχέδιο. Η διαδικασία της διαδοχικής έγκρισης των διάφορων έργων επέτρεψε την ανάπτυξη ενός υπόγειου δικτύου πεζόδρομων μεγάλης κλίμακας, το οποίο είναι προστατευμένο από τις καιρικές συνθήκες, προωθεί τη χρήση της δημόσιας συγκοινωνίας και αποτελεί πόλο έλξης εμπορικής δραστηριότητας και τουρισμού στο κέντρο του Μόντρεαλ (Besner, 2007).



Εικόνες 59 και 60: Υπόγειο εμπορικό κέντρο στο Μόντρεαλ
(Πηγή: Lavagno and Schranz, 2007)

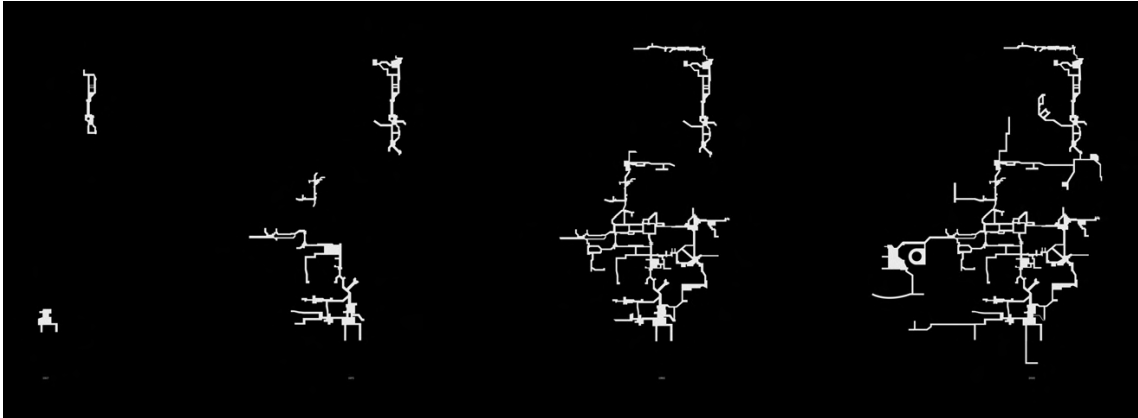
5.3.2 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΤΟΡΟΝΤΟ

Κάτω από την επιφάνεια των δρόμων του Τορόντο έχει αναπτυχθεί ένα υπόγειο δίκτυο πεζόδρομων που συνεχώς επεκτείνεται και το οποίο εξυπηρετεί καθημερινά πάνω από 100000 ανθρώπους, συνδέοντας περίπου 50 κτήρια γραφείων, 6 μεγάλα ξενοδοχεία, 2 μεγάλα πολυκαταστήματα, 20 υπόγειους χώρους στάθμευσης (Εικόνα 61), αλλά και σημαντικούς τουριστικούς προορισμούς. Το υπόγειο αυτό δίκτυο αποτελεί μια ολόκληρη πόλη και ταυτόχρονα το μεγαλύτερο υπόγειο εμπορικό συγκρότημα του κόσμου, σύμφωνα με το Βιβλίο Γκίνες, περιλαμβάνοντας περισσότερα από 30 km εμπορικών στοών και 500 στρέμματα εμπορικού χώρου (Εικόνα 62), όπου στεγάζονται 1200 εμπορικά καταστήματα στα οποία απασχολούνται περίπου 2500 άνθρωποι. Η υπόγεια αυτή πόλη περιβάλλεται από 2 υπόγειες σιδηροδρομικές γραμμές, 6 σταθμούς, ένα τερματικό σταθμό περιφερειακής εμβέλειας και ένα τερματικό σταθμό λεωφορείων εθνικής εμβέλειας (Bèlanger, 2007).

Η υπόγεια πόλη του Τορόντο άρχισε να αναπτύσσεται τη δεκαετία του 1970, με στόχο την προστασία από τις ακραίες κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στον Καναδά και γενικότερα στις βόρειες χώρες, την προστασία από την ολοένα αυξανόμενη ατμοσφαιρική ρύπανση και τον διαχωρισμό της κίνησης των πεζών από εκείνη των αυτοκινήτων. Ωστόσο, τα όρια του σημερινού υπόγειου δικτύου στο βορρά και το νότο, είχαν διαμορφωθεί ήδη από τη δεκαετία του 1920 με την κατασκευή σηράγγων για τη σύνδεση των επιμέρους τμημάτων του πολυκαταστήματος “Eaton Centre” και τη σύνδεση του σιδηροδρομικού σταθμού “Union Station” με το ξενοδοχείο “Royal York Hotel” (Σχήμα 23). Τη δεκαετία του 1970, η κρατική χρηματοδότηση και η νομοθετική ρύθμιση που εξαιρούσε την επιφάνεια του υπόγειου χώρου από τον υπολογισμό του συντελεστή δόμησης των νέων κτηρίων, έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη του υπόγειου δικτύου. Τη δεκαετία του 1980, το υπόγειο δίκτυο αποτελούσε πλέον μια οικονομική προστακτική για τους περισσότερους ιδιοκτήτες νέων κτηρίων και η περαιτέρω ανάπτυξή του συνεχίστηκε χωρίς ιδιαίτερες πολεοδομικές παρεμβάσεις, υπό την επίδραση της ραγδαίας οικονομικής ανάπτυξης στο κέντρο του Τορόντο. Η πρόσφατη σύνδεση του υπόγειου δικτύου με πολλούς τουριστικούς προορισμούς και η δημιουργία πολλών επιφανειακών συνδέσεων, συνέβαλλαν στη διαμόρφωση ενός εκτεταμένου πολυεπίπεδου δικτύου κίνησης πεζών στο κέντρο του Τορόντο (Bèlanger, 2007).



Εικόνες 61 και 62: Υπόγειος χώρος στάθμευσης (αριστερά) και υπόγειο εμπορικό κέντρο (δεξιά) στο Τορόντο (Πηγή: Bèlanger, 2007)



Σχήμα 23: Η ανάπτυξη του υπόγειου δικτύου του Τορόντο κατά τα έτη 1917, 1971, 1993 και 2006 (Bèlanger, 2007)

5.3.3 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΑΜΣΤΕΡΝΤΑΜ

Με μέσο όρο 450 κατοίκους ανά km^2 , η Ολλανδία θεωρείται μια από τις πιο πυκνοκατοικημένες χώρες του κόσμου. Ωστόσο, η Ολλανδία μοιάζει περισσότερο με αραιοκατοικημένη πόλη παρά με πυκνοκατοικημένη χώρα, αφού απουσιάζει εντελώς η συμπαγής μορφή που συναντάται σε άλλες χώρες του κόσμου. Το Ράντσταντ, η αστική συγκέντρωση της δυτικής Ολλανδίας, είναι ένα δίκτυο μεσαίου μεγέθους πόλεων με πληθυσμό 7 εκατομμυρίων ανθρώπων. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η σοβαρή έλλειψη χώρου, οι αστικές περιοχές διαρκώς επεκτείνονται. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια στροφή προς την αξιοποίηση του αστικού υπεδάφους (Meijenfeldt and Regenboog, 2003).

Την περίοδο 1950-2000, ο πληθυσμός του Άμστερνταμ ελαττώθηκε από τις 850000 στις 700000, ενώ η επιφάνεια της πόλης αυξήθηκε δραματικά (Meijenfeldt and Regenboog, 2003). Προκειμένου να εκτονωθεί η πίεση η οποία δημιουργήθηκε από την έλλειψη χώρου, Ολλανδοί μηχανικοί σχεδιάζουν σήμερα την κατασκευή μιας υπόγειας πόλης κάτω από τα κανάλια του Άμστερνταμ, χρησιμοποιώντας μια νέα τεχνική που δε θα παρεμποδίζει την κυκλοφορία. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην προσωρινή άντληση του νερού των καναλιών και την στεγανοποίηση του πυθμένα τους, συνδυάζοντας τη φυσική άργιλο με σκυρόδεμα, ώστε να επανατοποθετηθεί το νερό στα κανάλια και να επιτραπεί η ασφαλής κατασκευή του υπόγειου συγκροτήματος ακριβώς από κάτω. Το μεγάλο αυτό έργο, που ονομάζεται “Amfora”, προβλέπει την κατασκευή 6 υπόγειων επιπέδων (Σχήμα 24) τα οποία θα περιλαμβάνουν χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων (Σχήμα 25), δίκτυα κοινής ωφέλειας, εμπορικά καταστήματα και χώρους αναψυχής. Η κατασκευή του έργου, το οποίο έχει ήδη εγκριθεί από την πόλη του Άμστερνταμ,

αναμένεται να ξεκινήσει το 2018 και θα διαρκέσει περίπου 20 χρόνια (Hammond, 2008, Waterfield, 2008).



Σχήμα 24: Σχηματική τομή της υπόγειας πόλης του Άμστερνταμ (Πηγή: Hammond, 2008)



Σχήμα 25: Άποψη χώρου στάθμευσης στην υπόγειο πόλη του Άμστερνταμ (Πηγή: Hammond, 2008)

5.3.4 ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ

Ο αστικός υπόγειος χώρος στην Κίνα γνωρίζει ταχύτατη ανάπτυξη από τις αρχές του αιώνα, με αποτέλεσμα η Κίνα να θεωρείται σήμερα μια από τις σημαντικότερες χώρες ως προς την αξιοποίηση του αστικού υπεδάφους. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και αξιοποίηση του αστικού υπόγειου χώρου της Κίνας διαδραματίζουν οι υπόγειες συγκοινωνιακές υποδομές και τα μεγάλης κλίμακας υπόγεια συγκροτήματα που συναντώνται στις μεγάλες πόλεις. Η Κίνα εμφανίζει σήμερα το μεγαλύτερο ρυθμό κατασκευής αστικών υπόγειων σιδηρόδρομων παγκοσμίως, ενώ έχει ήδη εγκαινιάσει την κατασκευή αστικών υπόγειων αυτοκινητόδρομων. Τα μεγάλης κλίμακας υπόγεια συγκροτήματα που συναντώνται στις μεγάλες πόλεις της Κίνας και τα οποία χαρακτηρίζονται για τον εντυπωσιακό τους αριθμό και το υψηλό τους επίπεδο, συνδυάζονται με τον υπόγειο σιδηρόδρομο, την αναδόμηση των κεντρικών περιοχών και την κατασκευή νέων περιοχών. Κάθε συγκρότημα διαμορφώνεται σε 3-4 επίπεδα, φιλοξενώντας ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών, όπως συγκοινωνία, εμπόριο και διοίκηση, αποτελώντας ένα ολοκληρωμένο και αυτόνομο σύστημα (Qihu and Xiaoqiang, 2007).

Τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερη σημασία έχει δοθεί στο σχεδιασμό του αστικού υπόγειου χώρου της Κίνας. Μέχρι σήμερα, πάνω από 20 πόλεις, συμπεριλαμβανομένων του Πεκίνου και της Σαγκάης, έχουν καταρτίσει ειδικά σχέδια για την αποτελεσματική ανάπτυξη και αξιοποίηση του υπόγειου χώρου τους, καθορίζοντας την κλίμακα, τη γενική διαρρύθμιση, τη λειτουργία, το βάθος, τις προτεραιότητες και τις ζωτικής σημασίας περιοχές για τη μελλοντική ανάπτυξη του υπόγειου χώρου τους, σε

συνδυασμό με την αναδόμηση κεντρικών περιοχών και την κατασκευή νέων. Έτσι, διάφορες υπόγειες πόλεις αρχίζουν να διαμορφώνονται στην Κίνα. Για παράδειγμα, στη Σαγκάη σχεδιάζεται η κατασκευή μιας υπόγειας πόλης επιφάνειας 400 στρεμμάτων κάτω από την “World Expo” και μιας υπόγειας πόλης επιφάνειας 200 στρεμμάτων κάτω από το Νότιο Σιδηροδρομικό Σταθμό. Στο Πεκίνο, η συνολική επιφάνεια του υπόγειου χώρου ανέρχεται ήδη στα 30 km² και προβλέπεται ετήσια αύξησή της κατά 3 km² (Qihu and Xiaoqiang, 2007).

5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο υπόγειος χώρος αποτελεί ένα μη ανανεώσιμο φυσικό πόρο που απαιτεί ορθολογική διαχείριση, αλλά και πηγή τριών ακόμη φυσικών πόρων, δηλαδή υπόγειων υδάτων, γεωθερμικής ενέργειας και γεωϋλικών. Η αειφόρος εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του υπεδάφους σε συνδυασμό με την ανάγκη άμεσης διασύνδεσης των υπόγειων και των επιφανειακών δραστηριοτήτων, απαιτεί την ένταξη του αστικού υπόγειου χώρου σε ένα τρισδιάστατο χωρικό σχεδιασμό, ο οποίος θα προωθή την πολλαπλή χρήση του υπεδάφους, εκτιμώντας τις μελλοντικές ανάγκες και αποτρέποντας τη δημιουργία μακροχρόνιων συγκρούσεων μεταξύ των επιμέρους χρήσεων.

Προς αυτή την κατεύθυνση, είναι σημαντική η επίλυση ζητημάτων που μέχρι σήμερα αναστέλλουν την υπόγεια ανάπτυξη των πόλεων, όπως το ιδιοκτησιακό καθεστώς του υπόγειου χώρου, η αποτίμηση της αξίας του υπόγειου χώρου και των πλεονεκτημάτων αυτού σε χρηματικούς όρους, αλλά και η άγνοια των δυνατοτήτων της υπόγειας ανάπτυξης που διακατέχει συχνά τα κέντρα λήψης αποφάσεων πολιτικής ή οικονομικής φύσεως. Σε αυτό ήδη συμβάλλουν οι δύο διεθνείς ενώσεις ITA και ACUUS, προωθώντας τη χρήση του υπεδάφους σε ερευνητικό επίπεδο.

Οι υπόγειες πόλεις του Μόντρεαλ και του Τορόντο αποτελούν πρότυπα υπόγειας αστικοποίησης, παρόλο που η ανάπτυξή τους δε βασίστηκε στην εφαρμογή κάποιου σχεδίου. Η διαδοχική έγκριση των επιμέρους έργων και η υιοθέτηση κινήτρων, όπως η εξαίρεση της επιφάνειας του υπόγειου χώρου από τον υπολογισμό του συντελεστή δόμησης, οδήγησαν στη διαμόρφωση δύο εκτεταμένων πολυεπίπεδων δικτύων κίνησης πεζών, απόλυτα προστατευμένων από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες. Εξίσου εντυπωσιακά παραδείγματα αναμένεται να αποτελέσουν και οι υπόγειες πόλεις που σχεδιάζονται σήμερα στην Ολλανδία και την Κίνα, προκειμένου να αντισταθμίσουν την έλλειψη χώρου και να συμβάλλουν στην αναβάθμιση του βεβαρημένου αστικού περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα, η ανάπτυξη σύγχρονων υπόγειων έργων καθυστέρησε αρκετά σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης. Ένας από τους βασικότερους λόγους υπήρξε η έλλειψη της απαραίτητης εγχώριας τεχνογνωσίας για την αντιμετώπιση των ποικιλόμορφων και ιδιαζόντων προβλημάτων που η γεωμορφολογία του ελλαδικού χώρου προσφέρει σε αφθονία. Παρόλα αυτά, η συνεχής απόκτηση εμπειρίας και ο εμπλουτισμός του γνωστικού πεδίου συνέβαλλαν καθοριστικά στην αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, με αποτέλεσμα το τελευταίο χρονικό διάστημα να παρατηρείται μία πραγματική κοσμογονία στον τομέα των υπόγειων έργων στη χώρα (ΕΕΣΥΕ, 2002). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αξιοποίηση των τελευταίων τεχνολογικών επιτευγμάτων στο χώρο των υπόγειων έργων, καθιστούν τα υπόγεια έργα στην Ελλάδα ιδιαίτερα ασφαλή και τον τεχνικό κόσμο της χώρας ισάξιο με εκείνο της Ευρώπης. Την ανάπτυξη των υπόγειων έργων στη χώρα προωθεί και η «Ελληνική Επιτροπή Σηράγγων και Υπόγειων Έργων» (ΕΕΣΥΕ), η οποία ιδρύθηκε το 1995 και αποτελεί μέλος της ΙΤΑ (ΕΕΣΥΕ, 2006).

6.1 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΟΝ ΕΞΩΑΣΤΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στην Ελλάδα σήμερα, πλήθος οδικών και σιδηροδρομικών σηράγγων σχεδιάζονται, κατασκευάζονται ή λειτουργούν ήδη, κυρίως στα πλαίσια της ανάπτυξης των νέων σύγχρονων αυτοκινητόδρομων και σιδηρόδρομων που εντάσσονται στα Διευρωπαϊκά Δίκτυα Μεταφορών (ΕΕΣΥΕ, 1997). Σημαντικά παραδείγματα αποτελούν οι οδικές σήραγγες της Εγνατίας Οδού (Εικόνα 63) και του Οδικού Άξονα Πατρών - Αθήνας - Θεσσαλονίκης - Ευζώνων (ΠΑΘΕ), όπως οι οδικές σήραγγες στο ύψος της Κακιάς Σκάλας (Εικόνα 64). Επίσης, σημαντικά έργα αποτελούν οι σήραγγες του σιδηρόδρομου υψηλών ταχυτήτων Αθηνών - Κορίνθου στο ύψος της Κακιάς Σκάλας (Εικόνα 64) και οι σήραγγες Όθρυος και Καλλιδρόμου της νέας διπλής σιδηροδρομικής γραμμής υψηλών ταχυτήτων Τιθορέας - Δομοκού, η οποία κατασκευάζεται σήμερα (ΕΕΣΥΕ, 2008). Επιπρόσθετα, αξίζει να σημειωθεί η ζεύξη Ακτίου - Πρέβεζας μέσω υποθαλάσσιας οδικής σήραγγας μήκους 910 m, η οποία ολοκληρώθηκε το 2002 (ΕΕΣΥΕ, 1997).

Στον ελλαδικό χώρο υπάρχει μεγάλη κατασκευαστική δραστηριότητα όσον αφορά και στις υδραυλικές σήραγγες (ΕΕΣΥΕ, 2002). Ένα σημαντικό έργο που βρίσκεται σε εξέλιξη, είναι η σήραγγα εκτροπής μέρους των υδάτων του ποταμού Αχελώου προς τη

Θεσσαλία (Εικόνα 65), μήκους 17.5 km, με σκοπό την υδροδότηση της θεσσαλικής πεδιάδας. Μεγάλο υδραυλικό έργο είναι και η σήραγγα μεταφοράς νερού, μήκους 29 km, από τον τεχνητό ταμιευτήρα Ευήνου στον τεχνητό ταμιευτήρα Μόρνου, με την οποία ενισχύθηκε ο ταμιευτήρας του Μόρνου που υδροδοτεί μερικώς το Λεκανοπέδιο της Αττικής (ΕΕΣΥΕ, 2006).

Τα τελευταία τριάντα χρόνια, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) έχει κατασκευάσει στη χώρα μεγάλο αριθμό Υδροηλεκτρικών Έργων (ΥΗΕ) και φραγμάτων. Τα έργα αυτά περιλαμβάνουν και σημαντικό αριθμό υπόγειων έργων, όπως σήραγγες εκτροπής ποταμών, σήραγγες εξυπηρέτησης των φραγμάτων, αλλά και υπόγειους θαλάμους όπου εγκαθίστανται οι τουρμπίνες (ΕΕΣΥΕ, 1997). Ένα από τα σημαντικότερα παραδείγματα είναι ο υπόγειος υδροηλεκτρικός σταθμός (ΥΗΣ) του φράγματος Θησαυρού στο Νέστο (Εικόνα 66) (Μαυρίκος, 2006).



Εικόνα 63: Σήραγγες της Εγνατίας Οδού στην Ήπειρο (Πηγή: Εγνατία Οδός ΑΕ)



Εικόνα 64: Σήραγγες στην Κακιά Σκάλα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

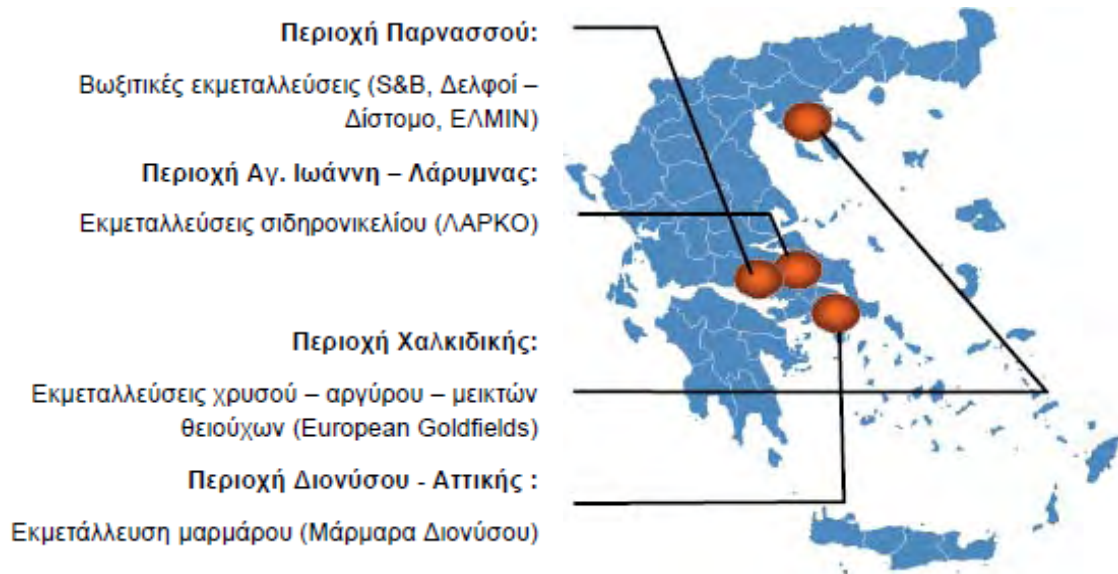


Εικόνα 65: Φάση κατασκευής της σήραγγας εκτροπής του Αχελώου (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 66: Φάση κατασκευής του υπόγειου ΥΗΣ του φράγματος Θησαυρού στο Νέστο (Πηγή: Μαυρίκος, 2006)

Οι υπόγειες μεταλλευτικές εκμεταλλεύσεις στον ελλαδικό χώρο συγκεντρώνονται σε 4 περιοχές και συγκεκριμένα στις περιοχές του Παρνασσού, της Λάρυμνας, της Χαλκιδικής και της Πεντέλης (Σχήμα 26). Τα μεταλλεύματα που εξορύσσονται είναι βωξίτης, σιδηρονικέλιο, χρυσός, άργυρος, μικτά θειούχα και μάρμαρα (ΕΕΣΥΕ, 2008).



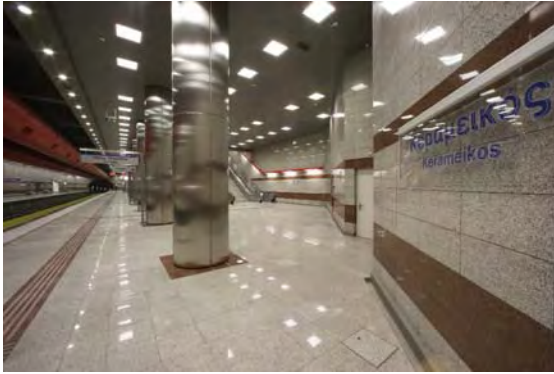
Σχήμα 26: Κατανομή των υπόγειων εκμεταλλεύσεων στον ελλαδικό χώρο (Πηγή: ΕΕΣΥΕ, 2008)

6.2 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στον ελλαδικό χώρο, η ανάπτυξη σύγχρονων αστικών υπόγειων έργων συγκεντρώνεται κυρίως στην περιοχή της πρωτεύουσας Αθήνας, αλλά και την περιοχή της συμπρωτεύουσας Θεσσαλονίκης. Η υποβάθμιση του αστικού τοπίου και της ποιότητας ζωής των κατοίκων των δύο μεγάλων αυτών αστικών κέντρων εξαιτίας των αυξημένων κυκλοφοριακών προβλημάτων, οδήγησε στην αξιοποίηση του υπόγειου χώρου τους για την εγκατάσταση συγκοινωνιακών υποδομών και χώρων στάθμευσης.

Δύο μεγάλα συγκοινωνιακά έργα, τα οποία συμβάλλουν στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων του Λεκανοπεδίου της Αττικής, είναι το Μετρό της Αθήνας και η Αττική Οδός. Το Μετρό της Αθήνας αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα έργα υποδομής στον ελλαδικό χώρο και έναν από τους πιο σύγχρονους μητροπολιτικούς σιδηρόδρομους στον κόσμο, περιλαμβάνοντας 28 σύγχρονους σταθμούς και 2 γραμμές συνολικού μήκους 30.4 km, οι οποίες συνεχώς επεκτείνονται (Εικόνα 67). Σύμφωνα με το «Νέο Ρυθμιστικό Σχέδιο Αθήνας και Αττικής», προβλέπεται επέκταση του Μετρό ώστε να καλύψει το 85% της ευρύτερης περιοχής του Λεκανοπεδίου με ένα δίκτυο 8 γραμμών συνολικού μήκους 220 km και 200

σταθμών (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ). Η Αττική Οδός, η οποία αποτελεί μέρος του μεγάλου περιφερειακού δακτυλίου της Αθήνας, είναι ένας κλειστός αυτοκινητόδρομος ταχείας κυκλοφορίας που περιλαμβάνει σημαντικό αριθμό σήραγγων (Εικόνα 68) ιδιαίτερα κατά μήκος της Περιφερειακής του Υμηττού, όπου το συνολικό μήκος των σήραγγων φτάνει τα 5.5 km (Πηγή: Αττική Οδός ΑΕ).



Εικόνα 67: Άποψη αποβάθρας στο Μετρό της Αθήνας (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ)



Εικόνα 68: Σήραγγες της Αττικής Οδού (Πηγή: Αττική Οδός ΑΕ)

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί στην Αθήνα έκρηξη της κατασκευαστικής δραστηριότητας όσον αφορά στους υπόγειους χώρους στάθμευσης (Εικόνα 69) (Pappa and Benardos, 2007). Στο γεγονός αυτό συμβάλλει και η ανάπτυξη υπόγειων, υπαίθριων και πολυώροφων χώρων στάθμευσης από το Μετρό (Εικόνα 70) στα πλαίσια της κατασκευής σταθμών μετεπιβίβασης από και προς άλλα μέσα μεταφοράς, για την προώθηση των «συνδυασμένων μετακινήσεων» (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ).



Εικόνα 69: Η είσοδος του υπόγειου χώρου στάθμευσης στο Νοσοκομείο Παιδών της Αθήνας (Πηγή: Pappa and Benardos, 2007)



Εικόνα 70: Ο υπόγειος χώρος στάθμευσης στο σταθμό «Συγγρού-Φιξ» του Μετρό της Αθήνας (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ)

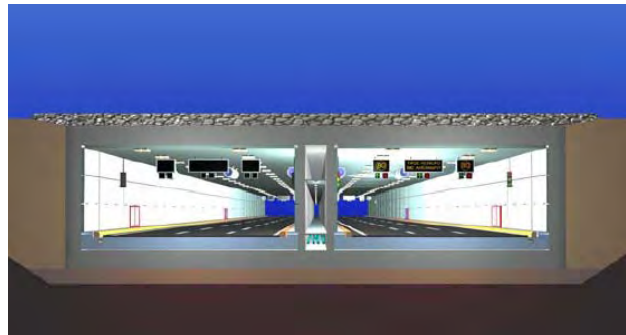
Στη Θεσσαλονίκη, ένα εξίσου σημαντικό και πολύπλοκο έργο με το Μετρό της Αθήνας αποτελεί η κατασκευή του Μετρό της Θεσσαλονίκης, το οποίο θα περιλαμβάνει μια γραμμή μήκους 9.6 km, αποτελούμενης από 2 δίδυμες σήραγγες και 13 σύγχρονους σταθμούς. Το Μετρό της Θεσσαλονίκης θα ενσωματώνει τα πλέον

σύγχρονα τεχνολογικά δεδομένα και τις πιο απαιτητικές προδιαγραφές ποιότητας και λειτουργικότητας, με αποτέλεσμα να είναι καλύτερο από το Μετρό της Αθήνας, αλλά και το πιο σύγχρονο της Ευρώπης. Οι κατασκευαστικές εργασίες του έργου βρίσκονται ήδη σε προχωρημένο στάδιο (Εικόνα 71), ενώ παράλληλα προωθούνται οι πρώτες επεκτάσεις προς Καλαμαριά και Σταυρούπολη, ώστε να δημιουργηθεί σταδιακά ένα πλήρες δίκτυο που θα μεταμορφώσει συγκοινωνιακά τη ζωή της πόλης. Επιπλέον, στα πλαίσια του προγράμματος ανάπτυξης χώρων στάθμευσης προβλέπεται και η κατασκευή υπόγειων χώρων στάθμευσης, συνολικής χωρητικότητας 3700 θέσεων (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ).

Ένα έργο που αναμένεται να συμβάλει στην αποσυμφόρηση, την ανάπλαση και την αναβάθμιση του κέντρου της Θεσσαλονίκης, είναι και η κατασκευή της υποθαλάσσιας αρτηρίας. Το έργο προβλέπει τη σύνδεση της Νέας Δυτικής Εισόδου της Θεσσαλονίκης με την ανατολική πλευρά της πόλης μέσω μιας υποθαλάσσιας σήραγγας μήκους 1.2 km περίπου, η οποία θα διασχίζει το Θερμαϊκό Κόλπο (Σχήμα 27). Η ιδέα της παράκαμψης του κέντρου της Θεσσαλονίκης από τη θάλασσα υιοθετήθηκε και θεσμοθετήθηκε από το Ρυθμιστικό Σχέδιο Θεσσαλονίκης το 1985, ωστόσο το έργο δεν έχει ξεκινήσει ακόμα (Τσινίδης και Χαλάτης, 2008).



Εικόνα 71: Φάση κατασκευής του Μετρό της Θεσσαλονίκης (Πηγή: Αττικό Μετρό ΑΕ)



Σχήμα 27: Σχηματική τομή της υποθαλάσσιας αρτηρίας της Θεσσαλονίκης (Πηγή: Τσινίδης και Χαλάτης, 2008)

Όσον αφορά στα υπόγεια των ελληνικών κτηρίων, η κατασκευή και η χρήση τους καθορίζονται βάσει των διατάξεων του Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού (ΓΟΚ) και του Κτηριοδομικού Κανονισμού. Σε αντίθεση με τις σημαντικές προσπάθειες που πραγματοποιούνται διεθνώς για τον φωτισμό και τον αερισμό των υπόγειων χώρων σε οποιοδήποτε βάθος με γνώμονα τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και δραστηριοποίησης του ανθρώπου στους χώρους αυτούς, στην Ελλάδα παρατηρείται μια συνεχής τάση περιορισμού, βύθισης και συσκότισης των υπόγειων των κτηρίων (Εικόνες 72 και 73). Χαρακτηριστικό δείγμα των τάσεων που επικρατούν είναι η

πρόσφατη τροποποίηση ορισμένων διατάξεων του ΓΟΚ (Ν.1577/1985) με το Ν.3775/2009, ο οποίος με πρόσχημα την τακτοποίηση της αλλαγής χρήσης των υφιστάμενων υπόγειων από αποθήκες σε χώρους κύριας χρήσης, βυθίζει τα νέα υπόγεια ακόμα χαμηλότερα. Σύμφωνα με το νέο Νόμο, η οροφή των νέων υπόγειων περιορίζεται στα 80 cm πάνω από τη στάθμη του περιβάλλοντος εδάφους, ενώ μέχρι πρότινος ανερχόταν στο 1.5 m. Η μεταβολή αυτή με απώτερο στόχο τη μείωση του συντελεστή δόμησης και την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων, στην ουσία στερεί από τους υπόγειους χώρους τη δυνατότητα για πρόσθετο φωτισμό και αερισμό, κάτι που αποτελεί βασική απαίτηση των χώρων κύριας χρήσης βάσει των διατάξεων του Κτηριοδομικού Κανονισμού (Ζούλιας, 2009).



Εικόνα 72: Υπόγεια με προκήπιο
(Πηγή: Ζούλιας, 2009)



Εικόνα 73: Υπόγεια χωρίς προκήπιο
(Πηγή: Ζούλιας, 2009)

6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην Ελλάδα, η ανάπτυξη σύγχρονων υπόγειων έργων καθυστέρησε λόγω της έλλειψης της απαραίτητης εγχώριας τεχνογνωσίας. Ωστόσο, η συνεχής απόκτηση εμπειρίας και η αξιοποίηση των τελευταίων τεχνολογικών επιτευγμάτων, οδήγησαν στην κατασκευή σύγχρονων και ιδιαίτερα ασφαλών υπόγειων έργων. Την ανάπτυξη των υπόγειων έργων στη χώρα προωθεί και η ΕΕΣΥΕ, η οποία ιδρύθηκε το 1995 και αποτελεί μέλος της ΙΤΑ. Στον εξωαστικό χώρο, η υπόγεια ανάπτυξη συγκεντρώνεται στη μεταλλευτική δραστηριότητα, την κατασκευή οδικών, σιδηροδρομικών και υδραυλικών σηράγγων, αλλά την εγκατάσταση ΥΗΣ σε υπόγειους θαλάμους. Στον αστικό χώρο, η υπόγεια ανάπτυξη συγκεντρώνεται κυρίως στις περιοχές της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, όπου ο υπόγειος χώρος αξιοποιείται για την παροχή συγκοινωνιακών υποδομών και χώρων στάθμευσης.

Σε αντίθεση με τις σημαντικές προσπάθειες που πραγματοποιούνται διεθνώς για τον φωτισμό και τον αερισμό των υπόγειων χώρων σε οποιοδήποτε βάθος με γνώμονα τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και δραστηριοποίησης του ανθρώπου στους χώρους αυτούς, στην Ελλάδα παρατηρείται μια συνεχής τάση περιορισμού, βύθισης και συσκότισης των υπόγειων των κτηρίων βάσει της ελληνικής νομοθεσίας. Στην πραγματικότητα, το γεγονός αυτό πηγάζει από την έλλειψη εμπιστοσύνης του κράτους απέναντι στους πολίτες, λόγω της ενδεχόμενης παράνομης αλλαγής χρήσης του υπόγειου χώρου από μέρους των ιδιοκτητών του. Ωστόσο, η αντιμετώπιση αυτή δεν παύει να στερεί από τα υπόγεια που φιλοξενούν ή ενδέχεται να φιλοξενήσουν νόμιμες κύριες χρήσεις, τη δυνατότητα να εξελιχθούν σε λειτουργικούς δομημένους χώρους για την αξιοπρεπή άσκηση ανθρώπινων λειτουργιών (Ζούλιας, 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αξιοποίηση του υπόγειου χώρου από την αρχή της ιστορίας του ανθρώπου μέχρι σήμερα, φανερώνει ότι ο υπόγειος χώρος συνέβαλλε καθοριστικά σε όλα τα στάδια της εξέλιξης του ανθρώπινου πολιτισμού. Η σημαντική υπεροχή των υπόγειων έναντι των αντίστοιχων επιφανειακών κατασκευών, η οποία οφείλεται στα εγγενή χαρακτηριστικά του υπόγειου χώρου, καθιστά το ρόλο του υπόγειου χώρου ολοένα σημαντικότερο ως εναλλακτικής λύσης για πολλές εφαρμογές. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τη βελτίωση της τεχνογνωσίας κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, αναπτύχθηκε ένα ευρύτατο φάσμα υπόγειων εφαρμογών, πέραν των μεταλλευτικών, ακόμη και εντός των ορίων των πόλεων.

Ο υπόγειος χώρος των πόλεων διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο τόσο στη διασφάλιση της λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων, όσο και στην παροχή κατάλληλων υποδομών που αναβαθμίζουν την ποιότητα ζωής, παρέχοντας βιώσιμες λύσεις οι οποίες ανταγωνίζονται τις αντίστοιχες επιφανειακές και συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση πολύτιμου επιφανειακού χώρου για άλλες, πιο ελκυστικές χρήσεις. Ωστόσο, το φάσμα των υπόγειων χρήσεων που συναντώνται σήμερα στις πόλεις διευρύνεται ολοένα περισσότερο, περιλαμβάνοντας εργασιακούς χώρους, εμπορικά καταστήματα, χώρους για δραστηριότητες ελεύθερου χρόνου, ακόμη και κατοικίες.

Η διάρκεια παραμονής του ανθρώπου μέσα σε έναν υπόγειο χώρο εξαρτάται από τη χρήση που φιλοξενείται σε αυτόν, δημιουργώντας διαφορετικές απαιτήσεις σε ότι αφορά τον φυσικό φωτισμό, τον αερισμό και την επαφή του υπόγειου χώρου με το εξωτερικό περιβάλλον. Η έλλειψη φυσικού φωτισμού και επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον, που αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες πρόκλησης αρνητικών επιπτώσεων στην ψυχολογία, αλλά και τη φυσιολογία, του ανθρώπου κατά την παραμονή του σε υπόγειους χώρους, μπορούν να αντισταθμιστούν σήμερα με την υιοθέτηση των σχεδιαστικών αρχών οι οποίες πλαισιώνουν την υπόγεια αρχιτεκτονική.

Η χρήση του αστικού υπόγειου χώρου παρέχει στις πόλεις ένα νέο βαθμό ελευθερίας, ο οποίος μπορεί να συμβάλει στην επίτευξη της αειφόρου αστικής ανάπτυξης. Ωστόσο, ο υπόγειος χώρος αποτελεί ένα μη ανανεώσιμο φυσικό πόρο που απαιτεί ορθολογική διαχείριση, αλλά και πηγή τριών ακόμη φυσικών πόρων, δηλαδή υπόγειων υδάτων, γεωθερμικής ενέργειας και γεωϋλικών. Η αειφόρος εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του υπεδάφους σε συνδυασμό με την ανάγκη άμεσης διασύνδεσης

των υπόγειων και των επιφανειακών δραστηριοτήτων, απαιτεί την ένταξη του αστικού υπόγειου χώρου σε ένα τρισδιάστατο χωρικό σχεδιασμό, ο οποίος θα προωθεί την πολλαπλή χρήση του υπεδάφους, εκτιμώντας τις μελλοντικές ανάγκες και αποτρέποντας τη δημιουργία μακροχρόνιων συγκρούσεων μεταξύ των επιμέρους χρήσεων. Τα επιτυχημένα παραδείγματα των υπόγειων πόλεων του Μόντρεαλ και του Τορόντο, των οποίων η ανάπτυξη δε βασίστηκε σε κάποιο σχεδιασμό, αλλά στη διαδοχική έγκριση των επιμέρους έργων και την υιοθέτηση κινήτρων, καθιστούν την πρακτική αυτή επιτυχημένη. Συνεπώς, η χρήση κινήτρων θα μπορούσε να αποτελέσει ένα βασικό στοιχείο του τρισδιάστατου χωρικού σχεδιασμού, δίνοντας νέα ώθηση στη χρήση του αστικού υπεδάφους.

Προς αυτή την κατεύθυνση, είναι σημαντική και η επίλυση ζητημάτων που μέχρι σήμερα αναστέλλουν την υπόγεια ανάπτυξη των πόλεων, όπως το ιδιοκτησιακό καθεστώς του υπόγειου χώρου, η αποτίμηση της αξίας του υπόγειου χώρου και των πλεονεκτημάτων αυτού σε χρηματικούς όρους, αλλά και η άγνοια των δυνατοτήτων της υπόγειας ανάπτυξης που διακατέχει συχνά τα κέντρα λήψης αποφάσεων πολιτικής ή οικονομικής φύσεως. Σε αυτό ήδη συμβάλλουν οι δύο διεθνείς ενώσεις ΙΤΑ και ACUUS, προωθώντας τη χρήση του υπεδάφους σε ερευνητικό επίπεδο.

Στην Ελλάδα, την ανάπτυξη των υπόγειων έργων σε ερευνητικό επίπεδο προωθεί και η ΕΕΣΥΕ, η οποία ιδρύθηκε το 1995 και αποτελεί μέλος της ΙΤΑ. Η ανάπτυξη σύγχρονων αστικών υπόγειων έργων, κυρίως συγκοινωνιακών υποδομών και χώρων στάθμευσης, συγκεντρώνεται στην πρωτεύουσα Αθήνα, αλλά και τη συμπρωτεύουσα Θεσσαλονίκη. Ωστόσο, σε αντίθεση με τις σημαντικές προσπάθειες που πραγματοποιούνται διεθνώς για τον φωτισμό και τον αερισμό των υπόγειων χώρων σε οποιοδήποτε βάθος, στην Ελλάδα παρατηρείται μια συνεχής τάση περιορισμού, βύθισης και συσκότισης των υπόγειων των κτηρίων, με αποτέλεσμα οι χώροι αυτοί να μη μπορούν να εξελιχθούν σε λειτουργικούς δομημένους χώρους για την αξιοπρεπή άσκηση ανθρώπινων λειτουργιών.

Είναι, λοιπόν, προφανές ότι η ελληνική νομοθεσία χρειάζεται ριζική αναθεώρηση με γνώμονα τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και δραστηριοποίησης του ανθρώπου στα υπόγεια των κτηρίων, τα οποία καταλαμβάνουν ένα σημαντικό τμήμα του αστικού υπόγειου χώρου. Η υποχρεωτική κατασκευή υπόγειου χώρου σε κάθε νέο κτήριο, εντός του επιτρεπτού ιδεατού στερεού και χωρίς να προσμετράται στο συντελεστή δόμησης, καθώς επίσης η υποχρεωτική πρόβλεψη επαρκούς φωτισμού και αερισμού με κάποιο κτηριοδομικό εργαλείο (πόρτα, παράθυρο, *cour anglaise*), μπορούν

να δώσουν νέα ώθηση στην αξιοποίηση των υπόγειων των κτηρίων ακόμη και για κύριες χρήσεις, δημιουργώντας οικονομίες κλίμακας και περιορίζοντας τη συνεχή επέκταση του δομημένου χώρου σε βάρος του φυσικού (Ζούλιας, 2009). Επιπλέον, είναι ανάγκη η υπόγεια διάσταση να ενταχθεί στον αστικό σχεδιασμό ώστε οι δυνατότητες που παρέχει σήμερα η υπόγεια ανάπτυξη να αξιοποιηθούν προς όφελος όλων των ελληνικών πόλεων.

Καθώς η συγκέντρωση πληθυσμού και η επακόλουθη συσσώρευση προβλημάτων στα αστικά κέντρα εντείνονται και οι κύριες διέξοδοι φαίνεται να έχουν εξαντλήσει τη δυναμική τους, η υπόγεια ανάπτυξη αποτελεί την εναλλακτική λύση που μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην υλοποίηση των αρχών της συμπαγούς πόλης και κατ' επέκταση στην επίτευξη της αειφόρου αστικής ανάπτυξης. Οι δυνατότητες που προσφέρει σήμερα ο αστικός υπόγειος χώρος για την εγκατάσταση δραστηριοτήτων είναι απεριόριστες και η αξιοποίησή τους μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό ακόμη και ολόκληρων υπόγειων πόλεων, είτε για την προστασία από τις ακραίες κλιματικές συνθήκες, είτε για την εξασφάλιση χώρου και την αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος, συμβάλλοντας πάντοτε στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής. Άλλωστε, όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Broch (2007):

«Μόνο η φαντασία θέτει όρια στο πως μπορεί να αξιοποιηθεί ο υπόγειος χώρος»

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Αττική Οδός ΑΕ [on line], διαθέσιμο στην: http://www.ses.gr/docs/news/03-09-03_aodos_DPLY.pdf [επισκέφθηκε στις 16 Ιανουαρίου 2010]

Αττικό Μετρό ΑΕ [on line], διαθέσιμο στην: <http://www.ametro.gr> [επισκέφθηκε στις 30 Νοεμβρίου 2009]

Εγνατία Οδός ΑΕ [on line], διαθέσιμο στην: <http://www.egnatia.eu/page> [επισκέφθηκε στις 29 Νοεμβρίου 2009]

ΕΕΣΥΕ (1997) *Το δελτίο των σηράγγων*, Ιούλιος 1997 [on line], διαθέσιμο στην: http://www.eesy.gr/index.pl/deltio_gr [επισκέφθηκε στις 2 Οκτωβρίου 2009]

ΕΕΣΥΕ (2002) *Το δελτίο των σηράγγων*, Σεπτέμβριος 2002 [on line], διαθέσιμο στην: http://www.eesy.gr/index.pl/deltio_gr [επισκέφθηκε στις 2 Οκτωβρίου 2009]

ΕΕΣΥΕ (2005) *Το δελτίο των σηράγγων*, Σεπτέμβριος 2005 [on line], διαθέσιμο στην: http://www.eesy.gr/index.pl/deltio_gr [επισκέφθηκε στις 2 Οκτωβρίου 2009]

ΕΕΣΥΕ (2006) *Το δελτίο των σηράγγων*, Σεπτέμβριος 2006 [on line], διαθέσιμο στην: http://www.eesy.gr/index.pl/deltio_gr [επισκέφθηκε στις 2 Οκτωβρίου 2009]

ΕΕΣΥΕ (2007) *Το δελτίο των σηράγγων*, Νοέμβριος 2007 [on line], διαθέσιμο στην: http://www.eesy.gr/index.pl/deltio_gr [επισκέφθηκε στις 2 Οκτωβρίου 2009]

ΕΕΣΥΕ (2008) *Το δελτίο των σηράγγων*, Νοέμβριος 2008 [on line], διαθέσιμο στην: http://www.eesy.gr/index.pl/deltio_gr [επισκέφθηκε στις 2 Οκτωβρίου 2009]

Ζούλιας, Α. (2009) «Υπόγεια: Πόσο χαμηλά θα πέσουμε», Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ, Τεύχος 2566, σελ. 59-60 [on line], διαθέσιμο στην: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/press/ENHMEROTIKO_DELTIO/ED-YEAR-2009/ED2557 [επισκέφθηκε στις 14 Σεπτεμβρίου 2009]

Καλιαμπάκος, Δ. (2003) *Υπόγεια Έργα*, Σημειώσεις μαθήματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα [on line], διαθέσιμο στην: http://www.metal.ntua.gr/uploads/2547/Simeioseis_UnderWorks.pdf [επισκέφθηκε στις 8 Φεβρουαρίου 2009]

- Καλλιανιώτης, Τ., Ρηγόπουλος, Φ. και Σοφός, Ν. (2009) «Τονίζοντας τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα μιας υπόγειας μονάδας επεξεργασίας νερού με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας», άρθρο που παρουσιάστηκε στο Κοινό Συνέδριο EYE & EEAΥΠ «Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων σε συνθήκες κλιματικών αλλαγών», 27-30 Μαΐου 2009, Βόλος
- Μαρίνος, Π.Γ. (2005) *Εκπαιδευτική Εκδρομή στις Σήραγγες Βάσης των Άλπεων St.Gotthard - Lötschberg - Alptunnel (LTF)*, Βοήθημα εκπαιδευτικής εκδρομής μεταπτυχιακών φοιτητών, ΔΠΜΣ «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπόγειων Έργων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Μαυρίκος, Α. (2006) *Υπολογισμός της αξίας του υπόγειου χώρου: Η περίπτωση των υπόγειων αποθηκευτικών χώρων στην Αττική*, Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Μεταλλευτικής, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Μπάτσος, Δ.Β. και Τζουβαδάκης, Ι. (2009) «Αναζητώντας την επιτυχία των αναπλάσεων και των πολεοδομικών παρεμβάσεων στους υφιστάμενους οικιστικούς χώρους», άρθρο που παρουσιάστηκε στο 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, 24-27 Σεπτεμβρίου 2009, Βόλος
- Πρόγραμμα Οικουμενικός Ελληνισμός [on line], διαθέσιμο στην: <http://www.gnl.gr/el> [επισκέφθηκε στις 8 Δεκεμβρίου 2009]
- Τσινίδης, Γ. και Χαλάτης, Α. (2008) *Αντισεισμικός σχεδιασμός βυθισμένων σηράγγων – Εφαρμογή στην υποθαλάσσια αρτηρία Θεσσαλονίκης*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Τεχνικών Έργων», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη [on line], διαθέσιμο στην: <http://invenio.lib.auth.gr/record/112748> [επισκέφθηκε στις 16 Ιανουαρίου 2010]
- Χριστοπούλου, Ο. και Σαλάτα, Ι. (2009) «Προστασία του περιβάλλοντος και οικονομική ανάπτυξη: Σύγκλιση και υπό ποιους όρους;» στο *25 Κείμενα για το Σχεδιασμό και την Ανάπτυξη του Χώρου: Συλλογικός Τόμος για τα 20 χρόνια λειτουργίας του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης*, Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, σελ.423-447

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- AlpTransit Gotthard “The New Gotthard Rail Link”, [on line], available from: <http://www.alptransit.ch> [accessed: December 10 2009]
- Amsterdam.info [on line], available from: <http://www.amsterdam.info/museumquarter> [accessed: January 20 2010]
- Bèlanger, P. (2007) “Underground landscape: The urbanism & infrastructure of Toronto’s downtown pedestrian network”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **22**(3), pp.272-292 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: August 24 2009]
- Benardos, A.G. and Kaliampakos, D.C. (2005) “Hydrocarbon storage in unlined rock caverns in Greek limestone”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **20**(2), pp.175-182 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 7 2009]
- Besner, J. (2007) “Develop the Underground Space with a Master Plan or Incentives”, paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Blunier, P., Tacher, L. and Parriaux, A. (2007) “Systemic Approach of Urban Underground Resources Exploitation”, paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Bobylev, N. (2009) “Mainstreaming sustainable development into a city’s Master plan: A case of Urban Underground Space use”, *Land Use Policy*, **26**(4), pp.1128-1137 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/landusepol> [accessed: June 23 2009]
- Brachos, G. and Benardos, A. (2007) “Thermal Loads Analysis of an Underground Cold Storage Facility in Attica”, paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Broch, E. (2007) “Use of the Underground in the City of Trondheim, Norway”, paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens

- Burgess, R. (2000) "The Compact City Debate: A Global Perspective" in Jenks, M. and Burgess, R. (eds.) *Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries*, London and New York: Spon Press, pp.9-24
- Cano-Hurtado, J. J. and Canto-Perello, J. (1999) "Sustainable Development of Urban Underground Space for Utilities", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **14**(3), pp.335-340 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 12 2009]
- Canto-Perello, J., Curiel-Esparza, J. and Calvo, V. (2009) "Analysing utility tunnels and highway networks coordination dilemma", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **24**(2), pp.185-189 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: August 20 2009]
- Carmody, J. and Sterling, R. (1987) "Design Strategies to Alleviate Negative Psychological Effects in Underground Space", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **2**(1), pp.59-67 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: August 26 2009]
- Chow, F. C., Paul, T., Vähäaho, I. T., Sellberg, B. and Lemos, L. J. L. (2002) "Hidden Aspects of Urban Planning: Utilisation of Underground Space", paper presented at the 2nd International Conference on Soil Structure Interaction in Urban Civil Engineering, March 2002, Zurich [on line], available from: <http://www.gcg.co.uk/features/utilisationofundergroundspace.pdf> [accessed: June 21 2009]
- City of Helsinki, "Technical Services and Utility Tunnels in Helsinki" [on line], available from: <http://www.hel.fi> [accessed: November 21 2009]
- Dahlstrom, L.O., Swedenborg, S. and Evans, J. (2004) "Localization of underground hydrocarbon gas storages in respect to performance criteria", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **19**(4-5), pp.371 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 8 2009]
- De Sousa, C.A. (2003) "Turning brownfields into green space in the City of Toronto", *Landscape and Urban Planning*, **62**(4), pp.181-198 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/landurbplan> [accessed: September 29 2009]

- Deelen, P. van (2003) "Engineering" in: Meijenfheldt, E. von *et al.* (eds.) *Below ground level: Creating New Spaces For Contemporary Architecture*, Berlin: Birkhäuser, pp.205-233
- Doxiadis, C.A. (1973) *The Great Urban Crimes we Permit by Law*, Athens: Lycabettus Press
- Drakouli, E., Mavrikos, A.A. and Kaliampakos, D.C. (2007) "Incorporating Underground Space in Urban Planning", paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Duffaut, P. (2007) "Safe Nuclear Power Plants Shall Be Built Underground", paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Erdem, A. (2008) "Subterranean space use in Cappadocia: The Uchisar example", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **23**(5), pp.492-499 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: August 20 2009]
- Godard, J.P. (2004) "Urban Underground Space and Benefits of Going Underground", paper presented at the World Tunnel Congress 2004 and 30th ITA General Assembly, May 22-27 2004, Singapore [on line], available from: <http://www.ita-aites.org/cms/fileadmin/filemounts/general/pdf/ItaAssociation/ProductAndPublication/OpenSession/JPGodard.pdf> [accessed: December 14 2009]
- Greenroofs.com [on line], available from: http://www.greenroofs.com/archives/media/sg-canary_wharf_tube_station.jpg [accessed: January 20 2010]
- Hammond, M. (2008) *New underground city planned for Amsterdam* [on line], available from: http://www.worldarchitecturenews.com/index.php?fuseaction=wanappln.projectview&upload_id=1940 [accessed: December 17 2009]
- Helsinki Water, "Cleaner Wastewaters" [on line], available from: <http://www.helsinginvesi.fi> [accessed: November 26 2009]
- Hoek, E. (2006) *Practical Rock Engineering* [on line], available from: http://www.roscience.com/hoek/pdf/Practical_Rock_Engineering.pdf [accessed: December 12 2009]

- Huisman, J. (2003a) "Architecture" in: Meijenfeldt, E. von *et al.* (eds.) *Below ground level: Creating New Spaces For Contemporary Architecture*, Berlin: Birkhäuser, pp.89-133
- Huisman, J. (2003b) "Urban Development" in: Meijenfeldt, E. von *et al.* (eds.) *Below ground level: Creating New Spaces For Contemporary Architecture*, Berlin: Birkhäuser, pp.51-87
- International Energy Agency (2002) "District Heating and Cooling: Environmental Technology for the 21st Century" [on line], available from: <http://www.iea-dhc.org> [accessed: November 17 2009]
- ITA (1990) "Ignored Opportunities Beneath Our Feet", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **5**(4), pp.307-308 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 3 2009]
- International Tunnelling Association (1992) "Tokyo Conference Stresses Use and Future Role of Subsurface in Urban Areas", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **7**(2), pp.189 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: October 14 2009]
- ITA Working Group on Subsurface Planning (1991a) "Legal and Administrative Issues in Underground Space Use: a Preliminary Survey of ITA Member Nations", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **6**(2), pp.191-209 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 5 2009]
- ITA Working Group on Subsurface Planning (1991b) "Policy Statement on Legal and Administrative Issues in Underground Space Use", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **6**(4), pp.471 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 7 2009]
- ITA Working Group on Subsurface Planning (2000) "Planning and Mapping of Underground Space - an Overview", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **15**(3), pp.271-286 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 12 2009]
- Jenks, M. (2000) "Introduction: Sustainable Urban Form in Developing Countries?" in Jenks, M. and Burgess, R. (eds.) *Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries*, London and New York: Spon Press, pp.1-6

- Lavagno, E. and Schranz, L. (2007) “Energy Rational Use and Underground Space: Opportunities for Sustainability”, paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Lee, C.-I. and Song, J.-J. (2003) “Rock engineering in underground energy storage in Korea”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **18**(5), pp.467-483 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 10 2009]
- Lindblom, U. (1990) “City Energy Management through Underground Storage”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **5**(3), pp.225-232 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: August 31 2009]
- Liu, H. and Lenau, C.W. (2009) “A LIM-PCP System for Freight Transportation in Underground Cities”, paper presented at the 12th ACUUS Conference *Using the Underground of Cities: For a Harmonious and Sustainable Urban Environment*, November 18-19 2009, Shenzhen
- Liu, K., Peng, F.-L. and Shu, Y. (2009) “Ideas and Practices on Urban Underground Space Planning in Business District in Shanghai”, paper presented at the 12th ACUUS Conference *Using the Underground of Cities: For a Harmonious and Sustainable Urban Environment*, November 18-19 2009, Shenzhen
- Louvre Museum [on line], available from: <http://www.louvre.fr> [accessed: January 20 2010]
- Magdi, G. (1996) “Habitat II and the Improvement of Public Transport in Developing Countries”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **11**(4), pp.381-382 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 15 2009]
- Mavrikos, A. and Kaliampakos, D. (2007) “Appraising the Environmental Advantages of Underground Storage Facilities in Athens, Greece”, paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Meijenfheldt, E. von (2003) “Introduction” in: Meijenfheldt, E. von *et al.* (eds.) *Below ground level: Creating New Spaces For Contemporary Architecture*, Berlin: Birkhäuser, pp.11-49

- Meijenfeldt, E. von and Regenboog, D. (2003) "Functions" in: Meijenfeldt, E. von *et al.* (eds.) *Below ground level: Creating New Spaces For Contemporary Architecture*, Berlin: Birkhäuser, pp.135-161
- Melet, E. (2003) "Energy and Interior Climate" in: Meijenfeldt, E. von *et al.* (eds.) *Below ground level: Creating New Spaces For Contemporary Architecture*, Berlin: Birkhäuser, pp.235-261
- Mulder, E.F.J. de, Hack, R. and Ree, D. van (2007) "Sustainable Use and Management of the Subsurface", paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- National Geographic [on line], available from: <http://www.nationalgeographic.com> [accessed: October 31 2009]
- Navigatour [on line], available from: <http://www.navigatour.com> [accessed: January 20 2010]
- Nielsen, K. (2003) "Thermal Energy Storage: A State-of-the-Art", report within the research program *Smart Energy-Efficient Buildings*, Trondheim, January 2003 [on line], available from: http://www.ntnu.no/em/dokumenter/smartbygg_rapp/Storage_State-of-the-art.pdf [accessed: November 14 2009]
- Nishioka, S., Tannaka, Y. and Minemura, T. (2007) "Deep Underground Usage for Effective Executing of City Facility Construction", paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Nordmark, A. (2002) "Overview on survey of water installations underground: underground water - conveyance and storage facilities", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **17**(2), pp.163-178 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 11 2009]
- Okada, H. (1995) "The Channel Tunnel: Remarkable Construction Speed, Admirable Basic Design", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **10**(1), pp.15 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: December 9 2009]

- Pappa, M. and Benardos, A. (2007) “Comparative Evaluation of Alternative Methods for the Construction of Underground Car Parks”, paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Parker, H.W. (2004) “Underground Space: Good for Sustainable Development, and Vice Versa”, paper presented at the World Tunnel Congress, May 2004, Singapore [on line], available from: <http://www.ita-aites.org/cms/fileadmin/filemounts/general/pdf/ItaAssociation/ProductAndPublication/OpenSession/HParker.pdf> [accessed: December 14 2009]
- Parker, H.W. (2006) “Environmental Issues & Benefits of Tunnels & Underground Space”, paper presented at the Workshop on Safety in Tunnels and Underground Structures, November 8-9 2006, Riyadh [on line], available from: <http://www.ita-aites.org/cms/fileadmin/filemounts/general/pdf/ItaAssociation/Organisation/Members/MemberNations/SaudiArabia/PaperRyadh2006/pap2.pdf> [accessed: December 14 2009]
- Parriaux, A., Blunier, P., Maire, P. and Tacher, L. (2007) “The DEEP CITY Project: A Global Concept for a Sustainable Urban Underground Management”, paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Paul, T., Chow, F. and Kjekstad, O. (eds.) (2002) *Hidden Aspects of Urban Planning: Surface and Underground Development*, London: Thomas Telford Publishing
- Pelizza, S. (1996) “Interview”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **11**(2), pp.135-139 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 15 2009]
- Ping, Z., Zhilong, C., Hongyu, Y. and Hui, W. (2009) “On utilization of underground space to protect historical relics model”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **24**(3), pp.245-249 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: August 20 2009]
- Pliego, J.M. (2005) “Open Session - The Gibraltar Strait tunnel. An overview of the study process”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **20**(6), pp.558-569 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 7 2009]

- Qihu, Q. and Xiaoqiang, C. (2007) "Evaluation of the Status Quo and Outlook of the Urban Underground Space Development and Utilization in China", paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Roadtraffic-technology.com [on line], available from: http://www.roadtraffic-technology.com/projects/big_dig [accessed: January 20 2010]
- Rönkä, K., Ritola, J. and Rauhala, K. (1998) "Underground Space in Land-Use Planning", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **13**(1), pp.39-49 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 14 2009]
- Sacred Destinations [on line], available from: <http://www.sacred-destinations.com> [accessed: October 31 2009]
- Samwel, D. (2003) "Perception and Cognition" in: Meijenfheldt, E. von *et al.* (eds.) *Below ground level: Creating New Spaces For Contemporary Architecture*, Berlin: Birkhäuser, pp.163-203
- Tollerup, L. (1993) "Stockholm Builds a "Snake" Tunnel to Avoid Flooding and Improve Water Quality", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **8**(4), pp.425-427 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 16 2009]
- Transport for London [on line], available from: <http://www.tfl.gov.uk> [accessed: November 2 2009]
- Triantis, E.S., Tzouvadakis, I. and Sotiropoulou, A. (2007) "Environmental Performance of Underground Railway Stations in Athens", paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Tzouvadakis, I. and Batsos, D.V. (2007a) "Public Acceptance of the Athens Underground Metropolitan Railway (Metro)", paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Tzouvadakis, I. and Batsos, D.V. (2007b) "The Aesthetics of the Athens Metro Stations", paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens

- United Nations (2008) *World Urbanization Prospects: The 2007 Revision - Executive Summary* [on line], available from: <http://www.un.org/esa/population> [accessed: October 16 2009]
- United Nations (2009) *World Population Prospects: The 2008 Revision - Executive Summary* [on line], available from: <http://www.un.org/esa/population> [accessed: October 16 2009]
- Waterfield, B. (2008) *New underground city planned for Amsterdam* [on line], available from: <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/1578139/New-underground-city-planned-for-Amsterdam.html> [accessed: December 17 2009]
- Wikipedia [on line], available from: http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Louvre_2007_02_24_c.jpg [accessed: January 20 2010]
- Witcombe, C. [on line], available from: <http://witcombe.sbc.edu/sacredplaces/lascaux.html> [accessed: January 20 2010]
- Yokotsuka, M., Kasuya, T. and Okumura, T. (2007) “A Proposal of Metropolitan Area Deep Underground Distribution Tunnel”, paper presented at the 11th ACUUS Conference *Underground Space: Expanding the Frontiers*, September 10-13 2007, Athens
- Zhang, X. Q. (2000) “High-Rise and High-Density Compact Urban Form: The Development of Hong Kong” in Jenks, M. and Burgess, R. (eds.) *Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries*, London and New York: Spon Press, pp.245-254
- Zimmels, Y., Kirzhner, F., Lux, K.-H., and Zeller, T. (2006) “Underground disposal of Hazardous waste in Israel - Design principles and conceptual approach”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, **21**(1), pp.68-78 [on line], available from: <http://www.elsevier.com/locate/tust> [accessed: September 7 2009]

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης και η έκρηξη του ρυθμού αστικοποίησης κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες περιοχές του πλανήτη, δε φαίνεται να δείχνουν σημάδια ανάσχεσης και η τάση για ολοένα μεγαλύτερα και πολυπληθέστερα αστικά κέντρα αναμένεται να συνεχιστεί. Καθώς, όμως, η συγκέντρωση πληθυσμού και η επακόλουθη συσσώρευση προβλημάτων στα αστικά κέντρα εντείνονται, οι κύριες διέξοδοι φαίνεται να έχουν εξαντλήσει πλέον τη δυναμική τους. Η εναλλακτική λύση που προβάλλει και μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην υλοποίηση των αρχών της συμπαγούς πόλης και κατ' επέκταση στην επίτευξη της αειφόρου αστικής ανάπτυξης, είναι η αξιοποίηση της «τρίτης διάστασης», όχι προς τα πάνω, αλλά προς τα κάτω. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη των δυνατοτήτων που προσφέρει ο αστικός υπόγειος χώρος για την εγκατάσταση δραστηριοτήτων οι οποίες δεν είναι απαραίτητο ή κοινωνικά αποδεκτό να καταλαμβάνουν πολύτιμο επιφανειακό χώρο, αλλά και η ανάδειξη των παραγόντων που δρουν ανασταλτικά ως προς την υπόγεια ανάπτυξη των πόλεων.