

«Η συμβολή των Πολιτικών Μηχανικών στις έξυπνες πόλεις»

Σεβίμ Σούλα

ΑΜ: 2014/0057



Σίνδος

Οκτώβριος 2022

«Η συμβολή των Πολιτικών Μηχανικών στις έξυπνες πόλεις»

Σεβίμ Σούλα

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπουσα: Δρ. Παρασκευή Μεντζέλου

Μέλος: Δρ. Δημήτριος Κωνσταντινίδης

Μέλος: Δρ. Φανή Αντωνίου

Σίνδος

Οκτώβριος 2022

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|----|
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ | 5 |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | 6 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 7 |
| SUMMARY..... | 8 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 9 |
| ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ | 10 |
| Κεφάλαιο 1°..... | 11 |
| Το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού. | 11 |
| Κεφάλαιο 2°..... | 13 |
| Η προσέγγιση των πολιτικών μηχανικών στις ψηφιακές καινοτομίες | 13 |
| 2.1 Αισθητήρες..... | 15 |
| 2.2 Crowdsourcing (Πληθοπορισμός) | 18 |
| 2.3 Μεταδότες Δεδομένων | 19 |
| 2.4 Ενεργοποιητές..... | 20 |
| 2.5 Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IOT)..... | 21 |
| 2.6 Big Data | 23 |
| 2.7 Ψηφιακή Πόλη (Digital Twin)..... | 25 |
| 2.8 Blockchain | 27 |
| Κεφάλαιο 3°..... | 31 |
| Συστήματα Υποδομών Στις Έξυπνες Πόλεις..... | 31 |
| Οριοθέτηση «Έξυπνης Πόλης»..... | 31 |
| Συστήματα Υποδομών..... | 34 |
| 3.1 Μεταφορές..... | 34 |
| 3.2 Υδατικά Συστήματα..... | 36 |
| 3.3 Στερεά Απόβλητα | 37 |

| | | |
|-----|--|----|
| 3.4 | Ποιότητα Αέρα | 38 |
| 3.5 | Ενεργειακή Υποδομή..... | 40 |
| 3.6 | Κατασκευαστικός κλάδος και διοίκηση | 42 |
| 3.7 | Γεωτεχνικά Συστήματα..... | 43 |
| | Κεφάλαιο 4°..... | 45 |
| | Προκλήσεις που προκύπτουν από την τεχνολογική εξέλιξη στις έξυπνες πόλεις..... | 45 |
| 4.1 | Η αποδοχή της πολυπλοκότητας | 45 |
| 4.2 | Η κοινωνική δικαιοσύνη | 46 |
| 4.3 | Η χρηματοδότηση των έξυπνων πόλεων | 46 |
| 4.4 | Η εκπαίδευση των πολιτικών μηχανικών | 46 |
| | Κεφάλαιο 5°..... | 48 |
| | Η συμβολή Του Πολιτικού Μηχανικού Στην Ανάπτυξη Συστημάτων Έξυπνων Υποδομών | 48 |
| 5.1 | Σχεδιαστής – Κατασκευαστής Δομημένου Περιβάλλοντος..... | 51 |
| 5.2 | Φροντιστής Περιβαλλοντικών Πόρων | 54 |
| 5.3 | Συνδεδετικός Κρίκος Δημόσιου, Ιδιωτικού Και Ακαδημαϊκού Τομέα..... | 54 |
| 5.4 | Διαχειριστής Κινδύνων Και Ατυχημάτων | 56 |
| 5.5 | Επιθεωρητής Υποδομών Και Λήπτης Αποφάσεων | 58 |
| | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 59 |
| | Βιβλιογραφία | 61 |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1: Διαθέσιμες τεχνολογίες για τις υποδομές και τα περιβαλλοντικά συστήματα μιας έξυπνης πόλης, Πηγή: (Zechman Berglund, και συν., 2020) | 15 |
| Εικόνα 2: Τομείς εφαρμογών IoT σε μια έξυπνη πόλη, Πηγή: (Internet of business, 2022) | 23 |
| Εικόνα 3: Δημιουργία ψηφιακής δίδυμης πόλης με εφαρμογή πληροφοριών ανά επίπεδα, Πηγή: (White, Zink, Codécá, & Clarke, 2021)..... | 27 |
| Εικόνα 4: Τομείς εφαρμογής του Blockchain σε έξυπνες πόλεις, Πηγή: (Joshi, 2022) .. | 30 |
| Εικόνα 5: Τα στοιχεία μιας έξυπνης πόλης. Πηγή: Gunderman (2019) Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης. | |
| Εικόνα 6: Παρακολούθηση ποιότητας αέρα σε μια έξυπνη πόλη, Πηγή: Poorna (2020) | 39 |
| Εικόνα 7: Όργανο παρακολούθησης κλίσης, Πηγή: (Encardio, n.d.)..... | 44 |

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών “Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.” του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του ΔΙΠΑΕ. Το θέμα της πτυχιακής εργασίας είναι “Η συμβολή των πολιτικών μηχανικών στις έξυπνες πόλεις.”

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα πρώτα να ευχαριστήσω την κυρία Παρασκευή Μεντζέλου, αναπληρώτρια καθηγήτρια του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του ΔΙΠΑΕ για την ανάθεση του θέματος, τη συνεχή καθοδήγηση και άψογη συνεργασία.

Επιπλέον, ευχαριστώ βαθιά όλους τους καθηγητές του τμήματος καθώς ανέλαβαν απόφοιτους Λυκείου και κατόρθωσαν μέσα σε λίγα χρόνια να τους μετατρέψουν σε επιστήμονες με θεωρητική κατάρτιση ικανή να σταθεί στο σύγχρονο επαγγελματικό περιβάλλον. Για όλους αυτούς που στερήθηκαν την οικογένειά τους με στόχο να μας μορφώσουν, ένα μεγάλο και εγκάρδιο «Ευχαριστώ».

Τέλος, αλλά με ιδιαίτερη βαρύτητα εκφράζω την απέραντη ευγνωμοσύνη και ευχαριστία μου στην οικογένεια μου. Η στήριξη σε οικονομικό, ψυχολογικό και πρακτικό επίπεδο ήταν ο βασικός πυλώνας πάνω στον οποίο έχτισα το μέχρι τώρα δημιούργημά μου. Εύχομαι να δικαιώσω τους κόπους και τις θυσίες τους και δεσμεύομαι στο εξής να λειτουργήσω ως ανταπόδοση της επένδυσής τους σε όλα τα επίπεδα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει σαν θέμα την συμβολή των πολιτικών μηχανικών στις έξυπνες πόλεις. Αρχικά γίνεται μια παρουσίαση του επαγγέλματος του πολιτικού μηχανικού ως έχει. Παρουσιάζονται τα σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία όπως οι αισθητήρες, το crowdsourcing και η επιστήμη των πολιτών, οι ενεργοποιητές, οι μεταδότες δεδομένων, το διαδίκτυο των πραγμάτων, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και το blockchain που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη και τη διαχείριση της έξυπνης πόλης. Κρίθηκε απαραίτητη η οριοθέτηση της έξυπνης πόλης και η ανάλυση των επιμέρους συστημάτων της ώστε να γίνει εμφανές το πεδίο εφαρμογής των τεχνολογικών καινοτομιών. Επιπλέον, αναφέρονται οι προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι πολιτικοί μηχανικοί στην εποχή της τεχνολογικής εξέλιξης. Τέλος, αναλύθηκε η συμβολή του πολιτικού μηχανικού στις έξυπνες πόλεις η οποία είναι κομβική και διαχωρίζεται σε πολλά επίπεδα. Ο ρόλος ενός πολιτικού μηχανικού είναι: (1) κύριος σχεδιαστής: οι πολιτικοί μηχανικοί μπορούν να εντοπίσουν έτοιμες εφαρμογές τεχνολογιών που επιτρέπουν τη βελτίωση της παροχής αστικών πόρων και υπηρεσιών. (2) διαχειριστής: οι πολιτικοί μηχανικοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τόσο τις περιβαλλοντικές όσο και τις κοινωνικές επιπτώσεις των εφαρμογών έξυπνης υποδομής. (3) συνδεδετικός κρίκος: οι πολιτικοί μηχανικοί θα πρέπει να ενσωματωθούν σε διάφορους τομείς και ομάδες εμπειρογνομόνων για την ανάπτυξη προγραμμάτων έξυπνης υποδομής. (4) διαχειριστής κινδύνου: οι πολιτικοί μηχανικοί θα πρέπει να διαχειρίζονται τους υπάρχοντες και αυξανόμενους κινδύνους φυσικών καταστροφών, καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και κλιματικής αλλαγής· θα πρέπει επίσης να διαχειρίζονται νέες ευπάθειες στην ιδιωτικότητα και την ασφάλεια των ατόμων και των νοικοκυριών που εισάγονται μέσω έξυπνων τεχνολογιών· και (5) υπεύθυνος λήψης αποφάσεων: οι πολιτικοί μηχανικοί μπορούν να πρωτοστατήσουν σε συζητήσεις για τις έξυπνες υποδομές και την ανάπτυξη της κατάλληλης πολιτικής.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Έξυπνες πόλεις, Ο ρόλος των πολιτικών μηχανικών, Πόλεις του μέλλοντος, Βιώσιμες πόλεις, Ψηφιακές καινοτομίες στις έξυπνες πόλεις.

SUMMARY

The role of civil engineers in smart cities.

This paper concerns the role of civil engineers in smart cities. Initially, the profession of civil engineering as it is, is presented. Modern technological tools such as sensors, crowdsourcing and citizen science, actuators, data transmitters, internet of things, big data analytics and blockchain that can be used to support and manage a smart city. It was necessary to analyze what is a smart city and examine its individual systems in order to make the scope of technological innovations evident. Moreover, the challenges that civil engineers have to overcome at the digital innovation era, are addressed. Finally, the contribution of the civil engineer in smart cities was analyzed, which is pivotal and divided into several levels. The role of a civil engineer is: (1) master designer: civil engineers can identify ready applications of technologies that enable the improvement of the provision of urban resources and services. (2) steward: civil engineers must consider both the environmental and social impacts of smart infrastructure applications. (3) connecting link: civil engineers should be integrated into various fields and expert groups to develop smart infrastructure programs. (4) risk manager: civil engineers should manage the existing and increasing risks of natural disasters, emergencies and climate change; they should also manage new vulnerabilities to the privacy and security of individuals and households introduced by smart technologies · and (5) decision-maker: civil engineers can lead discussions on smart infrastructure and the development of appropriate policy.

KEY-WORDS: Smart cities, The role of civil engineers, Cities of the future, Sustainable cities, Digital innovation in smart cities.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη του ζητήματος σχετικά με την συμβολή του πολιτικού μηχανικού στις σύγχρονες έξυπνες πόλεις. Το 2016 εκτιμάται ότι το 54% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε αστικά κέντρα με το ποσοστό να αναμένεται να αυξηθεί στο 60% έως το 2030 (United Nations, 2016). Η συνεχής αύξηση συνεπώς του παγκόσμιου πληθυσμού, η συρροή αυτού στα αστικά κέντρα, το μεταβαλλόμενο κλίμα καθώς και η αυξημένη έλλειψη πόρων έχουν δημιουργήσει ένα απαιτητικό περιβάλλον για την εφαρμογή του επαγγέλματος. Παράλληλα, οι νέες ψηφιακές τεχνολογίες διαταράσσουν το επάγγελμα με νέους τρόπους δράσεις και ύπαρξης. Αυτό το νέο αστικό πλαίσιο παρουσιάζει προκλήσεις αλλά και ευκαιρίες για τους πολιτικούς μηχανικούς. Τα τελευταία χρόνια έχει εδραιωθεί η ιδέα της “έξυπνης πόλης” όπου οι ψηφιακές δυνατότητες δημιουργούν αξίες και συνεπώς έχει αυξηθεί η χρήση των ψηφιακών καινοτομιών από τον κλάδο των πολιτικών μηχανικών. Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει ένα κίνητρο για αλλαγές και βελτιώσεις ή να αποτελέσει ένα πλαίσιο στασιμότητας και απαξίωσης.

Η παρούσα εργασία εξετάζει πως ο ρόλος των πολιτικών μηχανικών αλλάζει ενόσω οι “έξυπνες λύσεις” ή οι ψηφιακές τεχνολογίες εμφανίζονται ολοένα και πιο συχνά στα αστικά κέντρα και δυνητικά στον τρόπο σχεδιασμού συντήρησης και παράδοσης των υποδομών εντός αυτών. Επικεντρώνεται στη χρήση τους από τους πολιτικούς μηχανικούς, στο πως η κουλτούρα του επαγγέλματος διαμορφώνει την ερμηνεία τους και ποιες αλλαγές είναι απαραίτητες για να επιτευχθούν τα βέλτιστα οφέλη που προσφέρει η ψηφιακή καινοτομία. Οι ψηφιακές τεχνολογίες άλλωστε δεν είναι κάτι νέο για τους πολιτικούς μηχανικούς.

Όταν ο στόχος γίνεται σαφής, υπάρχει διαφάνεια σχετικά με τις απαιτήσεις του περιεχομένου και το απόσταγμα κάθε εγχειρήματος. Για το παρόν έργο τα ερευνητικά ερωτήματα διατυπώνονται ως εξής:

- Ποιος είναι ο ρόλος του πολιτικού μηχανικού στα αστικά κέντρα;
- Ποια είναι η προσέγγιση τους στις ψηφιακές καινοτομίες;
- Σε ποια συστήματα έχουν εφαρμογή οι ψηφιακές καινοτομίες;
- Ποιες προκλήσεις προκύπτουν από την τεχνολογική εξέλιξη;
- Ποια είναι η συμβολή του πολιτικού μηχανικού στην ανάπτυξη συστημάτων έξυπνων υποδομών;

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα παραπάνω ερωτήματα επιχειρήθηκε να καλυφθούν βιβλιογραφικά από επιστημονικές πηγές σε έγκριτα περιοδικά και ιστοσελίδες της επιστήμης των πολιτικών μηχανικών. Η εργασία βασίζεται στη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση και στο τέλος του εγγράφου υπάρχει αναλυτικός πίνακας των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν.

Κεφάλαιο 1^ο

Το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού.

Το Ινστιτούτο Πολιτικών Μηχανικών (Institute of Civil Engineers – ICE) (1995) αναφέρει ότι οι πολιτικοί μηχανικοί είναι υπεύθυνοι για τα περισσότερα από τα βασικά στοιχεία της σύγχρονης ζωής. Είναι υπεύθυνοι για: 1)τους “μύες” και τους “τένοντες” που κρατάνε την κοινωνία ενωμένη (γέφυρες, δρόμοι, σιδηρόδρομοι, φράγματα, αεροδρόμια, αποβάθρες, σήραγγες), 2)την προμήθεια και συντήρηση της “καρδιάς” και των “πνευμόνων” της κοινωνίας (παροχή καθαρού νερού, εισαγωγή φυσικών πόρων, απομάκρυνση αποβλήτων), 3)τις μεταφορές και την ασφαλή και αποτελεσματική μετακίνηση και 4)την παροχή ενέργειας για να λειτουργούν όλα τα παραπάνω (εκμετάλλευση φυσικού αερίου, πετρελαίου, πυρηνικής, υδροηλεκτρικής, παλιρροϊκής και αιολικής ενέργειας). Η UNESCO (2010) αναφέρει σε δημοσίευση της ότι οι πολιτικοί μηχανικοί προσφέρουν μοναδικές υπηρεσίες στην κοινωνία: υπηρεσίες που περιλαμβάνουν δημιουργικές δεξιότητες και προσωπικές αποφάσεις που φέρουν ουσιαστική ευθύνη. Οι δεξιότητες και οι αποφάσεις τους επηρεάζουν τις ζωές των ανθρώπων σε όλο τον κόσμο φέροντας ευθύνη για την αξιοπιστία, την ασφάλεια, την ποιότητα και την διασφάλιση μιας αξιοπρεπής διαβίωσης μέσω των υπηρεσιών που προσφέρουν.

Οι πολιτικοί μηχανικοί ασχολούνται με τον σχεδιασμό την κατασκευή και την συντήρηση του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος, βελτιώνουν και συντηρούν το περιβάλλον με σκοπό την βελτίωση του τρόπου ζωής των ανθρώπων του παρόντος και του μέλλοντος. Τα έργα υποδομών είναι απαραίτητα για τις βασικές μας ανάγκες, από την παροχή τροφίμων και νερού, την διασφάλιση της δημόσιας υγείας μέσω των δικτύων αποχέτευσης, μέχρι τις ασφαλείς μετακινήσεις. Μέσω της εργασίας τους οι πολιτικοί μηχανικοί αποτελούν τον βασικό πυλώνα για την επίλυση ποικίλων προκλήσεων του δομημένου περιβάλλοντος σε επίπεδο 1)μεμονωμένων υποδομών, 2)συστημάτων υποδομών και 3)της ευρύτερης κοινωνίας.

Μεμονωμένες υποδομές

Τα έργα των πολιτικών μηχανικών συχνά εστιάζουν στα μεμονωμένες υποδομές όπως για παράδειγμα: ένα κτίριο, μια γέφυρα, μια σήραγγα. Εργάζονται με σκοπό την δημιουργία, συντήρηση και αναβάθμιση των έργων αυτών ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες των πολιτών. Μια σημαντική πρόκληση σε αυτό το κομμάτι είναι οι γερασμένες υποδομές. Σύμφωνα με τους J. W. Hall et al, 2012, τα μισά δίκτυα ύδρευσης στο Λονδίνο έχουν κατασκευαστεί περισσότερο

από εκατό χρόνια πριν. Ακόμα, προβλέπεται ότι το 70% των κτηρίων στο Ηνωμένο Βασίλειο που θα είναι σε χρήση το 2050 έχει ήδη κατασκευαστεί (Defra, 2012).

Συστήματα υποδομών

Οι πόλεις αποτελούν ένα συγκλίνον σημείο πολλών διαφορετικών υποδομών τα οποία συνδέονται για να δημιουργήσουν πολύπλοκα συστήματα υποδομών. Τα συστήματα υποδομών είναι αυτά που κάνουν τις πόλεις βιώσιμες. Η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των μεμονωμένων υποδομών και η διασφάλιση της σωστής λειτουργίας τους είναι απαραίτητα για την βέλτιστη λειτουργία των συστημάτων υποδομών. Σε αυτό το επίπεδο οι πολιτικοί μηχανικοί καλούνται να αντιμετωπίσουν προκλήσεις σχετικά με την πολυπλοκότητα και την αλληλεξάρτηση των συστημάτων.

Ευρύτερη κοινωνία

Ο κύριος στόχος των πολιτικών μηχανικών είναι η βελτίωση του δομημένου περιβάλλοντος για την κοινωνία. Είτε άμεσα είτε έμμεσα οι πολιτικοί μηχανικοί συνεισφέρουν στην επίλυση προκλήσεων στο επίπεδο της ευρύτερης κοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων προβλημάτων όπως η κλιματική αλλαγή και η έλλειψη πόρων. Για παράδειγμα το ευρύτερο κοινωνικό ζήτημα της κλιματικής αλλαγής θέτει μια διπλή πρόκληση για τους μηχανικούς οι οποίοι καλούνται να παρέχουν λύσεις ανθεκτικές στις επερχόμενες κλιματικές αλλαγές, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την συμβολή τους σε αυτές. (Construction excellence, London, 2008).

Ένα ακόμη ερώτημα που καλούμαστε να απαντήσουμε είναι το που μπορούν να εργαστούν οι πολιτικοί μηχανικοί. Οι πολιτικοί μηχανικοί παρόλο που έχουν έναν συλλογικό σκοπό χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους και εργαλεία, δραστηριοποιούνται σε διάφορους τομείς όπως 1) στις μεταφορές/μετακινήσεις (σιδηρόδρομοι, αυτοκινητόδρομοι, αστικές μετακινήσεις κ.α.), 2) στα υδατικά συστήματα (παροχή, διανομή, αποθήκευση, προστασία κ.α.), 3) στις ιδιοκτησίες ακίνητης περιουσίας (οικιακά, εμπορικά, δημόσια) και 4) στον ενεργειακό τομέα (παραγωγή, αποθήκευση, μετακίνηση κ.α.) και μπορούν να εργαστούν σε δημόσιο, ιδιωτικό και ακαδημαϊκό επίπεδο (MacNair L. et al, 2018).

Κεφάλαιο 2^ο

Η προσέγγιση των πολιτικών μηχανικών στις ψηφιακές καινοτομίες

Οι ψηφιακές δυνατότητες παρουσιάζουν στους πολιτικούς μηχανικούς δύο ξεχωριστές ευκαιρίες. Πρώτον, τη δυνατότητα να δουλεύουν πιο αποδοτικά, να κάνουν ό, τι ήδη κάνουν δηλαδή αλλά ταχύτερα και οικονομικότερα και δεύτερον, να εργάζονται αποτελεσματικότερα, προσθέτοντας μεγαλύτερη αξία στις λύσεις τους.

Η αποδοτικότητα, η βελτιωμένη απόδοση - η δυνατότητα για τους πολιτικούς μηχανικούς να κάνουν ό, τι ήδη κάνουν σε λιγότερο χρόνο, με μικρότερο κόστος ή χρησιμοποιώντας λιγότερους υλικούς πόρους - είναι μια βασική δυνατότητα που παρέχεται από την ψηφιακή τεχνολογία. Τόσο στον θεωρητικό τομέα όσο και στην πράξη είναι η πιο διερευνημένη ευκαιρία έως σήμερα. Οι αυτοματοποιημένες, έξυπνες διεργασίες επιτρέπουν την επίτευξη χρονοβόρων υπολογισμών και διαδικασιών μακράς διάρκειας εντός δευτερόλεπτων και ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο ανθρώπινου σφάλματος. Παρόλο που ενδέχεται να απαιτηθεί μια αρχική επένδυση για την ανάπτυξη τους, συχνά μπορούν να κλιμακωθούν για χρήση σε διαφορετικά έργα και να τροποποιηθούν εύκολα για διαφορετικές εφαρμογές. Επιπλέον, σε μια βιομηχανία όπου η συνεργασία ήταν παραδοσιακά σημαντική επιρροή (και συχνά παρεμποδίζει) την αποδοτικότητα, η ψηφιακή τεχνολογία παρουσιάζει έναν τρόπο διευκόλυνσης και ολοκλήρωσης συνεργατικών διαδικασιών και εξοικονόμησης χρόνου. Τα ψηφιακά εργαλεία όπως το Digital Twin θα μπορούσαν να διευκολύνουν την συνεργασία εξ αποστάσεως, μειώνοντας την ανάγκη για ταξίδια και επιτρέποντας ευκολότερη συμμετοχή πολλών ενδιαφερομένων σε όλα τα στάδια ενός έργου. Αυτό συμβάλει στη διασφάλιση της βελτιστοποίησης των εργασιών και στη μείωση των χρονοβόρων επαναλήψεων εργασιών για τη διόρθωση των συγκρούσεων σχεδιασμού.

Η αποτελεσματικότητα, αφορά την επίτευξη ενός αποτελέσματος. Ενέχει όμως έναν βασικό κίνδυνο. Συχνά η υπερβολική εστίαση στην επίτευξη της αποτελεσματικότητας μπορεί να οδηγήσει ακούσια σε αρνητικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, η χρήση ψηφιακών δεδομένων για την εξοικονόμηση κόστους με σκοπό να δημιουργηθεί ένας μεγαλύτερος, υψηλότερης χωρητικότητας δρόμος, μπορεί να μειώσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση αρχικά, αλλά μελλοντικά να οδηγήσει στην περαιτέρω χρήση των αυτοκινήτων και να δημιουργήσει

κυκλοφοριακή συμφόρηση αλλού. Οι ευκαιρίες που προκύπτουν μέσω της ψηφιακής τεχνολογίας δεν είναι ωφέλιμες όταν δεν χρησιμοποιούνται. Η αξία τους έγκειται στο να βοηθούν τους πολιτικούς μηχανικούς να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις που εργάζονται για να λύσουν, στους τρεις τομείς που αναλύθηκαν πιο πάνω. Παρακάτω παρουσιάζεται πως οι ευκαιρίες ψηφιακής τεχνολογίας συμβάλλουν στην αναγνώριση των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν σε κάθε τομέα.

Κρίνεται σκόπιμο επομένως να εξεταστούν τα εργαλεία που συμβάλλουν στην επίτευξη της καινοτομίας στον περιβάλλοντα χώρο διαμονής του σύγχρονου κατοίκου. Τα εργαλεία αποτελούν τα θεμέλια για την πραγματοποίηση της εξέλιξης και περιλαμβάνουν τις τεχνολογικές καινοτομίες στον τομέα της μηχανικής των πόλεων. Ουσιαστικά θα μπορούσε να ειπωθεί ότι αποτελούν τα πιο δυνατά όπλα στην φαρέτρα των ομάδων που εργάζονται αδιάκοπα για την διευκόλυνση των ανθρώπων που ζουν σε μια πόλη. Άλλωστε η αναβάθμιση της καθημερινής ζωής είναι ένας τρόπος για την απόδειξη της επίτευξης ενός ανώτερου σημείου πολιτισμού.

Στην εικόνα που ακολουθεί υπάρχει μια οπτικοποίηση των εργαλείων που χρησιμοποιούνται από τους αρμόδιους φορείς σε ένα περιβάλλον πόλης (Zechman Berglund, και συν., 2020).



Εικόνα 1: Διαθέσιμες τεχνολογίες για τις υποδομές και τα περιβαλλοντικά συστήματα μιας έξυπνης πόλης, Πηγή: (Zechman Berglund, και συν., 2020)

2.1 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες αποτελούν τη βασική πηγή απόκτησης δεδομένων για τις έξυπνες πόλεις. Λόγος γίνεται για τις συσκευές που μπορούν να ανιχνεύσουν ή να ποσοτικοποιήσουν τις ιδιότητες που υπάρχουν στους παρακείμενους χώρους και στο φυσικό σύστημα που περιβάλλει μια πόλη. Οι συσκευές, επίσης, έχουν τη δυνατότητα να μετατρέψουν τις παραμέτρους σε ηλεκτρονικό σήμα και να μεταδώσουν τα δεδομένα σε ηλεκτρονικά συστήματα και ανθρώπους ώστε να τεθούν σε επεξεργασία και ανάλυση με σκοπό τη λήψη αποφάσεων ή την προσαρμογή των εφαρμογών (Hancke, de Carvalho e Silva, & Hancke, 2013). Οι πολιτικοί μηχανικοί λαμβάνοντας δεδομένα από τους αισθητήρες μπορούν να βελτιώσουν την ασφάλεια και την παραγωγικότητα σε κρίσιμες στιγμές κατά τη διάρκεια κατασκευής ενός έργου. Για παράδειγμα, μπορούν να λάβουν πληροφορίες για την υγρασία και άλλες καιρικές συνθήκες, οι οποίες μπορεί να έχουν αντίκτυπο στα δομικά υλικά ή ακόμα και στην ασφάλεια των εργαζομένων του εργοταξίου. Επιπλέον, με την συλλογή ενός πλήθους δεδομένων από τους αισθητήρες, οι πολιτικοί μηχανικοί αποκτούν καλύτερη εικόνα και μπορούν να ελέγχουν καλύτερα διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η χρήση ενέργειας. Για παράδειγμα, σε ένα νοσοκομείο, η χρήση των αισθητήρων δίνει την δυνατότητα να παρατηρούν οι πολιτικοί

μηχανικοί σε πραγματικό χρόνο την εσωτερική λειτουργία του, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την διατήρηση του μακροπρόθεσμου κόστους. Επί προσθέτως, χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων σε μελλοντικά έργα μπορεί να εξοικονομήσουν αξιосέβαστα ποσά.

Ουσιαστικά, οι αισθητήρες αποτελούν τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα που μεταδίδουν τα συλλεγμένα δεδομένα στους κόμβους υπολογισμού ενός δικτύου. Αυτό τους μετατρέπει στην γέφυρα μεταξύ του πραγματικού κόσμου και των ευφυών συστημάτων ελέγχου. Οι αισθητήρες λειτουργούν με διάφορους τρόπους και επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες. Για παράδειγμα, μπορούν να είναι προσαρτημένοι σε κόμβους που εκτελούν υπολογισμούς δεδομένων για τη μετάδοση μετασχηματισμένων δεδομένων συνδεδεμένοι είτε ασύρματα είτε μέσω ενσύρματου δικτύου. Οι αισθητήρες μπορεί να είναι σταθεροί ή κινητοί ανάλογα με τις ανάγκες των δεδομένων που καλούνται να αντλήσουν. Ο τύπος της σύνδεσης και η κινητικότητα των αισθητήρων μπορεί να επηρεάσουν τον τύπο των δεδομένων, τη συχνότητα αναφοράς και την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Η σύγχρονη τεχνολογία έχει εξελιχθεί με τέτοιο τρόπο που βελτιώνει συνεχώς τη μέθοδο άντλησης δεδομένων καθώς αποτελεί μια κοινή παραδοχή ότι η πληροφορία είναι η βάση για την δημιουργία και την εξέλιξη. Χαρακτηριστικά, τοποθετούνται πολλαπλοί αισθητήρες σε σύστημα δικτύου άντλησης πληροφοριών για την παρακολούθηση περίπλοκων φαινομένων που χαρακτηρίζονται ως σύνθετα συμβάντα και απαιτούν ανίχνευση πολλαπλών περιβαλλοντικών ιδιοτήτων (Gao, Li, Cai, & Gao, 2015).

Οι αισθητήρες έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών για χρήση στα ποικίλα έξυπνα προγράμματα υποδομών. Ορισμένες εφαρμογές έξυπνης υποδομής αναπτύσσουν παραδοσιακούς αισθητήρες, όπως εκείνους που μετρούν τη θερμοκρασία και την πίεση, ενώ άλλες πειραματίζονται με προηγμένες συσκευές όπως αισθητήρες υπέρυθρων, οπτικούς αισθητήρες, επιταχυνσιόμετρα, παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS) και άλλους αισθητήρες γεωπληροφοριών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένοι αισθητήρες και τα χαρακτηριστικά τους (Zechman Berglund, και συν., 2020).

Πίνακας 1: Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές έξυπνης υποδομής, Πηγή: (Zechman Berglund, και συν., 2020)

| Τύπος Αισθητήρα | Παράμετρος ανίχνευσης | Υποδομή εφαρμογής | Ενδεικτικό κόστος (σε \$) | Όριο ανίχνευσης |
|-----------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|-----------------|
|-----------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|-----------------|

| | | | | |
|-----------------------------------|--|--|-----------|--------------|
| Αισθητήρας Θερμοκρασίας | Θερμοκρασία | Όλοι οι τομείς | 1–1.000 | –40°C |
| Αισθητήρας Πίεσης | Πίεση | Όλοι οι τομείς | 10–1.000 | 0 Pa |
| Αισθητήρας Ροής | Ρυθμός ροής | Συστήματα νερού | 120-150 | 0 m/s |
| Αισθητήρας ποιότητας νερού | pH | Συστήματα νερού | 15–1.000 | 0–14 |
| | Νιτρικά | | 190 | 1mg/L |
| | Αγωγιμότητα | | 3-750 | 0 μS/cm |
| | Αμμωνία | | 190 | 1mg/L |
| | Οξείδωση | | 100 | - |
| | Βιοχημική ζήτηση οξυγόνου (BOD) | | 1.500 | 5 ppm |
| | Βιολογικά ανενεργή οργανική ύλη | | 1.800 | 5 mg/L |
| Αισθητήρας ποιότητας αέρα | O ₃ | Συστήματα αέρα | 50–1.500 | 5 ppb |
| | NO ₂ | | 50–1.500 | 5 ppb |
| | SO ₂ | | 50–1.500 | 50 ppb |
| | CO | | 100–2.500 | 5 ppm |
| | PM _{2.5} | | 25–2.500 | 0.3 μm |
| Ψηφιακή απεικόνιση | Εικόνα | Όλοι οι τομείς | 15–1.000+ | - |
| Αισθητήρας Ενέργειας | Κατανάλωση | Ενέργεια | 299–349 | - |
| Αισθητήρας Πλοήγησης | GPS | Όλοι οι τομείς | 13–600 | 1 cm |
| Αισθητήρας Ακτινοβολίας | Υπέρυθρες | Όλοι οι τομείς | 10 | 550–1.000 nm |
| Αισθητήρας τοποθέτησης | Τοποθεσία, επιτάχυνση, προσανατολισμός | Κατασκευές, μεταφορές, στερεά απόβλητα | 20–1.000+ | - |
| Μετρητής καταπόνησης | Ένταση | Γεωτεχνικές κατασκευές | 3–1.000+ | - |

2.2 Crowdsourcing (Πληθοπορισμός)

Το crowdsourcing προσφέρει ένα νέο μοντέλο για τη συλλογή δεδομένων σε περιβαλλοντικά συστήματα και συστήματα υποδομής μέσω της χρήσης συμμετοχικών και φορητών πλατφορμών συλλογής δεδομένων (Mueller, Lu, Chirkin, Klein, & Schmitt, 2018). Οι πολιτικοί μηχανικοί μέσω του πληθοπορισμού, συλλέγοντας δεδομένα και λύσεις από το πλήθος, κατανοούν βαθύτερα τις ανάγκες των πελατών τους.

Η ασύρματη δικτύωση και η μεταφορά δεδομένων μέσω «σύννεφου» -cloud computing- χρησιμοποιούνται πλέον για τη δημιουργία πλατφορμών που υποστηρίζονται από φορητές συσκευές. Συνήθως υπάρχει πρόσβαση σε ορισμένους χρήστες, δηλαδή πολίτες οι οποίοι μπορούν να συλλέγουν και να διαμοιράζουν δεδομένα μέσα από τη διαβίωση στην πόλη. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της πετρελαιοκηλίδας του 2010 από την BP Deepwater Horizon όπου τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης επιστρατεύθηκαν ώστε να αντληθεί υλικό σχετικά με την οικολογική περίπτωση και να μελετηθεί ο τρόπος και η ταχύτητα μετάδοσης πληροφοριών που σχετίζονται με το περιβάλλον (Starbird, και συν., 2015).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός της εκπαίδευσης στην επιστήμη του πολίτη. Από νωρίς αναδύθηκε η ανάγκη κατάρτισης των ατόμων που θα προσφέρουν δεδομένα και παρατηρήσεις ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοση της διαδικασίας, η ευστοχία και η ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων. Μέσω ειδικών εκπαιδευτικών προγραμμάτων οι πολίτες αποκτούν τα απαραίτητα εφόδια για τη συλλογή επιστημονικών δεδομένων μέσα από τη διεξαγωγή πειραμάτων πεδίου και τη χρήση εξοπλισμού. Η επιστήμη του πολίτη περιλαμβάνει έναν μηχανισμό ανατροφοδότησης, όπου οι πολίτες έχοντας μετατραπεί σε επιστήμονες, αφού προσφέρουν τις παρατηρήσεις τους στον τομέα της γνώσης και της πληροφορίας, λαμβάνουν νέες κατευθυντήριες γραμμές για την επόμενη «αποστολή». Αυτή η ανατροφοδότηση μπορεί να αποδειχθεί διπλά χρήσιμη καθώς η επιστήμη εμπλουτίζεται από τα δεδομένα που παρέχονται αλλά ταυτόχρονα οι πολίτες ενημερώνονται και έρχονται σε επαφή με ερεθίσματα που τους ενεργοποιούν κοινωνικά και τους ευαισθητοποιούν περιβαλλοντικά (Buytaert, 2014).

Αυτό το εργαλείο παρουσιάζει τόσο θετικές όσο και αρνητικές διαστάσεις. Χαρακτηριστικά, η αμεσότητα στην άντληση πληροφοριών, ο μεγάλος όγκος δεδομένων που μπορούν να προσφερθούν και το μειωμένο κόστος είναι ορισμένα από τα πλεονεκτήματα του υπό εξέταση εργαλείου. Στον αντίποδα, η περιορισμένη εμβέλεια άντλησης παρατηρήσεων λόγω σύνθετης διαδικασίας και απαιτητικού εξοπλισμού είναι ένα βασικό μειονέκτημα. Ακόμη, η έλλειψη εθελοντικής συμμετοχής και η αστοχία ή η ανακρίβεια των καταγραφών εγκυμονούν

κινδύνους που προβληματίζουν τους πολιτικούς μηχανικούς και άλλους χρήστες αυτών των πληροφοριών (Zhang, Xue, Yu, Yang, & Tang, 2014).

2.3 Μεταδότες Δεδομένων

Η μετάδοση δεδομένων είναι τα μέσα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων από το σημείο συλλογής σε μια βάση δεδομένων όπου να είναι δυνατή η αποθήκευση, η επεξεργασία και τέλος η εξαγωγή αποτελεσμάτων (Hancke, de Carvalho e Silva, & Hancke, 2013). Οι μεταδότες δεδομένων χρησιμοποιούνται από τους πολιτικούς μηχανικούς για την συλλογή των δεδομένων από διάφορους αισθητήρες.

Η μεγαλύτερη κατηγοριοποίηση είναι ανάμεσα στην ενσύρματη και την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των διαφορετικών πηγών παροχής δεδομένων και των κέντρων επεξεργασίας αυτών. Ξεκινώντας από τις ενσύρματες τεχνολογίες μπορεί να υποστηριχθεί ότι η ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL), η καλωδιακή τηλεόραση, οι επικοινωνίες γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας και τα τοπικά δίκτυα (LAN) παρουσιάζουν μειωμένη ευαισθησία σε παρεμβολές και αστάθειες σε σχέση με τις ασύρματες. Ασφαλώς η αχίλλειος πτέρνα δεν απουσιάζει ούτε σε αυτήν την κατηγορία καθώς τα δίκτυα MAN και WAN που καλύπτουν ευρύτερες περιοχές όπως εργοστάσια, πανεπιστήμια ή και ολόκληρες πόλεις, έχουν απαιτήσεις καλωδιακής εγκατάστασης, κάτι που κοστίζει και είναι συχνά ακατόρθωτο λόγω υποδομών και γεωμορφολογίας. Σχετικά με τις τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης δεδομένων είναι γνωστό ότι αναπτύχθηκαν προκειμένου να βελτιώσουν τον όγκο των δεδομένων που μεταδίδονται και την απόσταση στην οποία μπορούν να μεταδοθούν δεδομένα. Οι ασύρματες τεχνολογίες παρέχουν δυνατότητες επικοινωνίας που επιτρέπουν την τοποθέτηση μεγάλου αριθμού αισθητήρων χωρίς την ανάγκη καλωδίων. Για κόμβους αισθητήρων που έχουν σχεδιαστεί για λειτουργία και συλλογή δεδομένων για μεγάλες χρονικές περιόδους, τα ασύρματα δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης (LPWAN) μπορούν να επιτρέψουν στις ασύρματες τεχνολογίες να επικοινωνούν αποτελεσματικά και να ανταπεξέρχονται στις απαιτήσεις του δικτύου και των στόχων των ερευνητών (Hancke, de Carvalho e Silva, & Hancke, 2013).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένα εργαλεία ασύρματης διασύνδεσης που είναι αυτή τη στιγμή σε χρήση για την πρακτική λύση του ζητήματος της μετάδοσης πληροφοριών.

Πίνακας 2: Επισκόπηση τεχνολογιών ασύρματης μετάδοσης δεδομένων, Πηγή: (Zechman Berglund, και συν., 2020)

| Τεχνολογία | Πρότυπο | Συχνότητα | Διείσδυση (MHz) | Εύρος | Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα | Εύρος ζώνης |
|------------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------|-------------------------------|--------------|
| LoRa | Various | 433 | Χαμηλή | Αρκετά χλμ. | Χαμηλό εύρος ζώνης | 50 kbps |
| Dash7 | ISO/IEC 18000-7 | 433 | Υψηλή | 1 χλμ. | 200 kbps | 200 kbps |
| Zigbee | IEEE 802.15.4 | 868/915/2.400 | Χαμηλή/Υψηλή | 100 μ. | Διχτυωτό δίκτυο | 250 kbps |
| Bluetooth | IEEE 802.15 | 2.483,5 | Χαμηλή | 100 μ. | 800 kbps | 800 kbps |
| 3G | Various | 700-2.600 | Χαμηλή/Υψηλή | Αρκετά χλμ. | Υψηλό εύρος ζώνης | 3,6-21 Mbps |
| 4G/4G LTE | 3GPP-LTE | 700-2.600 | Χαμηλή/Υψηλή | Αρκετά χλμ. | Υψηλό εύρος ζώνης | 100 Mbps+ |
| NFC/RFID | ISO/ICE 18092 | 13,56 | Υψηλή | 10 εκ. | 106-424 Mbps | 106-424 Mbps |
| 5G | Various | 700-2.600 | Χαμηλή/Υψηλή | Αρκετά χλμ. | Υψηλό εύρος ζώνης | 500 Mbps+ |
| Wi-Fi | IEEE 802.11 | 2.400 | Χαμηλή | 32 μ. | 1.300 Mbps | 1,300 Mbps |

2.4 Ενεργοποιητές

Σε παράλληλη λειτουργία με τους αισθητήρες τίθενται και οι ενεργοποιητές. Πρόκειται για τα εργαλεία ανταπόκρισης σε ορισμένες ρυθμίσεις ώστε να λαμβάνει χώρα αυτόματα και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, η αντίδραση στα δεδομένα που συλλέγονται και αποστέλλονται μέσω των διάφορων μορφών επικοινωνίας. Ορισμένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτόματης αντίδρασης είναι το άναμμα / σβήσιμο του δημόσιου φωτισμού σύμφωνα με τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος. Ακόμη, πολλά έξυπνα κτίρια ρυθμίζουν τη θερμοκρασία ανάλογα με τα δεδομένα που λαμβάνει ο αισθητήρας. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι μειώνονται τα κόστη, αποφεύγεται η μονότονη εργασία και αυξάνεται η ποιότητα διαβίωσης χωρίς να χρειάζεται η ανθρώπινη παρατήρηση και αντίδραση στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Το συγκεκριμένο εργαλείο βέβαια εφαρμόζεται και σε περιπτώσεις όχι απλής βελτίωσης της καθημερινότητας αλλά και για την προστασία της ζωής.

Σε περίπτωση φωτιάς οι ενεργοποιητές κλείνουν την παροχή ρεύματος και φυσικού αερίου ώστε να περιοριστεί ο κίνδυνος εκρήξεων και επέκτασης της επικίνδυνης συνθήκης (Al-Hudhud, Alqahtani, Albaity, Alsaeed, & Al-Turaiki, 2019).

Αξίζει να γίνει μια αναφορά για το εύρος και την εμβέλεια εφαρμογής των ενεργοποιητών. Πιο αναλυτικά, τα εν λόγω εργαλεία μπορούν να εφαρμοστούν για τη βελτίωση της διαχείρισης υποδομών που εκτείνονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, όπως δίκτυα μεταφορών, λεκάνες απορροής και συστήματα διανομής νερού. Για παράδειγμα, η χρήση ενεργοποιητών σε συνδυασμό με μαγνητικούς ή κυματικούς αισθητήρες για την αποτελεσματική λειτουργία των σημάτων κυκλοφορίας είναι συνηθισμένη σε σύγχρονες έξυπνες πόλεις (Hussian, Sharma, & Sharma, 2013).

Η αυτοματοποίηση των διαδικασιών έχει δημιουργήσει ένα πλήθος συστημάτων που βασίζονται αποκλειστικά στην ψηφιακή λειτουργία. Πιο αναλυτικά, υπάρχουν υποδομές που μέσα από αισθητήρες λαμβάνουν δεδομένα, τα μεταδίδουν μέσα από ψηφιακά δίκτυα και αναγνωρίζουν την παρεχόμενη πληροφορία αντιδρώντας αναλόγως σύμφωνα με τους ενεργοποιητές. Η χρήση τέτοιων συστημάτων εφαρμόζεται συχνά σε ζητήματα ύδρευσης όπου η μέτρηση και η αντίδραση είναι εύκολο να αυτοματοποιηθούν. Για παράδειγμα, παρόμοιοι τύπου έξυπνα συστήματα εφαρμόζονται για τον αυτόματο χειρισμό αντλιών σε συστήματα διανομής νερού ως απόκριση στις μεταβαλλόμενες στάθμες στις δεξαμενές αποθήκευσης νερού (Ormsbee & Lansey, 1994).

2.5 Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IOT)

Το Internet Of Things, γνωστό και ως IoT, είναι η σύνδεση συσκευών ή αντικειμένων που είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο και είναι ικανά για τη μετάδοση και τη λήψη δεδομένων. Με τη χρήση του IoT οι πολιτικοί μηχανικοί μπορούν να επωφεληθούν με διάφορους τρόπους όπως για παράδειγμα, να ενημερώνονται τότε απαιτείται συντήρηση ή εάν έχει προκύψει κάποια φθορά ή βλάβη και επομένως να προβούν στη αποκατάσταση αυτής άμεσα. Το συγκεκριμένο εργαλείο αποτελεί μια πραγματική καινοτομία γιατί μετέτρεψε την ψηφιοποίηση και τον αυτοματισμό σε αγαθά κοινής χρήσης. Ασφαλώς και η εφαρμογή στην επιστήμη είναι μεγάλη και εξυπηρετεί τη λήψη δεδομένων, την επεξεργασία, τον αυτόματο χειρισμό και την παρακολούθηση αλλά δεν θα ήταν ορθό να υποβαθμίζεται η άμεση προσφορά της τεχνολογίας στον πολίτη καθώς αυτό αποτελεί και τον τελικό στόχο. Το IoT ουσιαστικά

επεκτείνει την εφαρμογή του διαδικτύου πέρα από τους υπολογιστές και επιτρέπει την κοινή χρήση δεδομένων, την οπτικοποίηση αυτών και τον απομακρυσμένο έλεγχο συσκευών μέσα από προσφιλείς και εύχρηστες εφαρμογές. Η αρχιτεκτονική του IoT σε μια αστική περιοχή περιλαμβάνει την υπηρεσία web και το επίπεδο σύνδεσης (Zanella, και συν., 2014).

Είτε πρόκειται για υπηρεσίες web, δηλαδή μια παραδοσιακή σύνδεση παρόχου και λήπτη είτε για τεχνολογίες επιπέδου σύνδεσης, δηλαδή τη δημιουργία κόμβων μεταξύ χρηστών και μάλιστα σε μεγάλη εμβέλεια, το δεδομένο είναι ότι το εργαλείο αυτό δημιουργεί και πάλι συστήματα. Όπως είδαμε και παραπάνω αισθητήρες, ενεργοποιητές, αυτόματες μηχανές, ψηφιακές συσκευές, κ.ά. μπορούν να συνυπάρξουν για την αυτοματοποίηση και τον απομακρυσμένο έλεγχο. Το επίπεδο σύνδεσης μπορεί να χρησιμοποιεί τεχνολογίες χωρίς περιορισμούς, όπως επικοινωνία LAN, MAN, WAN ή και πιο περιορισμένες τεχνολογίες, όπως Bluetooth, NFC και RFID. Οι εφαρμογές αυτές είναι αξιόπιστες και γρήγορες χωρίς να απαιτούν ιδιαίτερη τεχνογνωσία για τη χρήση των συστημάτων που απευθύνονται στο μέσο χρήστη. Βέβαια δεν απουσιάζουν και τα μειονεκτήματα όπως η ευαισθησία των συσκευών και οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Οι περιορισμένες τεχνολογίες καταναλώνουν, βέβαια, λιγότερη ενέργεια αλλά έχουν χαμηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων (Lee & Park, 2013).

Γίνεται πλέον αντιληπτό πως η εξέλιξη των ψηφιακών εργαλείων οδηγεί αβίαστα σε μια πιο λειτουργική και απλοποιημένη καθημερινότητα αλλά υποστηρίζει ταυτόχρονα και το έργο της επιστήμης. Προβλέπεται ότι μέχρι το 2027 η παγκόσμια αγορά για έξυπνες πλατφόρμες που αφορούν την εξυπηρέτηση των πόλεων θα φτάσει τα 755 εκατομμύρια δολάρια. Εταιρείες όπως η Nokia, η Microsoft και η Cisco συναγωνίζονται με στόχο να παρέχουν φιλόδοξα αστικά έργα με πολυεπίπεδες λύσεις που να καλύπτουν μια ποικιλία συνδεδεμένων υπηρεσιών, από την παρακολούθηση βίντεο και την κοινωνική δικτύωση μέχρι τη στάθμευση και την περιβαλλοντική παρακολούθηση (Internet of business, 2022).



Εικόνα 2: Τομείς εφαρμογών IoT σε μια έξυπνη πόλη, Πηγή: (Internet of business, 2022)

2.6 Big Data

Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων αναφέρεται στην ενοποίηση εργαλείων, των τεχνικών και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο, τις αποφάσεις, τις αλλαγές, τη μοντελοποίηση, την ανάλυση, την επεξεργασία και την ερμηνεία για σημαντικά μεγάλες ποσότητες ετερογενών δεδομένων. Για την ανάλυση αυτών των μεγάλων δεδομένων απαιτείται λογισμικό προηγμένων εφαρμογών και δυνατοτήτων. Μέσα από την επεξεργασία σε υπολογιστικά συστήματα διαμορφωμένα για την επεξεργασία τόσο σύνθετων δεδομένων λαμβάνει χώρα η μετατροπή των καταγραφών σε ουσιαστική γνώση. Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό αν αναλογιστεί κανείς πως η πληροφορία δε θα είχε καμία δύναμη αν δεν ήταν δυνατή η επεξεργασία και απόρροια μέσα από αυτήν. Σε τόσο μεγάλο εύρος θα ήταν απλά υποεκτίμηση των πόρων αν δεν υπήρχε πιο συστηματική χρήση των δεδομένων. Όντως οι αναλύσεις των στοιχείων αυτών δε στοχεύουν απλά στην ταυτόχρονη εκτίμηση δεδομένων αλλά στην ανακάλυψη των συσχετίσεων, των μοτίβων λειτουργίας, των «αλγόριθμων» που υπάρχουν πίσω από τις καιρικές, τις περιβαλλοντικές, τις μηχανικές, ακόμη και τις παρατηρήσεις συμπεριφοράς. Η αλήθεια είναι πως η ανάλυση μεγάλων δεδομένων χρησιμοποιείται ευρέως και στις πιο άμεσα ανθρωπιστικές επιστήμες χωρίς βέβαια να σημαίνει ότι η χρήση είναι περιορισμένη σε άλλους τομείς. Κάθε επιστήμη αντλεί, χρησιμοποιεί και επεξεργάζεται τα δεδομένα που μπορεί να φανούν χρήσιμα για τη βελτίωση ή την αλλαγή

λειτουργιών, στρατηγικών, πρακτικών και υπηρεσιών που ωφελούν τους ανθρώπους (Bibri & Krogstie, 2017b). Οι πολιτικοί μηχανικοί, μέσω του Big Data και του μεγάλου όγκου πληροφοριών που διαθέτουν, μπορούν να σχεδιάζουν μεγάλα έργα υποδομών αποφεύγοντας όμως τα παλαιότερα απρόβλεπτα προβλήματα. Για παράδειγμα, για την κατασκευή ενός νέου αυτοκινητόδρομου, έχοντας συλλέξει τα δεδομένα, μπορούν να υπολογίσουν τη χρήση που θα γίνεται από τους πολίτες και να σχεδιαστεί καταλλήλως ώστε να εξυπηρετούνται βέλτιστα και χωρίς καθυστερήσεις.

Οι τεχνικές και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση μεγάλων δεδομένων βελτιώνουν τις υπάρχουσες μεθόδους που είχαν αναπτυχθεί από την επιστήμη των μαθηματικών, της στατιστικής και της πληροφορικής για την ανάλυση δεδομένων. Στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί λογισμικά ικανά να χειριστούν και να επεξεργαστούν ακραίο όγκο δεδομένων με μεγάλη ποικιλία παρατηρούμενων τύπων μέσα σε χρονικούς περιορισμούς που φαντάζουν αδιανόητοι. Οι τρέχουσες μέθοδοι για την ανάλυση δεδομένων, όπως οι αλγόριθμοι εξαγωγής δεδομένων, είναι ακατάλληλες για το χειρισμό μεγάλων δεδομένων, επειδή έχουν σχεδιαστεί για να αντιμετωπίζουν περιορισμένα και σαφώς καθορισμένα σύνολα δεδομένων (Wu, Zhu, Wu, & Ding, 2014).

Η επεξεργασία αυτών των μεγάλων δεδομένων στηρίζει την τεχνητή νοημοσύνη που αποτελεί την πιο καινοτόμο μέθοδο χρήσης της τεχνολογικής εξέλιξης. Το κόστος, τα λανθασμένα δεδομένα, η αδυναμία επεξεργασίας εικόνων και βίντεο και οι απαιτήσεις σε επιστημονικούς πόρους για την εξέλιξη και την πλήρη εφαρμογή αυτού του εργαλείου αποτελούν τροχοπέδη. Ωστόσο, η αυτοματοποίηση στην εξαγωγή συμπερασμάτων από μεγάλο όγκο δεδομένων μπορεί να στηρίζει την επιστήμη της μηχανικής καθώς η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης σε μηχανικά συστήματα είναι εφικτή. Για παράδειγμα η επεξεργασία δεδομένων των έξυπνων κτιρίων σε μια πόλη είναι μεγάλος όγκος δεδομένων όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός των κτιρίων με έξυπνο χαρακτηρισμό. Οι μηχανές ωστόσο θα ήταν ικανές να αντιληφθούν και να παρέμβουν σε προβλήματα υδροδότησης, αποχέτευσης, ηλεκτροδότησης και ενεργειακής εξισορρόπησης. Κάτι τέτοιο βέβαια απαιτεί μεγάλη αξιοπιστία για την εφαρμογή και υποδομές και λογισμικά συστήματα που ακόμη δεν έχουν διαμορφωθεί κατάλληλα. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων είναι ακόμη σε στάδιο βελτίωσης και έχει περιθώρια για εξέλιξη και πρακτική εφαρμογή (Verma, Agrawal, Patel, & Patel, 2016).

2.7 Ψηφιακή Πόλη (Digital Twin)

Σε παράλληλη ανάπτυξη με την επεξεργασία μεγάλων δεδομένων και το IoT, έχει αναπτυχθεί και το λεγόμενο στα ελληνικά «ψηφιακό δίδυμο». Το digital twin είναι το εργαλείο που μέσα από τη χρήση πολλών δεδομένων και τη συνέργεια μηχανών δημιουργεί πίνακες, γραφήματα, μακέτες προσομοίωσης τμημάτων του πραγματικού κόσμου, τρισδιάστατα (3D) μοντέλα και δισδιάστατους (2D) χάρτες. Η αποτελεσματική οπτικοποίηση απαιτεί συστήματα διαχείρισης δεδομένων με συγκεκριμένες προδιαγραφές ικανά να χρησιμοποιήσουν ετερογενή δεδομένα. Ασφαλώς, στόχος είναι η ανάπτυξη αποτελεσμάτων που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τους σκοπούς που κατασκευάστηκαν. Αυτό απαιτεί ακρίβεια και συνέπεια που δεν επιτρέπει λάθη καθώς οι αστοχίες μπορεί να δημιουργήσουν σφάλματα που θα στοιχίζουν ανθρώπινες ζωές. Για παράδειγμα, η τρισδιάστατη λανθασμένη οπτικοποίηση μια βιομηχανικής εγκατάστασης μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένο χειρισμό μηχανημάτων και να προκληθούν ατυχήματα (El Saddik, 2018).

Η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι ομάδες διαχείρισης πόλεων στις λειτουργίες πόλεων που βασίζονται σε δεδομένα είναι να αντλήσουν αξία από τον αυξανόμενο όγκο, την ταχύτητα και την ποικιλία δεδομένων — Big Data. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, οι επιστήμονες που ασχολούνται με τη δημιουργία, τη συντήρηση και τη διαχείριση μιας πόλης δημιουργούν τα μοντέλα δεδομένων που μπορούν να απεικονίσουν τις πολύπλοκες λειτουργίες της πόλης σε πραγματικό χρόνο. Ο Δρ. Michael Grieves, ένας από τους πρωτοπόρους της ιδέας, ορίζει ότι τα ψηφιακά δίδυμα έχουν τρία μέρη: τα φυσικά προϊόντα σε πραγματικό χώρο, τα εικονικά προϊόντα σε εικονικό χώρο και τα συνδεδεμένα δεδομένα που συνδέουν το φυσικό και το εικονικό μαζί (Nazir, 2020).

Οι νέες τεχνικές οπτικοποίησης δεδομένων επιτρέπουν τόσο στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων όσο και στους πολίτες να συμμετέχουν στον έξυπνο αστικό σχεδιασμό. Μια εφαρμογή είναι η καθηλωτική πλατφόρμα οπτικοποίησης που επιτρέπει στους πολίτες να παίρνουν μέρος σε μια δημοτική εκδήλωση χωρίς φυσική παρουσία αλλά από την άνεση του σπιτιού τους. Οι μόνιμοι κάτοικοι αλλά και οι τουρίστες μπορούν να αυξήσουν την εμπειρία εξερεύνησης των δημόσιων υποδομών μέσω της χρήσης του συγκεκριμένου εργαλείου. Ακόμη, υπάρχουν και γραφήματα εκτίμησης και ενημέρωσης της αστικής κίνησης ώστε να περιοριστεί η συγκέντρωση οχημάτων και η καθυστέρηση στους αστικούς δρόμους (Rashid, Melià-Seguí, Pous, & Peig, 2017).

Μια έξυπνη ψηφιακή δίδυμη πόλη βασίζεται σε μια σειρά επιπέδων δεδομένων που δημιουργούνται το ένα πάνω στο άλλο, προσθέτοντας πληροφορίες σχετικά με το έδαφος, τα κτίρια, την υποδομή, την κινητικότητα και τις συσκευές IoT. Το ψηφιακό δίδυμο χρησιμοποιεί τα δεδομένα που δημιουργούνται στο επίπεδο εικονικής έξυπνης πόλης για να εκτελέσει πρόσθετες προσομοιώσεις. Αυτές οι πληροφορίες ανατροφοδοτούνται μέσω των στρωμάτων του μοντέλου με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά τα αποτελέσματα αν η εφαρμογή γίνει στον φυσικό κόσμο (HURTADO & GOMEZ, 2021).

ΕΠΙΠΕΔΟ 5

Χρήση δεδομένων από το επίπεδο 4 για προσομοίωση

ΕΠΙΠΕΔΟ 4

Συλλογή δεδομένων από τα επίπεδα 0 έως 3 (από αισθητήρες, διαδίκτυο των πραγμάτων, συνδεδεμένες συσκευές κ.α.) για την διαχείριση και παρακολούθηση συστημάτων και υπηρεσιών

ΕΠΙΠΕΔΟ 3

Μετακίνηση των πολιτών και των αγαθών μέσα στην πόλη

ΕΠΙΠΕΔΟ 2

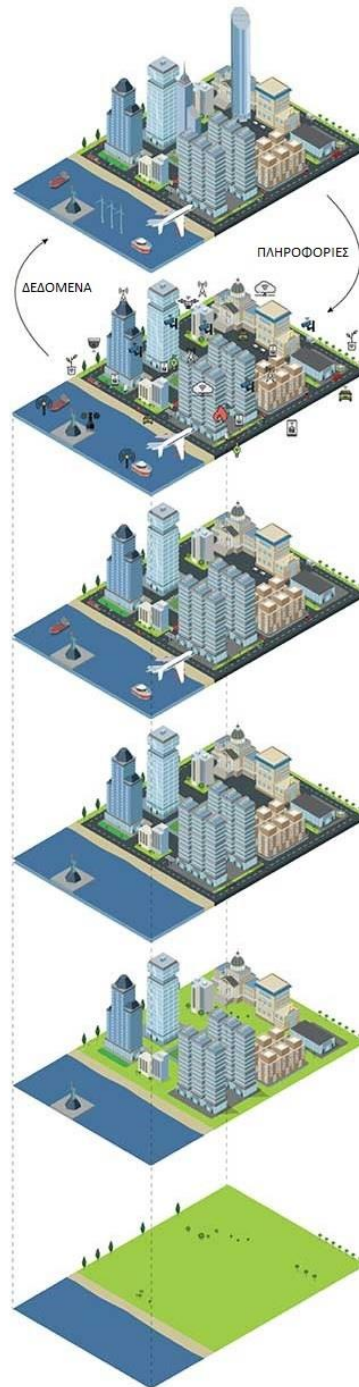
Βασικές φυσικές δομές, οργανώσεις και εγκαταστάσεις

ΕΠΙΠΕΔΟ 1

Υπάρχοντα κτήρια στην πόλη

ΕΠΙΠΕΔΟ 0

Έδαφος και βασικές πληροφορίες για την πόλη



ΕΠΙΠΕΔΟ 5

ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΔΥΜΗ ΠΟΛΗ

ΕΠΙΠΕΔΟ 4

ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΞΥΠΝΗ ΠΟΛΗ

ΕΠΙΠΕΔΟ 3

ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ

ΕΠΙΠΕΔΟ 2

ΥΠΟΔΟΜΕΣ

ΕΠΙΠΕΔΟ 1

ΚΤΗΡΙΑ

ΕΠΙΠΕΔΟ 0

ΕΔΑΦΟΣ

Εικόνα 3: Δημιουργία ψηφιακής διδύμης πόλης με εφαρμογή πληροφοριών ανά επίπεδα, Πηγή: (White, Zink, Codecá, & Clarke, 2021)

2.8 Blockchain

Το Blockchain προσφέρει μια πλατφόρμα για ψηφιακές συναλλαγές και εφαρμογές που μπορούν να προχωρήσουν χωρίς τη χρήση αξιόπιστου ενδιάμεσου μέρους όπως ένα

τραπεζικό ίδρυμα. Το εργαλείο παρέχει ένα αξιόπιστο αποκεντρωμένο δίκτυο ηλεκτρονικών πληρωμών μετρητών peer-to-peer με ελάχιστο κόστος συναλλαγής. Ασφαλώς η εμπιστοσύνη που προσφέρουν οι παραδοσιακές οδοί αξιόπιστων συναλλαγών δεν τίθεται στο περιθώριο ούτε υποβαθμίζεται. Η αντιστάθμιση της εμπιστοσύνης γίνεται μέσα από την κρυπτογραφική απόδειξη και την κωδικοποίηση των δεδομένων με τρόπο που να μην ανιχνεύονται. Η διασφάλιση βασίζεται στον κατακερματισμό που προσφέρει στις μετακινούμενες πληροφορίες ένας αλγόριθμος ειδικής κατασκευής (Nakamoto, 2008). Οι πολιτικοί μηχανικοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν την πλατφόρμα αυτή για να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων μια πόλης.

Πλέον η τεχνολογία blockchain μπορεί να εφαρμοστεί οπουδήποτε, ιδιαίτερα όπου χρειάζεται μια αλυσίδα εμπιστοσύνης. Έτσι, αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμο για έξυπνες πόλεις. Αυτό συμβαίνει καθώς οι πόλεις έχουν μια πληθώρα δραστηριοτήτων και καλύπτουν υπηρεσίες που εξυπηρετούν πολίτες όλων των ηλικιών και όλων των οικονομικών επιπέδων. Μια έξυπνη πόλη μπορεί να ευνοηθεί από τη συγκεκριμένη τεχνολογία ως εξής (Joshi, 2022):

Βελτιωμένη ασφάλεια στον κυβερνοχώρο

Τα εγκλήματα στον κυβερνοχώρο αυξάνονται μέρα με τη μέρα. Έχει εκτιμηθεί ότι τα εγκλήματα στον κυβερνοχώρο θα κοστίσουν στις εταιρείες περίπου 10 τρισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2025. Το blockchain μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμο εργαλείο στη μείωση του κινδύνου επιθέσεων στον κυβερνοχώρο. Τόσο η ασφάλεια στα IoT όσο και η ακεραιότητα των λήψεων λογισμικού και των ενημερώσεών τους μπορούν να θωρακιστούν μέσα από αυτή την τεχνολογία.

Ενίσχυση της υγειονομικής περίθαλψης

Το Blockchain έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης και ήδη εφαρμόζεται ως εργαλείο με πολλούς τρόπους. Το blockchain χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός κατακερματισμένου συστήματος για τα αρχεία υγείας των ασθενών και για τη διαφάνεια στις αλυσίδες εφοδιασμού φαρμάκων, καθώς και για τη διαχείριση της εκδήλωσης επιδείνωσης των ασθενειών. Καθώς αυξάνεται η υιοθέτηση του blockchain, ολόκληρη η διαδικασία διάγνωσης και θεραπείας, συμπεριλαμβανομένων των χρηματοοικονομικών συναλλαγών, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ενός blockchain.

Καλύτερη διαχείριση απορριμμάτων

Το blockchain μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση ενός καθαρού περιβάλλοντος και υψηλής υγιεινής στις έξυπνες πόλεις. Μπορεί να παρέχει παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο διαφόρων πτυχών που σχετίζονται με τη διαχείριση απορριμμάτων. Για παράδειγμα, μπορεί να παρέχει διαφανείς, αμετάβλητες πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα των απορριμμάτων που συλλέγονται, ποιος τα συνέλεξε και πώς τα απόβλητα ανακυκλώνονται ή απορρίπτονται.

Απλοποίηση των διαδικασιών εκπαίδευσης

Μία από τις καλύτερες περιπτώσεις χρήσης του blockchain για έξυπνες πόλεις είναι η απλοποίηση των εκπαιδευτικών διαδικασιών. Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα έχουν να αντιμετωπίσουν έναν τεράστιο όγκο δεδομένων μαθητών. Ομοίως, η μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των πολλαπλών εκπαιδευτικών ιδρυμάτων γίνεται κουραστική και χρονοβόρα. Με την τεχνολογία αυτή η διαχείριση των δεδομένων, ο έλεγχος και η μείωση των πλαστών εγγράφων και της απάτης θα αποτελέσουν χαρακτηριστικά μιας πραγματικά έξυπνης πόλης.

Αύξηση της εξοικονόμησης ενέργειας

Πέρα από την ανάπτυξη τρόπων συναλλαγής που δε θα περιλαμβάνει μεσάζοντες, η τεχνολογία αυτή έχει επεκταθεί στην διαπραγμάτευση χρηματοπιστωτικών προϊόντων, με τις υποδομές να αποτελούν χώρο ανάπτυξης τέτοιων πακέτων. Σε γενικές γραμμές, η τεχνολογία Blockchain αφορά πλήθος κλάδων συμπεριλαμβανομένης της επιστήμης των υπολογιστών, της οικονομίας, της οικολογίας, της διαχείρισης φυσικών πόρων, της ενέργειας, κ.ά. Για παράδειγμα, το δικαίωμα ρύπων από βιομηχανίες που σχετίζονται με τη μηχανική και την έξυπνη πόλη είναι προς διαπραγμάτευση για την ανταπόκριση στις παραγωγικές απαιτήσεις. Αυτό δημιουργεί ανησυχία για την παγκόσμια κατανάλωση φυσικών πόρων, την κλιματική αλλαγή και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος (Truby, 2018).

Αποτελεσματική Κινητικότητα

Το Blockchain μπορεί να βοηθήσει στις υπηρεσίες μεταφορών σε έξυπνες πόλεις. Μπορεί να συμβάλλει στη δημιουργία ενός δικτύου οχημάτων. Ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να επιτρέψει την αποτελεσματική παρακολούθηση οχημάτων, να παρέχει μια ασφαλή πλατφόρμα για την εγγραφή οχημάτων και οδηγών και να ειδοποιεί τους ιδιοκτήτες για βασικές ενημερώσεις. Για παράδειγμα, η χρήση blockchain για έξυπνες πόλεις μπορεί να

βοηθήσει στη δημιουργία ασφαλούς παρακολούθησης δεδομένων κατόχων οχημάτων με στόχο την αποφυγή κλοπών και τη βελτίωση της διαδικασίας πώλησης και μεταπώλησης οχημάτων.



Εικόνα 4: Τομείς εφαρμογής του Blockchain σε έξυπνες πόλεις, Πηγή: (Joshi, 2022)

Κεφάλαιο 3^ο

Συστήματα Υποδομών Στις Έξυπνες Πόλεις

Η μέχρι τώρα ανάλυση έχει δημιουργήσει ένα υπόβαθρο σχετικά με τις νέες τεχνολογίες στον τομέα της μηχανικής και των κατασκευών. Αυτό μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην παρακολούθηση του παρόντος κεφαλαίου που ουσιαστικά συνδέει τις καινοτομίες και τα εργαλεία που παρουσιάστηκαν παραπάνω με τους διαφορετικούς τομείς ενασχόλησης ενός πολιτικού μηχανικού. Πιο αναλυτικά, τα διάφορα συστήματα μιας πόλης ή ενός κτηρίου μπορούν να αφομοιώσουν τις τεχνολογικές εξελίξεις και να μετατραπούν σε πραγματικά «έξυπνα περιβάλλοντα», ικανά να βελτιώσουν την εμπειρία όσων δραστηριοποιούνται σε αυτά. Καθώς η εργασία εστιάζει στην έξυπνη πόλη, υπάρχει στην αρχή μια ανασκόπηση του συγκεκριμένου όρου και έπειτα ακολουθεί η ανάλυση κάθε συστήματος ξεχωριστά.

Οριοθέτηση «Έξυπνης Πόλης»

Οι πολιτικοί μηχανικοί έχουν ένα μεγάλο εύρος εργασιακής εφαρμογής της επιστήμης που σπούδασαν. Γενικά ασχολούνται με τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την συντήρηση τεχνιτών και φυσικών έργων σε αστικές και μη περιοχές. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνουν και ενισχύουν την ποιότητα της ζωής καθώς τα έργα τους είναι απαραίτητα για την παροχή νερού και φαγητού, την αποτελεσματική αποχέτευση και τις ασφαλείς μετακινήσεις μεταξύ άλλων. Οι εξελίξεις όπως η παγκοσμιοποίηση, η βιωσιμότητα, οι νέες τεχνολογίες και η πολυπλοκότητα των έργων παρ' όλα αυτά επιβάλλουν την αλλαγή του τρόπου με τον οποίο εφαρμόζεται ο κατασκευαστικός κλάδος. Επομένως, είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν οι νέες τακτικές έχοντας ως προτεραιότητα την δημιουργία εξυπνότερων και αποτελεσματικότερων έργων τα οποία στο σύνολό τους θα συνθέσουν εξυπνότερα και αποτελεσματικότερα συστήματα τα οποία με τη σειρά τους συνθέτουν εξυπνότερες και αποτελεσματικότερες πόλεις. Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο να ορίσει την συμβολή του πολιτικού μηχανικού σε μια έξυπνη πόλη και για τον λόγο αυτό προκύπτει η ανάγκη να οριστεί τι ακριβώς περιλαμβάνει ο όρος «έξυπνη πόλη». Μέχρι σήμερα δεν έχει οριστεί ένας ομόφωνα αποδεκτός ορισμός του όρου. Υπάρχει ένα πλήθος ερμηνειών στις οποίες γίνονται καθημερινά τροποποιήσεις αλλά εξακολουθεί να υπάρχει ασάφεια ως ένα βαθμό στον ορισμό της έξυπνης πόλης.



Εικόνα 5. Τα στοιχεία μιας έξυπνης πόλης. Πηγή: Gunderman (2019)

Οι Caragliu, etc (2011) κατέληξαν ότι τα χαρακτηριστικά μιας έξυπνης πόλης είναι τα παρακάτω έξι:

- Η χρήση δικτυωμένης υποδομής για τη βελτίωση της οικονομικής και πολιτικής αποδοτικότητας και της κοινωνικής, πολιτιστικής και αστικής ανάπτυξης.
- Η υποκείμενη έμφαση στην αστική ανάπτυξη υπό την καθοδήγηση των επιχειρήσεων.
- Η έμφαση στο στόχο της κοινωνικής ένταξης διαφόρων αστικών κατοίκων στις δημόσιες υπηρεσίες.
- Η έμφαση στον κρίσιμο ρόλο των βιομηχανιών υψηλής τεχνολογίας και δημιουργίας στη μακροπρόθεσμη αστική ανάπτυξη.
- Η βαθιά προσοχή στον ρόλο του κοινωνικού και σχεσιακού κεφαλαίου στην αστική ανάπτυξη.
- Η κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα ως ένα σημαντικό στρατηγικό στοιχείο των έξυπνων πόλεων.

Αξίζει να αναφερθεί και η μελέτη που τονίζει την ποικιλομορφία του όρου. Πιο συγκεκριμένα, έχει τονιστεί πως η έξυπνη πόλη δεν διαθέτει κοινό ορισμό και, ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να εντοπιστούν κοινές συνιστάμενες για τον προσδιορισμό της. Στην ουσία, υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για την προσέγγιση του θέματος (Bibri & Krogstieb, 2017):

- Η προσέγγιση προσανατολισμένη στην τεχνολογία και στην Τεχνολογία Πληροφοριών και Επικοινωνίας (Information and Communications Technology)
- Η προσέγγιση προσανατολισμένη στους ανθρώπους.

Συγκεκριμένα, υπάρχουν έξυπνες στρατηγικές πόλεων που εστιάζουν στην αποτελεσματικότητα και την πρόοδο των λεγόμενων «σκληρών» υποδομών και της τεχνολογίας δηλαδή τις μετακινήσεις, την ενέργεια, την επικοινωνία, τα απόβλητα, το νερό κ.λπ. μέσω ΤΠΕ. Αντίστοιχα οι στρατηγικές που εστιάζουν στις «μαλακές» υποδομές και τους ανθρώπους σχετίζονται με το κοινωνικό και ανθρώπινο κεφάλαιο δηλαδή τη γνώση, τη συμμετοχή, τη δικαιοσύνη, την ασφάλεια και ούτω καθεξής.

Σύμφωνα με τους Mircea Eremia, etc (2016) η ευφυΐα της πόλης παρέχεται από ένα σύνολο φυσικών και νομοθετικών υποδομών που στηρίζουν την οικονομική ανάπτυξη, διασφαλίζουν την κοινωνική ένταξη και επιτρέπουν την προστασία του περιβάλλοντος.

Αξίζει να αναφερθεί και η άποψη ότι περισσότερο και πάνω από όλα οι έξυπνες πόλεις απαιτούν ηγέτες με μακροπρόθεσμο όραμα και ανθρώπους αφοσιωμένους στη συνεργασία. Πολλά πρακτορεία, σύμβουλοι, και ιδιωτικές εταιρείες έχουν παρακολουθήσει την ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων και συμφώνησαν να αναγνωρίζουν από κοινού 8 βασικά στοιχεία τα οποία συνθέτουν μια έξυπνη πόλη. Τα στοιχεία αυτά είναι (Kosowatz, 2020):

1. Η μετακίνηση
2. Η υγειονομική περίθαλψη
3. Η ασφάλεια
4. Η ύδρευση
5. Η παροχή ενέργειας
6. Η εμπλοκή της κοινότητας
7. Η οικονομική ανάπτυξη και η στέγαση
8. Η διαχείριση των αποβλήτων.

Είναι προφανές ότι ο όρος «έξυπνη πόλη» έχει απασχολήσει και ακόμα απασχολεί πληθώρα επιστημόνων και αυτό μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό με μια απλή διαδικτυακή αναζήτηση του όρου κατά την οποία προκύπτει πλήθος ορισμών. Ένα επαναλαμβανόμενο θέμα που εμφανίζεται συχνά στους ορισμούς αυτούς όμως είναι ότι οι έξυπνες πόλεις αποτελούν αστικές περιοχές των οποίων οι ψηφιακές δυνατότητες δημιουργούν αξία. Τρεις βασικές ψηφιακές δυνατότητες που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία αξιών στις έξυπνες πόλεις είναι:

- 1) Η αυξημένη διαθεσιμότητα των δεδομένων,
- 2) Η καλύτερη συνδεσιμότητα και
- 3) Η μεγαλύτερη δύναμη επεξεργασίας των δεδομένων.

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα αναλυθεί αυτή η τριλογία μεταβλητών για τις διάφορες πτυχές μιας έξυπνης πόλης όπως οι μεταφορές, τα υδατικά και γεωτεχνικά συστήματα, τα στερεά απόβλητα, η ενέργεια και ο αέρας.

Συστήματα Υποδομών

3.1 Μεταφορές

Ένα σύστημα αστικών μεταφορών περιλαμβάνει σε γενικές γραμμές τους αυτοκινητόδρομους, τα μονοπάτια χωρίς διέλευση αυτοκινούμενων, τις σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις, τα αεροδρόμια, τις δημόσιες αστικές και υπεραστικές μεταφορές, τα ιδιωτικά και επαγγελματικά μηχανοκίνητα και κάθε άλλη υπηρεσία μεταφοράς. Οι αισθητήρες, το διαδίκτυο και η κοινή χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο βελτιώνοντας τις διαδικασίες, ελαχιστοποιώντας τους απαιτούμενους χρόνους για την εκτέλεση διεργασιών και μειώνοντας τα λάθη και τις αστοχίες. Κάθε στοιχείο του συστήματος λαμβάνει χώρα κόμβου σε IoT και το σύνολο του συστήματος μετατρέπεται σε γόνιμο έδαφος για την εφαρμογή έξυπνων τεχνολογιών. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η ασφάλεια μεταφορών εμπορευμάτων και ανθρώπων, οι ρύποι, η διαχείριση του στόλου των διάφορων μεταφορικών μέσων και ο εκσυγχρονισμός των εγκαταστάσεων είναι ορισμένοι από τους τομείς των μεταφορών που βελτιώνονται μέσα από τις νέες τεχνολογίες (Mihyeon & Amekudzi, 2005).

Σχετικά με τους αυτοκινητόδρομους και τις οδικές μεταφορές, ένα πολύ δημοφιλές είδος μετακίνησης στο αστικό πλαίσιο, οι νέες τεχνολογίες σχετίζονται τόσο με τη λειτουργία

του οχήματος όσο και με τη λειτουργικότητα του αυτοκινητόδρομου. Πιο αναλυτικά, ένα έξυπνο όχημα μπορεί να διαθέτει αισθητήρες, IoT και αυτοματισμούς. Το GPS παρέχει πληθώρα πληροφοριών σχετικά με την ορθότερη επιλογή διαδρομής, τον εκτιμώμενο χρόνο άφιξης, την κίνηση, τα χαρακτηριστικά του δρόμου όπως κλίση, σήμανση, κ.ά. Ο οδηγός έχει, επίσης, μια ενημέρωση σχετικά με την κατανάλωση του οχήματος, την επιτάχυνση, την ταχύτητα και τους τρόπους πιο οικολογικής οδήγησης. Το σύστημα μπορεί ακόμη να καταγράψει και τα χαρακτηριστικά των οδηγών όπως τους επικίνδυνους ελιγμούς, την τήρηση των ορίων ταχύτητας, το φρενάρισμα, τη διαχείριση στροφών, την επιλογή οικολογικής οδήγησης και άλλα (Ahmed, Xu, Roupail, & Karr, 2019b). Η εξέλιξη είναι τόσο μεγάλη πια που μπορεί ένα έξυπνο όχημα να «επιβάλλει» στον οδηγό τον τρόπο πλοήγησης. Πιο αναλυτικά, οι αισθητήρες εξόδου από τον αυτοκινητόδρομο προκαλούν δόνηση στο τιμόνι και επαναφορά και το αυτόματο παρκάρισμα αποτρέπει την κίνηση σε απόσταση επικίνδυνη για την ακεραιότητα του οχήματος. Άξιο αναφοράς είναι και το σύστημα αυτόματης επιβολής των ορίων ταχύτητας που εφαρμόζεται ήδη σε 142 κοινότητες στις ΗΠΑ καθώς και σε διάφορες πόλεις στον Καναδά, την Ευρώπη, την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία, χρησιμοποιώντας τεχνικές όρασης υπολογιστή (National Transportation Safety Board, 2017).

Σχετικά με τον αυτοκινητόδρομο τα συστήματα ελέγχου περιλαμβάνουν τη δυνατότητα μεταβλητότητας στα όρια ταχύτητας, την απόκριση των οδηγών στις οδηγίες, την ενημέρωση για την ποιότητα του οδικού δικτύου, την επισήμανση των βλαβών και την ενημέρωση του τεχνικού. Ο συντονισμός μεταξύ διαφορετικών φορέων, όπως ο συντηρητής δικτύου, ο χειριστής δικτύου και ο διαχειριστής δικτύου, είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του χρόνου απόκρισης που σχετίζεται με τη διαχείριση περιστατικών (Steenbruggen, Kusters, & Broekhuizen, 2012).

Τέλος, τεχνολογία αυτόνομων οχημάτων έχει επίσης εξελιχθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Η τεχνολογία αυτόνομου οχήματος συνδυάζει πολλαπλούς αισθητήρες, όπως τα συστήματα καμερών, τις ραδιοφωνικές ή διαδικτυακές εφαρμογές (υποβοήθηση στάθμευσης ή στάσης, αυτόματος έλεγχος απόστασης, κ.ά.) και τα διάφορα σύστημα ανίχνευσης με αλγόριθμους στοχεύοντας στην ανάλυση δεδομένων. Η αυξανόμενη αυτοματοποίηση στην οδήγηση, όπως το αυτόνομο cruise control, το υποβοηθούμενο σύστημα διεύθυνσης και ο ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας, απαιτούν το συντονισμό πολλών αισθητήρων και ενεργοποιητών που ουσιαστικά δημιουργούν πάνω στο όχημα ένα σύστημα τεχνολογικής επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών. Ο συνδυασμός αυτοματισμού οχημάτων και

συνδεσιμότητας αναμένεται να οδηγήσει σε βελτιώσεις στον χρόνο ταξιδιού, την ασφάλεια και την εξοικονόμηση ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό υποβοηθάται και ενισχύεται ο μέσος οδηγός αλλά ταυτόχρονα παρέχεται η δυνατότητα για χρήση των αυτοκινούμενων ίδιας ή επαγγελματικής χρήσης από ηλικιωμένους ή πληθυσμό με ειδικές ανάγκες (Amditis, Lytrivis, & Portouli, 2012).

Σχετικά με τα μονοπάτια, τους πεζόδρομους και τους ποδηλατοδρόμους η τεχνολογία έχει κάνει βήματα προς την εξυπηρέτηση, την ενημέρωση και την περιβαλλοντική ευαισθησία. Πιο αναλυτικά, οι ποδηλάτες μπορούν να ενημερώνονται για την κίνηση, τη διαθεσιμότητα χώρου στάθμευσης, την ενοικίαση ποδηλάτου, την αυτόματη πληρωμή, τις ποδηλατικές διαδρομές και πλήθος άλλων ζητημάτων που τους απασχολούν. Το ποδήλατο έχει ήδη κατακτήσει την κουλτούρα αρκετών αστών στην Ευρώπη αλλά και όλο τον κόσμο με την Γαλλία να έχει επιτύχει 75.000 ποδηλάτες ημερησίως μέσω του επιχειρηματικού φαινομένου «Velib» (Midgley, 2009). Μέσα την φιλική προς το περιβάλλον πολιτική είναι ασφαλώς και η μετακίνηση με τα πόδια. Οι έξυπνοι διάδρομοι έχουν προσφέρει τη δυνατότητα μετακίνησης σε άτομα που έχουν δυσκολία όπως ηλικιωμένοι ή άτομα σε αμαξίδια. Τέλος, η PAVE-GEN ανέπτυξε μια τεχνολογία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την κινητική ενέργεια που παράγεται από τους πεζούς όταν περπατούν στην Bird Street στο Λονδίνο (Knowles, 2018).

3.2 Υδατικά Συστήματα

Τα συστήματα υδάτων σχετίζονται με την υδροδότηση, την αποχέτευση και τη διαχείριση υδάτων μεγάλης κλίμακας. Το ζήτημα του νερού στις πόλεις και η προσπάθεια για μετατροπή αυτών σε έξυπνες είναι μια πραγματική πρόκληση καθώς οι περισσότερες πόλεις είναι ηλικίας εμφανώς μεγαλύτερης από την αυτή της τεχνολογικής εξέλιξης. Αυτό σημαίνει ότι στο σύστημα υδροδότησης και αποχέτευσης έχει δημιουργηθεί χωρίς τεχνολογικό υπόβαθρο και αυτό δυσκολεύει την εφαρμογή νέων τεχνολογιών. Η υποβάθμιση των υποδομών πόσιμου νερού υπόκειται σε διαρροές, δημιουργώντας ευπάθειες σε εισβολή ρύπων και απειλώντας τη δημόσια υγεία. Αυτός είναι και ο λόγος που οι πολιτικοί μηχανικοί εστιάζουν στο ζήτημα των υδάτων και καταβάλλουν προσπάθειες βελτίωσης των συστημάτων υδροδότησης που έχουν εμφανώς επιβαρυνθεί από την αύξηση του αστικού ιστού τις τελευταίες δεκαετίες (Vacs Renwick, Heinrich, Weisman, Arvanaghi, & Rotert, 2019).

Τα συστήματα υδάτων μιας έξυπνης πόλης περιλαμβάνουν αισθητήρες, ενεργοποιητές, επιστήμη των πολιτών και IoT. Οι αισθητήρες και η διαδικτυακή επικοινωνία συμβάλλουν κυρίως στη συλλογή πολύτιμων πληροφοριών όπως η ποιότητα, η σύσταση και η ροή του νερού. Αυτό το βήμα είναι κομβικής σημασίας καθώς δημιουργεί μια πλήρη εικόνα για την κατάσταση του εν λόγω συστήματος στην πόλη (Dong, Wang, Yan, Xu, & Zhang, 2015). Την κατάσταση ενισχύουν οι πολίτες που με εμπλουτισμό των παρατηρήσεων, επισημάνσεις, μετρήσεις και φωτογραφικό υλικό βοηθούν τους μηχανικούς και τους διοικούντες να κατανοήσουν την υφιστάμενη κατάσταση και να λάβουν αποφάσεις (Fienen & Lowry, 2012).

Οι ενεργοποιητές είναι εκείνοι που αναλαμβάνουν δράση σε περίπτωση που τα δεδομένα από τις παραπάνω τεχνολογίες αποδείξουν ότι απαιτείται παρέμβαση. Για παράδειγμα η ρύθμιση της στάθμης του νερού μπορεί να επιτευχθεί από ειδικές βαλβίδες που συντονίζουν τη ροή των υδάτων σε περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης και ουσιαστικά να αποφευχθεί ο κίνδυνος πλημμύρας. Το φαινόμενο αυτό έχει κατά καιρούς στοιχήσει πληθώρα ανθρώπινων ζωών σε διάφορα σημεία του πλανήτη και η τεχνολογία έρχεται να υποβοηθήσει το έργο των μηχανικών στην προσπάθειά τους να βελτιώσουν τη σύγχρονη πόλη (Mullarudi, Bartos, Wong, & Kerkez, 2018).

Αξίζει να αναφερθεί και η χρήση της τεχνολογίας για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας όπως οι δήμοι, οι νομαρχίες και άλλοι τοπικοί ή δημόσιοι οργανισμοί. Οι πολιτικοί μηχανικοί συχνά λειτουργούν ως γέφυρες ανάμεσα στις διοικήσεις των πόλεων και στους πολίτες καθώς δημιουργούν συστήματα που εξυπηρετούν και τις δύο πλευρές. Οι μετρητές σε οικιακές και επαγγελματικές εγκαταστάσεις παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την κατανάλωση, την απόδοση του συστήματος τις ώρες αιχμής αλλά και κατά τις λεγόμενες «νεκρές» ώρες, τις διαρροές και άλλες βλάβες. Με τον τρόπο αυτό ο λογαριασμός είναι ακριβής, αποφεύγονται οι απάτες και οι σπατάλες από το χρόνο ανάμεσα στο εντοπισμό μιας βλάβης και της αποκατάστασής της (March, Morote, Rico, & Saurí, 2017).

3.3 Στερεά Απόβλητα

Η διαχείριση στερεών αποβλήτων σε μια πόλη αποτελεί ζήτημα καίριας σημασίας καθώς η διαδικασία και το κόστος συλλογής των εν λόγω αποβλήτων είναι διαδικασία σύνθετη και απαιτητική. Επιπλέον, η διάθεση των αποβλήτων, ο τρόπος απόρριψής τους, ο διαχωρισμός ανάμεσα σε ανακυκλώσιμα και μη και η ενέργεια για την επαναχρησιμοποίηση και επεξεργασία είναι πραγματικές προκλήσεις όχι μόνο για την κατασκευαστική πλευρά αλλά και για τους ανθρώπους που ζουν και δημιουργούν απόβλητα στον αστικό ιστό. Αξίζει να

αναφερθεί πως η συλλογή απορριμμάτων αποτελεί έναν τομέα πρωταρχικής εστίασης καθώς αντιπροσωπεύει συνήθως το 50%-84% του συνολικού κόστους διαχείρισης απορριμμάτων (Jaunich, Levis, DeCarolis, Barlaz, & Ranjithan, 2019). Ασφαλώς το ζήτημα αυτό σχετίζεται με την υγεία και την καθαριότητα και θα μπορούσε να αποτελεί δείγμα κουλτούρας και πολιτικής της εκάστοτε τοπικής κοινωνίας.

Για άλλη μια φορά οι αισθητήρες και οι τεχνολογίες επικοινωνίας ενισχύουν τη φάρετρα των πολιτικών μηχανικών στη διαδικασία προσδιορισμού της βελτίωσης των διαχειριστικών διαδικασιών στερεών αποβλήτων. Οι αισθητήρες βάρους ή όγκου χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των αποβλήτων που πρέπει να συλλεχθούν και να δρομολογηθούν καταλλήλως. Κάμερες και μετρητές μπορούν να δώσουν δεδομένα όχι μόνο για το μέγεθος αλλά και για την ποιότητα των αποβλήτων μεταδίδοντας δεδομένα για τυχόν μολύνσεις ή επικίνδυνα αντικείμενα (Zvagelsky, 2019).

Παράλληλα, τα γεωγραφικά συστήματα πλοήγησης έχουν εμπλουτιστεί με πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία των κάδων και σε συνδυασμό με τις πληροφορίες όπως αναλύθηκαν παραπάνω βοηθούν στην περισυλλογή και την οργάνωση της παρουσίας των απορριματοφόρων στους πολυσύχναστους αστικούς αυτοκινητόδρομους (Anagnostopoulos, Kolomvatsos, Anagnostopoulos, Zaslavsky, & Hadjiefthymiades, 2015).

Τα δεδομένα σχετικά με τον όγκο και τη σύσταση των αποβλήτων συνδυάζονται, επίσης, με γεωπληροφοριακά συστήματα για την ενημέρωση σχετικά με τις τάσεις ανά περιοχή. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να ειπωθεί πως δομείται το προφίλ των οικισμών σε μια πόλη ώστε να είναι εφικτός ο εντοπισμός των κρίσιμων περιοχών με στόχο τη λήψη μέτρων, την εκπαίδευση και τη γενική διαχείριση του ζητήματος (Anagnostopoulos, Kolomvatsos, Anagnostopoulos, Zaslavsky, & Hadjiefthymiades, 2015).

3.4 Ποιότητα Αέρα

Η συζήτηση περί διαχείρισης περιβαλλοντικών ρύπων που δεν περιέχει την ανάλυση της ρύπανσης του αέρα είναι ελλιπής και ασθενική. Η ποιότητα του αέρα σχετίζεται με τη δημόσια ασφάλεια και την οικονομική ευημερία καθώς οι ασθένειες που προκύπτουν επιβαρύνουν το σύστημα υγείας. Η μοντελοποίηση της ποιότητας του αέρα, η ανίχνευση των ρύπων και η επεξεργασία των δεδομένων σχετικά με τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις απαιτούν τεχνογνωσία, επιστημονικές γνώσεις διάφορων κλάδων και συνέργεια μεταξύ

επαγγελματιών. Η μεγαλύτερη πρόκληση συνεχίζει να είναι η ποικιλία σχετικά με την μόλυνση του αέρα τόσο σε χωρικό όσο και σε χρονικό άξονα μελέτης. Με άλλα λόγια η μεταβλητότητα ανά περιοχή και ανά περίοδο απαιτεί μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις και περιορισμό των σφαλμάτων (USEPA, 2017).

Οι καινοτομίες έχουν χρησιμοποιηθεί στο συγκεκριμένο ζήτημα για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με την ποιότητα του αέρα σε μια έξυπνη πόλη. Αυτές οι πρόοδοι βοήθησαν στην κατασκευή αλγορίθμων χαρτογράφησης σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων ρύπων μέσω κινητών συσκευών ανίχνευσης και προσωπικής ανίχνευσης. Γίνεται, συνεπώς, κατανοητό πως οι αισθητήρες αλλά και η επιστήμη των πολιτών συμβάλλουν σημαντικά στην εκτίμηση της μόλυνσης του αέρα. Αξίζει να αναφερθεί πως πέρα από τις συνηθισμένες ρυπογόνες πηγές μπορεί να υπάρξουν και οι έκτακτες όπως μια πυρκαγιά. Σε αυτή την περίπτωση η εκτίμηση της επιβάρυνσης του αέρα είναι παράγοντας της πολιτικής στρατηγικής αντιμετώπισης των επιπτώσεων των πληγείσων περιοχών (Devarakonda, και συν., 2013).



Εικόνα 6: Παρακολούθηση ποιότητας αέρα σε μια έξυπνη πόλη, Πηγή: Poorna (2020)

Αξίζει να αναφερθεί πως συχνά χρησιμοποιούνται οι δημόσιες μεταφορές ως μέσο τοποθέτησης των αισθητήρων με στόχο την άντληση δεδομένων σε περιοχές μεγάλης κινητικότητας. Ασφαλώς απαιτούνται τεχνολογίες επικοινωνίας ώστε να αποστέλλονται τα

δεδομένα άμεσα και με αξιοπιστία. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για αποθηκευτικό χώρο και σύστημα επικοινωνίας που απαιτείται να προσαρμοστεί σε μέσο που δεν κατασκευάστηκε για τη συγκεκριμένη χρήση. Τα περιθώρια βελτίωσης είναι εμφανή χωρίς, ωστόσο, να σημαίνει ότι η κεντρική ιδέα υστερεί σε νόημα (Alvear, Calafate, Cano, & Manzoni, 2018).

3.5 Ενεργειακή Υποδομή

Το ενεργειακό ζήτημα είναι τόσο κοινό που σχεδόν κάθε πολίτης έχει επίγνωση της σημασίας και των τρωτών σημείων του. Τόσο σε επαγγελματικό όσο και σε οικιακό περιβάλλον δραστηριοποίησης οι κάτοικοι μιας πόλης έχουν έντονες ενεργειακές απαιτήσεις, με τα ανακύπτοντα ζητήματα να άπτονται τόσο στην παραγωγή όσο και στη διανομή του ηλεκτρικού φορτίου για την κάλυψη των αναγκών. Η ζήτηση σε συγκεκριμένες ώρες της μέρας έχει δημιουργήσει το λεγόμενο «ημερήσιο φόρτο αιχμής» που αποτελεί σοβαρό ζήτημα για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που ως αντικείμενο έχουν την ενέργεια. Ασφαλώς οι γεννήτριες είναι μια άμεση και αποδοτική λύση, ωστόσο το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος είναι μεγάλο (Deng, Yang, Chow, & Chen, 2015). Έτσι υπήρξε μια ανακατεύθυνση του ζητήματος της παραγωγής σε πιο εναλλακτικές μορφές πηγών ενέργειας όπως ο ήλιος, ο άνεμος και τα φυσικά υδατικά συστήματα. Δυστυχώς οι ανανεώσιμες αυτές πηγές ενέργειας είναι ασταθείς, διακοπτόμενες και αβέβαιες οδηγώντας στον κίνδυνο βλάβης του δικτύου διανομής και των συσκευών υποδοχής ρεύματος καθώς και σε συχνές διακοπές της ηλεκτροδότησης. Οι πολιτικοί μηχανικοί συνεχίζουν την προσπάθεια για μια μετατροπή του παραδοσιακού τρόπου παραγωγής ενέργειας μέσω των ορυκτών σε μια πιο φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία δημιουργίας ηλεκτρικού ρεύματος. Η πρόκληση είναι μεγάλη αλλά η αναγνώριση του περιβαλλοντικού και οικονομικού κόστους έχει οδηγήσει στη συνεχή ενασχόληση με το ζήτημα και στη συλλογική προσπάθεια μέχρι την επίτευξη ενός ποιοτικού και σταθερού αποτελέσματος (Zechman Berglund, και συν., 2020).

Ο τομέας της ενέργειας έχει αποτελέσει υποδοχέα τεχνολογικών εφαρμογών που συμβάλλουν στη ρύθμιση, τον έλεγχο και την ενημέρωση σχετικά με την αστική ηλεκτρική ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, οι αισθητήρες των δικτύων ελέγχουν τις απαιτήσεις και προσφέρουν βασικές πληροφορίες για τις ώρες αιχμής και τον όγκο της κατανάλωσης. Μέσα από αυτή τη διαδικασία δημιουργούνται από τις αντίστοιχες εταιρείες τα κίνητρα μειωμένης κατανάλωσης και η δυναμική τιμολόγηση. Επιπρόσθετα έχοντας διαθέσιμα το χρονοδιάγραμμα και τη γεωγραφική κατανομή των απαιτήσεων συχνά γίνεται και μετακύληση

των φορτίων από τις οικιστικές ζώνες προς τις επαγγελματικές για την εξισορρόπηση της ζήτησης (Zhang, και συν., 2011).

Όπως φαίνεται από τη μέχρι τώρα ανάλυση τα δεδομένα που προκύπτουν από τους αισθητήρες είναι ποικίλα και σχετίζονται με τη χρήση, τον όγκο, τη διανομή, το χρόνο και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του δικτύου ηλεκτροδότησης. Σύντομα δημιουργήθηκε η ανάγκη για κατάλληλη και υψηλού επιπέδου ανάλυση των διαθέσιμων πόρων πληροφορίας για την χάραξη πολιτικής στο θέμα της ενέργειας. Το τιμόνι δόθηκε δικαίως στην υπολογιστική επεξεργασία μεγάλων δεδομένων και οι τεχνικές άντλησης και μάθησης της μηχανικής λειτουργίας του δικτύου έχει εφαρμοστεί πάνω στους ίδιους τους αισθητήρες για την άντληση των κατάλληλων πληροφοριών και τη διασύνδεση με τις μονάδες που κάνουν την αντίστοιχη επεξεργασία. Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά και εφαρμόζονται ήδη σε στρατηγικές διαχείρισης της ζήτησης και πρόνοιας για την παραγωγή των απαιτούμενων όγκων ενέργειας (Jain, Smith, Culligan, & Taylor, 2014).

Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται και από τους αυτόματους ενεργοποιητές που εφαρμόζονται για την εξισορρόπηση της εσφαλμένης κατανάλωσης από τον ανθρώπινο παράγοντα. Κυρίως οι μετρήσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με στόχο τη ρύθμιση των συσκευών θέρμανσης και ψύξης είναι η βασική πηγή εφαρμογής για την ορθότερη διαχείριση των ηλεκτρικών απαιτήσεων. Χαρακτηριστική είναι η θερινή περίοδος όπου οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε μαζική ενεργοποίηση των κλιματιστικών, ρυθμισμένων κυρίως σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες με την ελπίδα μιας πιο άμεσης δημιουργίας ψύξης του περιβάλλοντα χώρου. Κάτι τέτοιο ασφαλώς και δεν επιτυγχάνεται, εν αντιθέσει οδηγεί σε άσκοπη κατανάλωση ενέργειας και υπερφόρτωση του δικτύου. Οι ενεργοποιητές αναλαμβάνουν το ρόλο του συντονιστή όπου σύμφωνα με τις πληροφορίες ρυθμίζουν τη συσκευή και το δίκτυο σε επίπεδα λειτουργικά για κάθε συμβαλλόμενο μέρος (Sullivan, Bode, Kellow, Woehleke, & Eto, 2013).

Αξίζει να γίνει και μια αναφορά στην ανταλλακτική αξία των συμβολαίων ενέργειας. Όπως αναφέρθηκε και στο αντίστοιχο υποκεφάλαιο του ζητήματος των εργαλείων, το Blockchain συμβάλλει στη διεκπεραίωση των συναλλαγών. Στην άμεση διακίνηση αγαθών και υπηρεσιών έχει ενταχθεί και το ζήτημα της ενέργειας με τα νοικοκυριά να ανταλλάζουν την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια που τους αναλογεί μέσω συμβολαίων. Οι μετρήσεις του όγκου των συναλλαγών γίνεται, επίσης, από αισθητήρες που πιστοποιούν τα συμφωνηθέντα και επιβεβαιώνουν τους όρους της συναλλαγής. Η τελευταία τάση θέλει τους εμπορικούς

αντιπροσώπους να ανταλλάσσουν την πλεονάζουσα ηλιακή ενέργεια σε επιχειρηματικά πάρκα. Σε κάθε περίπτωση οι υποστηρικτικές τεχνολογίες συμβάλλουν στη διαχείριση των ενεργειακών απαιτήσεων και συμβάλλουν στην ορθή χρήση της ενέργειας όπως παράγεται τη δεδομένη στιγμή (Trowbridge, 2018).

3.6 Κατασκευαστικός κλάδος και διοίκηση

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συνεκτίμηση της μηχανικής, της κατασκευής και της διαχείρισης των έργων που έχουν προγραμματιστεί. Με στόχο το τρίπτυχο «υψηλή ποιότητα, ελάχιστο κόστος, μειωμένος χρόνος», γίνεται πραγματικά λόγος για μια ομαδική προσπάθεια που απαιτεί τη συμμετοχή και των πολιτικών μηχανικών. Όλη η προσπάθεια δημιουργίας ουσιαστικά έξυπνων πόλεων έχει ως στόχο την πραγματική απόδοση σε κάθε επίπεδο και τη χρήση της τεχνολογίας στην αιχμή του ισοζυγίου κόστος – ωφέλεια. Η παρακολούθηση των διαδικασιών, η επικοινωνία και η λήψη των κατάλληλων αποφάσεων μπορούν να υποστηριχθούν άμεσα από την τεχνολογία (Zechman Berglund, και συν., 2020).

Οι τεχνολογικές εφαρμογές και στο συγκεκριμένο ζήτημα λαμβάνουν χώρα μέσω αισθητήρων. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του RFID που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και τη διαχείριση των εργασιών, των μηχανημάτων και των υλικών στα κατασκευαστικά έργα (Lu, Huang, & Li, 2011).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν, επίσης, και οι εφαρμογές πρόληψης εργατικών ατυχημάτων. Ένα αυτοματοποιημένο σύστημα αναπτύχθηκε για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς και την οπτική αναζήτηση της κίνησης των εργατών στις οικοδομές χρησιμοποιώντας φορητούς αισθητήρες παρακολούθησης. Με τον τρόπο αυτό εντοπίζονται κίνδυνοι και λανθασμένες εκτιμήσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε πτώσεις ή άλλα ατυχήματα (Jeelani, Han, & Albert, 2018).

Μια ακόμη εφαρμογή με συμβολή στην προφύλαξη της ανθρώπινης ζωής είναι το σύστημα για τον σχεδιασμό βέλτιστων διαδρομών εκκένωσης ενός κτιρίου που φλέγεται. Το σύστημα απαιτεί αισθητήρες και ένα πρόγραμμα κινητών που να πληροφορεί τα άτομα που βρίσκονται μέσα στο κτίριο. Είναι πολλές οι περιπτώσεις ανθρώπων που έχασαν τη ζωή τους σε αστική πυρκαγιά ενώ υπήρχε τρόπος διαφυγής, απλά δεν τον γνώριζαν. Η τεχνολογία μπορεί πέρα από το να βελτιώσει τη ζωή, κυριολεκτικά να την προστατέψει (Cheng, και συν., 2017).

3.7 Γεωτεχνικά Συστήματα

Η γεωτεχνική μηχανική επικεντρώνεται στη βελτίωση του εδάφους για τη διασφάλιση της σταθερότητας των θεμελίων και των χωμάτινων συστημάτων. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από την σταθεροποίηση, την τσιμεντοποίηση και την στερεοποίηση του εδάφους, κατάσταση που απαιτεί τις κατάλληλες κινήσεις ανάλογα με την ιδιαιτερότητα των γεωλογικών υλικών κάθε τοποθεσίας. Το ζήτημα αυτό είναι υψίστης σημασίας κυρίως για υπερκατασκευές που αποτελούν την τάση στις σύγχρονες πόλεις. Για την υποστήριξη τόσο μεγάλων έργων οι μελέτες του εδάφους και της σύστασής του είναι απαραίτητες ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος βλαβών στις κτιριακές εγκαταστάσεις, η έλλειψη αντοχής σε καιρικά φαινόμενα και η πλήρης κατάρρευση. Σε γενικές γραμμές η εδαφομηχανική είναι η επιστήμη που εφαρμόζεται για την κατανόηση των υλικών του υπεδάφους και κρίνεται απαραίτητο βήμα στον μηχανικό σχεδιασμό. Για την πληροφόρηση και την επεξεργασία των εδαφών που εξετάζονται σε έναν μηχανικό έλεγχο, τα γεωτεχνικά συστήματα βασίζονται στην τεχνολογία για ακρίβεια αποτελεσμάτων και ορθή πρόβλεψη συμπεριφοράς των υλικών στην πάροδο του χρόνου (Zechman Berglund, και συν., 2020).

Το ραντάρ διείσδυσης εδάφους (GPR) ή γεωραντάρ είναι συσκευή άντλησης δεδομένων υπεδάφους που βασίζεται σε παλμούς και όχι σε διάνοιξη. Ως μη παρεμβατική μέθοδος είναι χρήσιμη σε εκτιμήσεις για την ακαταλληλότητα βοηθητικών εγκαταστάσεων όπως το σκυρόδεμα, οι σωλήνες, τα μέταλλα, οι τοιχοποιία, κ.ά. Εκτός από τα δεδομένα σχετικά με τη σύσταση του υπεδάφους, η χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας συμβάλλει και στην εκτίμηση κενών, ρωγμών ή παρουσίας αντικειμένων στο υπέδαφος (Srivastav, Nguyen, McConnell, Loparo, & Mandal, 2020).

Μια γεωτεχνική εφαρμογή που χρησιμοποιεί ενεργά την τεχνολογία ανίχνευσης σε πραγματικό χρόνο είναι η παρακολούθηση της κλίσης του εδάφους. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα σύνολο ψηφιακών οργάνων όπως το τενσιόμετρο, το κλισιόμετρο, το βροχόμετρο και οι αισθητήρες ακουστικών εκπομπών για την παρακολούθηση της κίνησης της κλίσης. Αυτό το σύστημα επιτρέπει την ανίχνευση της έναρξης κατολισθήσεων που προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις και σεισμούς. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να προβλεφθεί μια καταστροφή και να υπάρξουν τα κατάλληλα μέτρα ώστε να αποφευχθούν τόσο οι υλικές ζημιές όσο και τα ατυχήματα (Dixon, και συν., 2015).



Εικόνα 7: Όργανο παρακολούθησης κλίσης, Πηγή: (Encardio, n.d.)

Στον ποιοτικό έλεγχο της συμπύκνωσης του ασφαλτοστρώματος, χρησιμοποιούνται αισθητήρες γεωλογικών υλικών. Οι αισθητήρες αναλαμβάνουν το ρόλο της άντλησης πληροφοριών και της επικοινωνίας με υπολογιστικό σύστημα ώστε να συσχετιστεί η απόκριση κύλισης με τον βαθμό συμπύκνωσης (Yiqiu, Hairpeng, Shaojun, & Huining, 2014).

Κεφάλαιο 4^ο

Προκλήσεις που προκύπτουν από την τεχνολογική εξέλιξη στις έξυπνες πόλεις.

Το 2016 υπολογίζεται ότι το 54% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε στις πόλεις, ενώ αναμένεται το ποσοστό αυτό να αυξηθεί σε 60% έως το 2030 (United Nations, 2016). Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με τη συρροή του στα αστικά κέντρα έχουν εντατικοποιήσει την ανάγκη χρήσης των ψηφιακών τεχνολογιών με σκοπό την βιώσιμη ανάπτυξη μιας πόλης. Η χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών στις πόλεις όμως εκτός από διευκολύνσεις και βελτιώσεις φέρουν και νέες προκλήσεις για τον κατασκευαστικό κλάδο τις οποίες καλούνται να αντιμετωπίσουν οι πολιτικοί μηχανικοί.

Η Cosgrave (2018) καταλήγει σε τέσσερις βασικές προκλήσεις που πρέπει να εστιάσουν και να ανταπεξέλθουν οι πολιτικοί μηχανικοί οι οποίες αφορούν:

1. την αποδοχή της πολυπλοκότητας
2. την κοινωνική δικαιοσύνη στις έξυπνες πόλεις
3. τη χρηματοδότηση των έξυπνων πόλεων
4. την εκπαίδευση των πολιτικών μηχανικών

4.1 Η αποδοχή της πολυπλοκότητας

Για να μπορέσουν να υιοθετήσουν τις νέες τεχνολογίες που εμφανίζονται, οι χώρες σε όλο τον κόσμο πρέπει να είναι έτοιμες με τα διάφορα απαιτούμενα ρυθμιστικά πλαίσια και οι κατασκευαστικές εταιρείες πρέπει να διασφαλίσουν ότι διαθέτουν τις δεξιότητες, τις γνώσεις και τα συστήματα για την κατασκευή των σχετικών υποδομών (Balfour Beatty, 2017). Μια βασική πρόκληση για τους πολιτικούς μηχανικούς είναι να κατανοήσουν το πώς να βελτιστοποιούν τα τρέχοντα συστήματα υποδομών και πόσο να επενδύουν στην ανάπτυξη πραγματικά μετασχηματιστικών προσεγγίσεων στην παροχή υπηρεσιών της πόλης τα οποία επεκτείνονται πέρα από τα υπάρχοντα παραδείγματα μας. Παρόλο που η τεχνική αρτιότητα και ο καινοτόμος σχεδιασμός είναι αναγκαία για την δημιουργία βιώσιμων, λειτουργικών πόλεων η αντίληψη της πόλης μόνο κατά αυτόν τον τρόπο είναι προβληματική. Οι πολιτικοί μηχανικοί θα πρέπει να κατανοήσουν ότι οι έξυπνες υποδομές εξυπηρετούν κοινωνικούς σκοπούς και να λαμβάνουν μέρος στις συζητήσεις σχετικά με αυτούς.

4.2 Η κοινωνική δικαιοσύνη

Σύμφωνα με τους Graham & Marvin (2001), οι αστικές υποδομές είτε φυσικές είτε ψηφιακές, αναπαράγουν τις υπάρχουσες διακρίσεις λόγω της άνισης πρόσβασης στην τεχνολογία εντός και μεταξύ των πόλεων αλλά και λόγω της τάσης τους να μεγαθύνουν τις υπάρχουσες κοινωνικές ανισότητες. Οι κοινωνικές ανισότητες που προκύπτουν ή ενισχύονται αφορούν την πρόσβαση στον διαδίκτυο και τις φυλετικές διακρίσεις μεταξύ άλλων. Κατά την κατασκευή μια έξυπνης πόλης είναι σημαντικό να είναι σαφές για ποιον αναπτύσσονται οι τεχνολογίες, ποιοι επωφελούνται από αυτές. Οι μηχανικοί θα πρέπει να αναπτύξουν ικανότητες σχολιασμού και αντιμετώπισης των οικονομικό-κοινωνικών επιπτώσεων των τεχνολογικών καινοτομιών και να καταβάλουν προσπάθειες ώστε να βελτιωθεί η ποικιλομορφία του επαγγέλματος.

4.3 Η χρηματοδότηση των έξυπνων πόλεων

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD), για τη στήριξη των αναμενόμενων ρυθμών οικονομικής ανάπτυξης, ο κόσμος θα πρέπει να δαπανήσει περίπου το 3,5% του ΑΕΠ σε υποδομές έως το 2030 - συνολικά 71 τρισεκατομμύρια δολάρια ή κατά μέσο όρο 3,3 τρισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Οι κυβερνήσεις πιθανότατα θα πρέπει να δαπανήσουν ακόμη περισσότερα επιπλέον αυτού του ποσού για να μετριάσουν την κλιματική αλλαγή και να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της (Flynn et al, 2018). Η χρηματοδότηση επομένως των έξυπνων πόλεων αποτελεί μια σημαντική πρόκληση για τους πολιτικούς μηχανικούς καθώς καλούνται να συμμετέχουν σε συνεργασία με τους πολιτικούς στην λήψη σύνθετων αποφάσεων σχετικά με την ισορροπία μεταξύ τεχνολογικών αναβαθμίσεων, μελλοντικών επενδύσεων και κάλυψης των βασικών αναγκών. Οι πολιτικοί μηχανικοί πρέπει κατ' επέκταση να κατανοούν την πραγματική συμβολή σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο των συστημάτων υποδομών ώστε να μπορούν να συμμετέχουν στις συζητήσεις με επενδυτές του δημόσιου τομέα και να προτείνουν την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων όπου κρίνουν ότι θα υπάρχει όφελος μακροπρόθεσμα καθώς τα έξυπνα συστήματα οδηγούν στην ταχύτερη, αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία μιας πόλης. Οι πολιτικοί μηχανικοί θα πρέπει επιπλέον να αναζητούν και επιδιώκουν νέες συνεργασίες και νέα επιχειρηματικά μοντέλα.

4.4 Η εκπαίδευση των πολιτικών μηχανικών

Οι Mills & Treagust (2003), αναφέρουν ότι ο παραδοσιακός τρόπος διδασκαλίας της δεκαετίας του 1950 παραμένει κεντρικός τρόπος διδασκαλίας. Ωστόσο, για το επάγγελμα των

πολιτικών μηχανικών όντας πρακτικό και προσανατολισμένο στο σχεδιασμό ο τρόπος αυτός κρίνεται ανεπαρκής για την διαμόρφωση αποφοίτων έτοιμων να ανταγωνιστούν τις σύνθετες απαιτήσεις ενός ταχέως μεταβαλλόμενου χώρου εργασίας, τις ανθρώπινες σχέσεις και τον κοινωνικό αντίκτυπο. Επιπλέον νέες προκλήσεις όπως η κλιματική αλλαγή, η βιωσιμότητα και η ανάπτυξη κάνουν ακόμα πιο επιτακτική την ανάγκη για αλλαγή ή βελτίωση των μεθόδων διδασκαλίας. Προκύπτει συνεπώς η ανάγκη εκπαίδευσης των πολιτικών μηχανικών με έμφαση στην κριτική σκέψη και εκπαίδευσης τους σχετικά με τον ρόλο τους στις παγκόσμιες αστικές προκλήσεις. Επιπλέον στην τεχνολογική εποχή, αναμφισβήτητα, οι πολιτικοί μηχανικοί οφείλουν να αναπτύσσουν ψηφιακές δεξιότητες και τέλος είναι επίσης ωφέλιμο να ενημερώνονται σχετικά με τις απαιτήσεις της κάθε εποχής ώστε να προσαρμόζουν τις δεξιότητες τους.

Κεφάλαιο 5^ο

Η συμβολή Του Πολιτικού Μηχανικού Στην Ανάπτυξη Συστημάτων Έξυπνων Υποδομών

Οι ψηφιακές καινοτομίες αναμένεται να φέρουν αλλαγές στον ρόλο του πολιτικού μηχανικού. Συγκεκριμένα, οι ψηφιακές τεχνολογίες έχουν ελαχιστοποιήσει την ανάγκη τέλεσης χρονοβόρων και επαναλαμβανόμενων διαδικασιών που παραδοσιακά αποτελούσαν ένα αναπόσπαστο κομμάτι του επαγγέλματος. Παράλληλα, εμφανίζονται νέες ευκαιρίες γύρω από τις ψηφιακές τεχνολογίες οι οποίες ανοίγουν νέους ορίζοντες ενασχόλησης.

Οι MacNair L. et al. (2018), αναφέρουν ότι για να έχουν την δυνατότητα να αξιοποιήσουν αυτές τις ευκαιρίες, θα πρέπει οι πολιτικοί μηχανικοί να διατίθενται να κάνουν σημαντικές αλλαγές και βελτιώσεις σε τρεις βασικούς τομείς: τις γνώσεις (knowledge), τις ικανότητες (skills) και τις συμπεριφορές (behaviors) τους. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι αλλαγές ή βελτιώσεις που πρέπει να κάνουν οι πολιτικοί μηχανικοί σε αυτούς τους τρεις τομείς.

| | ΓΝΩΣΕΙΣ | ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ | ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΕΣ |
|------------------|--|---|--|
| ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ | <ul style="list-style-type: none">• Τεχνολογικές και θεωρητικές γνώσεις του κλάδου των πολιτικών μηχανικών | <ul style="list-style-type: none">• Σχεδιαστικές ικανότητες | |
| ΒΕΛΤΙΩΣΗ | <ul style="list-style-type: none">• Ενημέρωση σχετικά με τις ψηφιακές τάσεις• Καθοδήγηση πελατών• Μελλοντικά επιχειρηματικά μοντέλα• Ανταγωνιστικές απειλές | <ul style="list-style-type: none">• Αυτοματοποίηση διαδικασιών• Προώθηση των ψηφιακών τεχνολογιών• Εξισορρόπηση νέων καινοτομιών με παλαιότερες αποδεδειγμένα αποτελεσματικές στρατηγικές | <ul style="list-style-type: none">• Δημιουργικότητα• Διάθεση για συνεργασία• Συντονισμός• Εστίαση στον αποτέλεσμα• Ανάλυση ευθυνών• Ταπεινότητα |
| ΈΝΤΑΞΗ | | <ul style="list-style-type: none">• Ανάλυση δεδομένων• Ψηφιακή/ μη ψηφιακή "μετάφραση"• Διασφάλιση ποιότητας και αξιοπιστίας των νέων τεχνολογιών | |

Ο κατασκευαστικός κλάδος θα πρέπει να έχει υπόψιν ότι κάποια από τις υπάρχουσες γνώσεις, ικανότητες ή συμπεριφορές μπορεί να εξαλείψει στο μέλλον. Μια παρόμοια αλλαγή συνέβη στο παρελθόν με την εμφάνιση των ψηφιακών προγραμμάτων σχεδίασης όπως το Computer Aided Design (CAD) τη δεκαετία του 1980 όπου με τη έλευση τους, η σχεδίαση στο χέρι ελαττώθηκε σημαντικά. Είναι σημαντικό για τους ηγέτες του κατασκευαστικού κλάδου να αντιληφθούν ότι οι πολιτικοί μηχανικοί δεν μπορούν να αναπτύξουν άπειρες δεξιότητες σε κάθε γνώση, ικανότητα και συμπεριφορά, αντ' αυτού θα πρέπει να θέσουν προτεραιότητες. Ως εκ τούτου θα πρέπει να εξεταστούν νέες θέσεις εργασίας πιο εξειδικευμένες όπως: πολιτικοί μηχανικοί που ειδικεύονται στους αυτοματισμούς και πολιτικοί μηχανικοί με εξειδίκευση στην ανάλυση δεδομένων. Αυτό θα οδηγούσε σε μεγαλύτερη ποικιλομορφία των ρόλων επιτρέποντας σε κάθε μηχανικό να επικεντρωθεί σε μία πτυχή των ψηφιακών καινοτομιών και του κατασκευαστικού κλάδου συνδυαστικά.

Τα τελευταία χρόνια αναφέρεται συχνά ότι προκειμένου οι μηχανικοί να πετύχουν μια βιώσιμη ανάπτυξη θα έπρεπε να εγκαταλείψουν τον παραδοσιακό τους ρόλο, ο οποίος είχε ως επίκεντρο τον οικονομικό πυλώνα, ώστε να αναπτύξουν γνώσεις και ικανότητες εστιασμένες γύρω από τους άλλους δύο πυλώνες της βιώσιμης ανάπτυξης, τον περιβαλλοντικό και τον κοινωνικό, σύμφωνα με το "μοντέλο τριών πυλώνων" της βιώσιμης ανάπτυξης κατά τους Portney (2015).

Οι περισσότεροι παρατηρητές φαίνεται να συμφωνούν ότι ο νέος ρόλος των πολιτικών μηχανικών στην αντιμετώπιση κοινωνικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων απαιτεί, εκτός από την απόκτηση νέων γνώσεων, την ευαισθητοποίηση σχετικά με τις πολύπλοκες επιπτώσεις που έχουν τα έργα των μηχανικών σε αυτούς τους δύο τομείς.

Ο Halbe (2015) υποστήριξε ότι η βιώσιμη ανάπτυξη απαιτεί ριζική αλλαγή στο σύνολο των επιστημολογικών θεμελίων της μηχανικής γνώσης και τεχνολογίας. Χαρακτηριστικό αυτής της αλλαγής είναι ότι οι μηχανικοί θα πρέπει να μεταβούν από την αναζήτηση βασικών τεχνικών λύσεων, στο εκάστοτε πρόβλημα, σε αναζήτηση ολοκληρωμένων ευπροσάρμοστων και συμμετοχικών λύσεων. Αυτό σημαίνει ότι ο μηχανικός δεν θα είναι ο αποκλειστικός γνώστης και λύτης του εκάστοτε προβλήματος, αντ' αυτού ο ρόλος του θα διευρυνθεί θέτοντας τον ως συνδετικό κρίκο σε συλλογικές συναθροίσεις επίλυσης προβλημάτων μεταξύ διαφόρων εμπλεκόμενων. Αρκετοί, μεταξύ των οποίων και οι Lambrechts et al. (2019) και οι Cukwu et al. (2014) τονίζουν τον σημαντικό ρόλο της ανάπτυξης συστημάτων, ενώ άλλοι, όπως ο Cohen (2018) δίνει έμφαση στην αναγκαιότητα ενός κυκλικού τρόπου σκέψης. Οι Fakete et al. (2015)

αναφέρουν επίσης ότι οι πολιτικοί μηχανικοί πρέπει να δίνουν περισσότερη προσοχή στο να διακρίνουν όλους κινδύνους που προκύπτουν από τα έργα τους εστιάζοντας ιδιαίτερα στο κοινωνικό και περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα. Οι Rahmifard et al. (2018) ισχυρίζονται επίσης ότι οι μηχανικοί οφείλουν να έχουν βαθύτερη κατανόηση του αντίκτυπου των έργων τους στη “πραγματική ζωή”. Ιδιαίτερης σημασίας θεωρείται η γνώση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τεχνικών συστημάτων, φυσικών οικοσυστημάτων και κοινωνικών συστημάτων με έμφαση στη σημασία της “τέχνο-οικολογικό-κοινωνικής” συνείδησης. Και φυσικά θα πρέπει να λογίζεται και το ευρύτερο αντίκτυπο της τεχνολογίας στους ανθρώπους. Η ιστορική γνώση σχετικά με την επίδραση της τεχνολογίας στον κατασκευαστικό κλάδο είναι επίσης υψίστης σημασίας.

Όλα τα παραπάνω υποδηλώνουν ότι οι πολιτικοί μηχανικοί έχουν έναν νέο ρόλο ο οποίος τους καθιστά κοινωνικά και περιβαλλοντικά ευαισθητοποιημένους. Ο ρόλος τους δεν περιορίζεται μόνο στο να δημιουργούν τεχνολογίες αλλά και να κρίνουν και να αξιοποιούν τις υπάρχουσες τεχνολογίες στη σύγχρονη κοινωνία με σεβασμό στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Επιπλέον δεν σταματάει στην επίλυση των προβλημάτων αλλά επεκτείνεται αποκτώντας ηγετικό ρόλο στην πρόβλεψη των προβλημάτων που δημιουργούνται από τις δικές τους λύσεις και στην αντιμετώπιση πολύπλοκων περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων των τεχνολογικών καινοτομιών.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που συναντάται συχνά κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι η παρότρυνση των μηχανικών να αναλάβουν έναν ρόλο που δεν συνδέεται απλώς με την ανάπτυξη και την εφαρμογή των ψηφιακών τεχνολογιών αλλά επίσης με την επικοινωνία και διαμεσολάβηση στο πλαίσιο αξιοποίησης της δύναμης της ποικιλομορφίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η συστηματική χρήση τεχνολογιών όπως το Crowdsourcing. Οι Lambrechts et al. (2019) υποστηρίζουν ότι οι μηχανικοί πρέπει να μάθουν να αξιοποιούν την ποικιλομορφία με στόχο να βελτιώσουν τις ικανότητες τους στην εύρεση λύσεων. Η αξιοποίηση της ποικιλομορφίας συνεπάγεται τη χρήση των πολιτιστικών, κοινωνικών και φυσικών γνώσεων ως πηγές καινοτόμων ιδεών (Mallet, 2018). Η κατανόηση λοιπόν του ρόλου των πολιτικών μηχανικών ως ο συνδεδεμένος κρίκος για την επίτευξη της επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών ομάδων με διαφορετικές γνώσεις και εμπειρίες (Lazzarini et al. 2018) εμπεριέχει την ιδέα ότι οι μηχανικοί οφείλουν να αναλάβουν ρόλους στην πολιτική ή ακόμα και στη δημόσια εκπαίδευση. Το WFEO (World Federation of Engineering Organization) (2016), για παράδειγμα, επέμεινε ότι είναι σημαντικό οι μηχανικοί να συμμετέχουν στις διεθνείς και τοπικές συζητήσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη του κάθε τόπου.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι παρά τις προκλήσεις που προκύπτουν με τις τεχνολογικές εξελίξεις οι πολιτικοί μηχανικοί έχουν μια μοναδική θέση στη διαδικασία δόμησης μιας έξυπνης πόλης αλλά και την τεχνογνωσία να οραματίζονται ολοκληρωμένα πλαίσια και συστήματα που θα απορροφούν τις τεχνολογικές καινοτομίες και θα εξυπηρετούν τους πολίτες και τις τοπικές αρχές. Η Αμερικανική Εταιρεία Πολιτικών Μηχανικών στην έκθεσή της το 2007 παρουσιάζει ένα φιλόδοξο παγκόσμιο όραμα για το μέλλον του πολιτικού μηχανικού, που απευθύνεται σε όλα τα επίπεδα και τις πτυχές της κοινότητας των πολιτικών μηχανικών. Καλεί, συνεπώς, τους πολιτικούς μηχανικούς να υιοθετήσουν δημιουργικούς ρόλους στο εγχείρημα του δομημένου αστικού περιβάλλοντος (ASCE, 2007). Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί το χώρο ανάπτυξης και εξέτασης του πολλαπλού ρόλου που επιτελεί ο πολιτικός μηχανικός στη μετατροπή των πόλεων σε έξυπνες και αυτοματοποιημένες. Στην συνέχεια γίνεται τμηματοποίηση των γενικών καθηκόντων και κάθε ρόλος αναπτύσσεται ώστε να γίνει σαφής ο τρόπος με τον οποίο το επάγγελμα αυτό μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη προγραμμάτων έξυπνων υποδομών.

5.1 Σχεδιαστής – Κατασκευαστής Δομημένου Περιβάλλοντος

Αρχικά, οι πολιτικοί μηχανικοί είναι επιφορτισμένοι με το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία του δομημένου περιβάλλοντος. Οι πολιτικοί μηχανικοί έχουν λεπτομερή εικόνα σχετικά με τις φυσικές και δυναμικές ιδιότητες και τους μηχανισμούς των συστημάτων υποδομής και απαιτείται δημιουργικότητα για την εφαρμογή αυτής της γνώσης στο πλαίσιο των προγραμμάτων έξυπνης υποδομής. Καθώς ο θεμέλιος λίθος των έξυπνων πόλεων είναι οι τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας, οι στρατηγικές για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία υποδομών θα πρέπει να αξιοποιούν νέες δυνατότητες, συμπεριλαμβανομένης τόσο της συλλογής δεδομένων όσο και του ελέγχου αλλά και της επεξεργασίας αυτών σε πραγματικό χρόνο. Ο ρόλος του πολιτικού μηχανικού μπορεί να ενισχυθεί μέσα από την ενσωμάτωση τεχνολογιών για τη δημιουργική χρήση νέων δεδομένων και δυνατοτήτων δικτύου (Zechman Berglund, και συν., 2020).

Στη μέχρι τώρα βιβλιογραφική ανασκόπηση εντοπίστηκαν ορισμένα κενά σε σχέση με την εφαρμογή των νέων τεχνολογικών δυνατοτήτων στο κομμάτι του σχεδιασμού και της υλοποίησης αστικών περιβαλλόντων. Αν και ο τομέας των μεταφορών, για παράδειγμα, έχει υιοθετήσει μια σειρά από έξυπνες τεχνολογίες για τη βελτίωση των υπηρεσιών, άλλοι τομείς, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευών και της γεωτεχνικής μηχανικής, έχουν καθυστερήσει

στην προσάρτηση διασυνδεδεμένων τεχνολογιών που να μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση. Για πολλά συστήματα υποδομής, συμπεριλαμβανομένων των γεωτεχνικών, δομικών, κατασκευών, του αέρα και των φυσικών υδάτων, τα προβλήματα παραμένουν στη σποραδικότητα των δεδομένων και των παρατηρήσεων μέσω αισθητήρων. Αυτό είναι κατανοητό καθώς η εφαρμογή τεχνολογίας σε μεγάλη έκταση και η άντληση πληροφοριών για τεράστιες περιοχές είναι τεχνικά δύσκολη και συχνά περιορίζεται από την αδυναμία των τεχνικών συστημάτων να υποστηρίξουν τέτοιο εγχείρημα. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί, ωστόσο, ότι παρά το γεγονός ότι οι πολιτικοί μηχανικοί δεν έχουν την τεχνογνωσία για τη δημιουργία ψηφιακών υποστηρικτικών δικτύων, είναι ο ενδιάμεσος κρίκος ανάμεσα στους επαγγελματίες της τεχνολογίας και στη δόμηση των πόλεων. Είναι εκείνοι που καλούνται να εντοπίσουν τις ανάγκες, να απαριθμήσουν τις απαιτήσεις και να συνεργαστούν με επιστήμονες άλλων ειδικοτήτων ώστε να δημιουργηθεί η σύμπραξη που θα προάγει το περιβάλλον διαβίωσης σε πιο ασφαλές και ψηφιακό τοπίο (Stewart, και συν., 2018).

Ασφαλώς η διασύνδεση και η χρήση των τεχνολογικών καινοτομιών έχει εφαρμογή στον πραγματικό κόσμο. Για ορισμένα συστήματα, όπως η ενέργεια, η διανομή νερού και τα στερεά απόβλητα, έχουν αναπτυχθεί συνδεδεμένοι αισθητήρες που παρέχουν μεγάλο και εύστοχο όγκο πληροφοριών. Βέβαια απαιτείται νέα ανάλυση για να διερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αυτά τα μεγάλα δεδομένα για την καλύτερη διαχείριση των πόρων. Πέρα από τον τομέα των μηχανικών, που σε αρκετές περιπτώσεις διαθέτουν την υπολογιστική δύναμη και γνώση για να επεξεργαστούν τα δεδομένα, οι υπόλοιποι ενδιαφερόμενοι φαίνεται να θέτουν τους όγκους αυτούς της πληροφόρησης σε αχρησία. Για παράδειγμα οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας δε διαθέτουν τα εργαλεία και τις στρατηγικές για τη χρήση δεδομένων πέρα από μεμονωμένες περιπτώσεις όπως τον γρήγορο εντοπισμό διαρροών σε επίπεδο νοικοκυριού (Sønderlund, Smith, Hutton, Kapelan, & Savic, 2016).

Οι υποδομές σε έργα που κατασκευάζονται από την αρχή δίνει τη δυνατότητα στον πολιτικό μηχανικό να επεκταθεί από τη δημιουργική ανάπτυξη τεχνολογιών ελέγχου σε πραγματικό χρόνο σε χρήση των δεδομένων σε άλλους τομείς. Για παράδειγμα τα συστήματα υδάτων με αισθητήρες ελέγχου μπορούν να έχουν διασύνδεση με διοικήσεις παρέμβασης και προστασίας ώστε να υπάρχει ενημέρωση και αντίδραση σε περίπτωση πλημμύρας. Οι πληροφορίες των υδατικών συστημάτων μπορούν να συνδεθούν με τους ενεργοποιητές και να υπάρχει αυτόματη αντίδραση που να μην απαιτεί την ανθρώπινη δράση. Στο πλαίσιο των

γεωτεχνικών συστημάτων, οι συνθήκες για τις διεργασίες ενίσχυσης μπορούν να ελέγχονται αυτόματα για την παροχή θρεπτικών ουσιών και υγρασίας. Οι ενεργοποιητές έχουν ιστορικά χρησιμοποιηθεί ευρέως σε βιομηχανικές διαδικασίες και διαδικασίες υποδομής, αλλά η ευρεία εφαρμογή σε κατακεκομμένα δίκτυα υποδομής μέσω συνδεδεμένων τεχνολογιών είναι περιορισμένη. Απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη, επίδειξη και δοκιμή ενεργοποιητών για την αποφυγή καταστροφών που σχετίζονται με αστοχίες δικτύου. Για τη διασύνδεση και την διαχείριση όλων των πολλαπλών αυτών μετώπων, ο ρόλος του μηχανικού κρίνεται αδιαπραγμάτευτος και σχετίζεται με την εφαρμογή, τον έλεγχο και την κατάρτιση των συμβαλλόμενων μερών (Mullarudi, Wong, & Kerkez, 2017).

Άλλες τεχνολογίες ενεργοποίησης, όπως το IoT, το crowdsourcing, η επιστήμη των πολιτών και το blockchain, απαιτούν ενεργό συμμετοχή των πολιτών στη χρήση της τεχνολογίας. Ο πολιτικός μηχανικός μπορεί να μην έχει εικόνα για το πώς το κοινό μπορεί να αντιληφθεί και να υιοθετήσει αυτές τις τεχνολογίες, αλλά μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών θα αλλάξει την απόδοση της υποδομής. Για παράδειγμα, μέσω του IoT, οι προσωπικές συσκευές και τα κινητά τηλέφωνα συλλέγουν και μεταδίδουν δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση πόρων, ταυτόχρονα όμως μπορούν να λαμβάνουν και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων. Οι πολίτες για να μπορέσουν να διαχειριστούν αυτήν την αμφίδρομη ανταλλαγή πληροφοριών χρειάζονται τους ανθρώπους που θα στηρίξουν τη διαχείριση της γνώσης και θα μετουσιώσουν τα δεδομένα σε κινητήρια δύναμη για αλλαγή στάσης και συμπεριφοράς (Zechman Berglund, και συν., 2020).

Τέλος, οι πολιτικοί μηχανικοί μπορούν να εφαρμόσουν τη χρήση του blockchain τόσο για βιομηχανίες όσο και για νοικοκυριά. Η αποτελεσματικότητα των έργων διαχείρισης κατασκευών μπορεί να βελτιωθεί μέσω νέων δυνατοτήτων τήρησης στοιχείων που παρέχονται από το blockchain. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με έξυπνους μετρητές για τον εντοπισμό και την καταγραφή των ροών ενέργειας, νερού, λυμάτων, όμβριων υδάτων και στερεών αποβλήτων σε επίπεδο νοικοκυριού. Αυτό διευκολύνει την αποκεντρωμένη εμπορία πόρων μεταξύ των νοικοκυριών. Η ενσωμάτωση νέων αγορών στην υπάρχουσα διαχείριση πόρων απαιτεί υποδομές και λειτουργικά σχέδια που έχουν αναπτυχθεί από πολιτικούς μηχανικούς. Σε μια έξυπνη πόλη, οι πελάτες μπορούν να γίνουν αγοραστές με τις υπό διαπραγμάτευση υποδομές να αξιολογούνται μέσω της μηχανικής ανάλυσης (Zechman Berglund, και συν., 2020).

5.2 Φροντιστής Περιβαλλοντικών Πόρων

Οι πολιτικοί μηχανικοί καλούνται να δημιουργήσουν έναν βιώσιμο κόσμο και να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής μέσω της διαχείρισης των φυσικών πόρων. Η ενέργεια που απαιτείται για την τροφοδοσία των αισθητήρων, τη συνδεσιμότητα δικτύου, την επεξεργασία δεδομένων και τη λογιστική του blockchain πρέπει να αξιολογηθεί και να εξισορροπηθεί με τα κέρδη που παρέχονται από την εφαρμογή της νέας τεχνολογίας. Τα προγράμματα έξυπνων υποδομών που δεν έχουν βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων δεν μπορούν να εφαρμοστούν για ευνόητους λόγους. Οι κατασκευαστές των έξυπνων πόλεων θα πρέπει να επιδιώξουν να αναπτύξουν καινοτόμα χαρτοφυλάκια ενέργειας βασισμένα σε ανανεώσιμους πόρους. Η γεωτεχνική μηχανική και η μηχανική των ακτών και των ωκεανών είναι τομείς της πολιτικής μηχανικής που εντάσσονται οριακά σε προγράμματα έξυπνων πόλεων μέχρι σήμερα ακριβώς λόγω του αρνητικού περιβαλλοντικού ισοζυγίου (Bibri & Krogstieb, 2017),

Οι πολιτικοί μηχανικοί έχουν μεγάλη εμπειρία στη διαμόρφωση και επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων. Παρόμοια με τις έξυπνες υποδομές, τα προβλήματα υποδομής και περιβαλλοντικού σχεδιασμού απαιτούν εξισορρόπηση μεταξύ ανταγωνιστικών οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών στόχων. Πιο αναλυτικά, η ροπή προς φιλικές προς το περιβάλλον πολιτικές βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση εφαρμογών και έξυπνων συσκευών. Ο στόχος της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας μπορεί να επιτυγχάνεται αλλά η κοινωνική βελτίωση μπορεί να κλονίζεται. Αυτό συμβαίνει γιατί κάποιες κοινωνικές ομάδες δεν έχουν τη δυνατότητα να ανταπεξέλθουν στις τεχνολογικές απαιτήσεις και τίθενται στο περιθώριο. Τα προγράμματα έξυπνων υποδομών πρέπει να αυξήσουν τη δίκαιη πρόσβαση σε πόρους και υπηρεσίες υποδομής, αντί να μειονεκτούν για τις περιθωριοποιημένες ομάδες ή τομείς του πληθυσμού που δεν χρησιμοποιούν έξυπνα τηλέφωνα ή προσωπικές συσκευές. Οι πολιτικοί μηχανικοί είναι αυτοί που θα εξισορροπήσουν τη βελτίωση με το σεβασμό στην ανθρώπινη αξιοπρέπεια. Αυτός ο ρόλος είναι πέρα από επαγγελματικός, άπτεται κυρίως της ενσυναίσθησης και της συμπερίληψης (Albert, 2019).

5.3 Συνδετικός Κρίκος Δημόσιου, Ιδιωτικού Και Ακαδημαϊκού Τομέα

Το όραμα για το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού προβλέπει ότι οι συγκεκριμένοι επιστήμονες θα ενσωματωθούν εξίσου στον δημόσιο, τον ιδιωτικό και τον ακαδημαϊκό τομέα

για τη συνεργασία στον σχεδιασμό και τη διαχείριση υποδομών. Αυτή η ενοποίηση είναι αναμφισβήτητη ακόμη πιο σημαντική για τις έξυπνες πόλεις. Η τεχνολογία αναπτύσσεται συνήθως από ιδιωτικούς φορείς και πρέπει να ενσωματώνεται και να διαχειρίζεται αποτελεσματικά σε μια δημόσια υπηρεσία που λαμβάνει αποφάσεις και χαράσσει πολιτικές. Η έρευνα μηχανικής που απαιτείται για τον σχεδιασμό στρατηγικών, για την αποτελεσματική ενσωμάτωση στα προγράμματα διαχείρισης υποδομής και για την ανάλυση των επιπτώσεων της περιβαλλοντικής και κοινωνικής έρευνας των προγραμμάτων των έξυπνων υποδομών δημιουργεί ανάγκη για τοποθέτηση μηχανικών σε στρατηγικές θέσεις όλων των τομέων (Zechman Berglund, και συν., 2020).

Τα ολοκληρωμένα έξυπνα συστήματα θα πρέπει να βασίζονται σε ένα σύνολο έξυπνων τεχνολογιών οι οποίες λειτουργούν συντονισμένα. Για παράδειγμα, τα κατασκευές με εφαρμογή αισθητήρα υπόσχονται να είναι το μέλλον της δικτυακής υποδομής, αλλά πρέπει να υποστηρίζονται από γρήγορες συνδέσεις. Απαιτούνται αναλύσεις μεγάλων δεδομένων για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών και λήψης αποφάσεων από μεγάλους όγκους πληροφοριών. Η λήψη αποφάσεων μπορεί να γίνει αυτοματοποιημένα και να εφαρμοστεί σε πραγματικό χρόνο μέσω ενεργοποιητών. Η ενσωμάτωση σε έξυπνες τεχνολογίες απαιτεί κατανόηση διαφορετικών τεχνολογιών και συνεργασία σε τομείς εξειδίκευσης. Οι πολιτικοί μηχανικοί θα πρέπει να έχουν κατανόηση αυτών των τεχνολογιών και αναλυτικών προσεγγίσεων για να συνεργάζονται αποτελεσματικά με μηχανικούς και επιστήμονες που έχουν ειδικεύσεις σε τεχνολογικούς τομείς. Απαιτούνται, παράλληλα, και συνεργασίες με κοινωνικούς επιστήμονες για την κατανόηση της έξυπνης υποδομής ως ένα κοινωνικοτεχνικό σύστημα, στο οποίο η συμμετοχή των πολιτών, η αστική καινοτομία και η επιχειρηματική δραστηριότητα αλληλεπιδρούν με τις ΤΠΕ και μεταμορφώνουν τα αστικά συστήματα σε έξυπνα περιβάλλοντα (Cosgrave, 2017).

Η πόλη της Νέας Υόρκης εγκαινίασε το 2018 ένα δίκτυο δομών που διαθέτουν ισχυρή και δωρεάν πρόσβαση σε Wi-Fi. Παράλληλα επέκτεινε τη διαθεσιμότητα δημόσιων κέντρων υπολογιστών στις περιοχές με μεγάλη φτώχεια εντός της πόλης. Αυτές οι προσπάθειες βελτίωσαν τις υπηρεσίες ευρέων ζωνών, αύξησαν τον ψηφιακό γραμματισμό και δημιούργησαν ψηφιακή ένταξη για όσους βρίσκονται σε υποανάπτυκτες περιοχές. Για να αναλύσει τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις στις αστικές γειτονιές, η πόλη της Νέας Υόρκης ξεκίνησε τρεις διαφορετικές ποσοτικοποιημένες κοινότητες. Κάθε ποσοτικοποιημένη κοινότητα περιέχει ένα δίκτυο οργανωμένων γειτονιών που συλλέγουν, μετρούν και αναλύουν

δεδομένα σχετικά με τις φυσικές και περιβαλλοντικές συνθήκες και την ανθρώπινη συμπεριφορά για να εξακριβώσουν πώς το δομημένο περιβάλλον επηρεάζει την κοινωνική ευημερία. Στην πραγματοποίηση του έργου συμμετείχε πλήθος πολιτικών μηχανικών που αποτέλεσαν τη γέφυρα ανάμεσα στην ιδέα και την υλοποίηση (Sinky, Khalfi, Hamdaoui, & Rayes, 2017).

Οι κλάδοι και οι εργαζόμενοι των κατασκευών και των εφαρμογών κρίνεται ορθό να εργάζονται σε μια κατεύθυνση νομιμότητας και γεωγραφικής εγγύτητας. Για παράδειγμα, η Cleantech San Diego ηγείται μιας προσπάθειας συνεργασίας μεταξύ δημοσίων, ιδιωτικών και ακαδημαϊκών οργανισμών για την ανάπτυξη τεχνολογιών IoT, τη βελτίωση της αστικής συνδεσιμότητας, τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, την αύξηση της απόδοσης του νερού και της ενέργειας και την τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης στην περιοχή του Σαν Ντιέγκο της Καλιφόρνιας. Στο πρόγραμμα συμμετέχουν πέντε γειτονικές πόλεις, πληθώρα επιστημόνων, ιδιωτικών και δημόσιων υπαλλήλων καθώς και ακαδημαϊκοί των σχετικών κλάδων (Cleantech San Diego, 2020).

5.4 Διαχειριστής Κινδύνων Και Ατυχημάτων

Οι πολιτικοί μηχανικοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα έξυπνα προγράμματα υποδομής για να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα της κοινότητας σε κινδύνους, φυσικές καταστροφές και καταστροφές βραδείας έναρξης, όπως η κλιματική αλλαγή. Οι έξυπνες τεχνολογίες διακρίνονται για τις ικανότητές τους να βελτιώνουν την ανθεκτικότητα της έξυπνης πόλης μέσω του IoT για τη δημιουργία συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης. Ένα πολύ κοινό παράδειγμα είναι η χρήση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης και των διαδικτυακών πλατφορμών κατά τη διάρκεια καταστροφών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος ανταπόκρισης του κοινού και η τάχιστη διάδοση πληροφοριών μπορεί να ενεργοποιήσει τις επιχειρήσεις διάσωσης (Grasic, Kos, & Mileva-Boshkoska, 2018).

Η ορθότερη διαχείριση των πόρων είναι άλλος ένας τομέας που μπορεί να ενισχυθεί από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Η αποτελεσματική κρυπτογράφηση προσωπικών δεδομένων, όπως η χρήση νερού, η χρήση ενέργειας και η τοποθεσία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενημέρωση των λειτουργιών υποδομής κατά τη διάρκεια κινδύνων, έκτακτης ανάγκης ή περιόδους έλλειψης, όπως η ξηρασία. Τα υπάρχοντα μέτρα για την κρυπτογράφηση δεδομένων είναι υπολογιστικά ακριβή και η κρυπτογράφησή τους με γρήγορο

ρυθμό μπορεί να αναπτυχθεί μέσω τεχνολογιών blockchain. Η ενσωμάτωση ενημερωμένων μοτίβων ζήτησης σε ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί να παρέχει άμεση εικόνα σχετικά με την απόδοση της υποδομής και τις προβλέψεις των διαδοχικών αστοχιών.

Ο κίνδυνος δε σχετίζεται μόνο με τα φυσικά φαινόμενα. Για παράδειγμα, το cryptojacking επαναχρησιμοποιεί υπολογιστικούς πόρους από τα συστήματα κοινής ωφέλειας για την άντληση κρυπτονομισμάτων. Άλλα πρόσφατα περιστατικά παραβίασης ασφάλειας στον κυβερνοχώρο σε τομείς συστημάτων κρίσιμης σημασίας υποδομής υπογραμμίζουν την ανάγκη για στρατηγικές διαχείρισης απειλών για την κυβερνητική υποδομή. Η ενεργοποίηση συσκευών κοινής χρήσης και οι συσκευές με κοινή σύνδεση δημιουργούν νέα τρωτά σημεία για κακόβουλες δραστηριότητες αυξάνοντας τις επιθέσεις στον κυβερνοχώρο. Οι κίνδυνοι απορρήτου και η ασφάλεια είναι σημαντικοί περιορισμοί για την εφαρμογή του IoT, των δεδομένων οπτικοποίησης και των τεχνολογιών blockchain, επειδή η κοινή χρήση δεδομένων σε πολλαπλές πλατφόρμες υπολογιστών, διαδικασίες συλλογής δεδομένων και μοντέλων προσομοίωσης μπορεί να δημιουργήσει τρωτά σημεία στην προστασία δεδομένων (Newman, 2018).

Η διαχείριση απειλών απορρήτου σε περιβάλλον έξυπνων πόλεων είναι μια πολύπλευρη λειτουργία που απαιτείται για τη διασφάλιση των ευαίσθητων πληροφοριών και την προστασία των πολιτών από ανεπιθύμητες διαφημίσεις ή απειλές για την προσωπική ασφάλεια. Το απόρρητο επηρεάζεται από την υποδομή, την τεχνολογία πληροφοριών, τις επιχειρηματικές πρακτικές και τα φυσικά περιβάλλοντα και, ως εκ τούτου, τα μέτρα απορρήτου πρέπει να ενσωματωθούν ολιστικά στις προδιαγραφές σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, οι πολιτικοί μηχανικοί πρέπει να υιοθετούν μια προσέγγιση απορρήτου ανά σχέδιο, στην οποία οι πρακτικές διαχείρισης υποδομών και δεδομένων να περιλαμβάνουν εργαλεία και εγγενή πρωτόκολλα για την προστασία των προσωπικών πληροφοριών από παραβιάσεις ή διαρροή δεδομένων. Οι βέλτιστες πρακτικές θα πρέπει να ελαχιστοποιούν τη χρήση ενημερωμένων εκδόσεων κώδικα ασφαλείας και λύσεων δεύτερου επιπέδου, οι οποίες μπορούν να υπονομεύσουν περαιτέρω το απόρρητο. Οι πολιτικοί μηχανικοί στοχεύουν στο ενδεχόμενο να βελτιώσουν το απόρρητο με νέες τεχνολογίες και πρακτικές, όπως ανώνυμα δίκτυα επικοινωνίας, κρυπτογράφηση από άκρο σε άκρο, συνάθροιση με κρυπτογράφηση και έλεγχος στατιστικής αποκάλυψης για σύνολα δεδομένων. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν επίσης να εξετάσουν τη χρήση κρυπτογραφικών μηχανισμών για την καταγραφή και την επικοινωνία δεδομένων κατανάλωσης ώστε να αποφεύγονται οι απάτες από την πλευρά των

καταναλωτών που επεμβαίνουν στα αποτελέσματα των μετρήσεων με στόχο την μείωση του τιμολογίου. Η ανάπτυξη ενός ισχυρού χαρτοφυλακίου διαχείρισης απειλών για την προστασία της ιδιωτικής ζωής θα επιτρέψει στους πολιτικούς μηχανικούς να δημιουργήσουν έξυπνα προγράμματα υποδομής που επιτυγχάνουν κέρδη στη διαχείριση της πόλης χωρίς να διακυβεύεται το προσωπικό απόρρητο και η ασφάλεια των πολιτών και των πελατών κοινής ωφελείας (Rebollo-Monedero, Parra-Arnau, Forné, & Díaz, 2014).

5.5 Επιθεωρητής Υποδομών Και Λήπτης Αποφάσεων

Οι πολιτικοί μηχανικοί οφείλουν να ηγούνται των συζητήσεων και των αποφάσεων που διαμορφώνουν την περιβαλλοντική πολιτική και την πολιτική υποδομών. Οι κανονισμοί, η πολιτική και η χρηματοδότηση γύρω από τις τεχνολογίες ενεργοποίησης είναι αυτά που θα οδηγήσουν στην ουσιαστική εφαρμογή της έξυπνης υποδομής. Απαιτούνται αποφάσεις χρηματοδότησης και πολιτικής σε τοπικό αλλά και εθνικό επίπεδο για εκσυγχρονισμό των υποδομών και τη βελτίωση της διαμονής σε μια σύγχρονη πόλη. Για παράδειγμα, τα προγράμματα που βελτιώνουν τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τα αστικά στερεά απόβλητα χρησιμοποιώντας έξυπνους αισθητήρες που μειώνουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση χρησιμοποιώντας έξυπνα συστήματα ελέγχου της κυκλοφορίας αποτελούν εργαλείο χρήσιμο για όλη την τοπική κοινωνία. Το ζήτημα είναι ότι οι διοικούντες συχνά δεν έχουν την τεχνογνωσία για τις δυνατότητες της σύγχρονης μηχανικής και επιπλέον υπάρχει μια δυσπιστία στην αποτελεσματικότητα. Όλα αυτά ενισχύονται όταν τα κόστη είναι μεγάλα. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να είναι οι πολιτικοί μηχανικοί αυτοί που θα ερευνούν και θα αποφασίζουν βάσει αιτιολόγησης την εφαρμογή ή την αποφυγή κάποιας καινοτομίας (Zechman Berglund, και συν., 2020).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας ολοκληρώσει την βιβλιογραφική ανασκόπηση κρίνεται σκόπιμο να παρατεθεί το επιστέγασμα του όλου εγχειρήματος. Σχετικά με τα σύγχρονα εργαλεία υπάρχει μια πληθώρα εφαρμογών όπως οι αισθητήρες, οι μεταφορείς δεδομένων, οι ενεργοποιητές, τα big data, το blockchain, η ψηφιακή πόλη, κ.ά. Κάθε ένα από αυτά εξυπηρετεί διαφορετικούς σκοπούς και έχει δυνατότητα εφαρμογής σε διαφορετικά συστήματα. Επιπρόσθετα, το βάθος της εξέλιξης, της εφαρμογής και της αξιοπιστίας κάθε εργαλείου διαφέρει και εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως η γεωγραφική έκταση εφαρμογής, ο λόγος χρήσης και το κόστος. Για παράδειγμα οι αισθητήρες φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη εφαρμογή στα εναέρια συστήματα, ενώ οι ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται στα αντίστοιχα υδάτινα συστήματα σε περίπτωση πλημμύρας. Η χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας από τον κατασκευαστικό κλάδο σε διάφορα συστήματα ενισχύουν την αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα των πολιτικών μηχανικών.

Τα συστήματα τα οποία μπορούν να φιλοξενήσουν της τεχνολογικές καινοτομίες και να αποτελέσουν τον τομέα εφαρμογής τους ώστε να επιτευχθεί η έξυπνη πόλη είναι ποικίλα. Οι μεταφορές, η υγεία, η εκπαίδευση, τα γεωτεχνικά – υδάτινα – εναέρια συστήματα, τα στερεά απόβλητα και η ενέργεια είναι ορισμένοι από τους τομείς αυτούς. Ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε συστήματος μπορεί να διευκολυνθεί ή να επιβαρυνθεί η εφαρμογή. Η γεωτεχνική μηχανική, οι κατασκευές, η ποιότητα του αέρα, η διαχείριση κατασκευών και τα φυσικά συστήματα νερού απαιτούν επιπρόσθετες προσπάθειες για την ανάπτυξη κατανεμημένων και συνδεδεμένων αισθητήρων. Ακόμη, οι τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων για την παροχή της χωρικής και χρονικής κάλυψης που απαιτείται για την υποστήριξη των αναλυτικών στοιχείων για τη λήψη αποφάσεων είναι τμήμα των εφαρμογών με περιθώρια βελτίωσης.

Οι πολιτικοί μηχανικοί καλούνται να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις που προκύπτουν από τις διάφορες τεχνολογικές εξελίξεις και να συμβαδίζουν με αυτές με στόχο τη βελτιστοποίηση της ποιότητας ζωής των κατοίκων μίας πόλης, χωρίς να παραμελούν παρόλα αυτά την προστασία και τον σεβασμό του περιβάλλοντος.

Η διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής, ελέγχου και διοίκησης μιας έξυπνης πόλης απαιτεί πρωτίστως την ανθρώπινη συμμετοχή. Οι πολιτικοί μηχανικοί επιστρατεύονται στην πρώτη γραμμή αυτού του εγχειρήματος και απασχολούνται σε κάθε φάση αυτού. Ανάλογα με την ειδίκευση και την τεχνογνωσία οι συγκεκριμένοι επιστήμονες ασχολούνται με τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τον έλεγχο και τη διαχείριση των συστημάτων αυτών. Η παρουσία

τους κρίνεται απαραίτητη για τους λοιπούς επιστήμονες, τους πολίτες, τους τεχνικούς, τους αρμόδιους δημόσιας διοίκησης, τους διαχειριστές επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και κάθε άλλο συμβαλλόμενο μέρος. Οι πολιτικοί μηχανικοί σε μια έξυπνη πόλη συμβάλλουν με τους εξής τρόπους: 1) Σχεδιάζουν και κατασκευάζουν το δομημένο περιβάλλον, 2) Φροντίζουν τους περιβαλλοντικούς πόρους, 3) Αποτελούν τον συνδετικό κρίκο μεταξύ του δημόσιου, ιδιωτικού και ακαδημαϊκού τομέα, 4) Διαχειρίζονται τους κινδύνους και τα ατυχήματα και 5) Επιθεωρούν τις υποδομές και είναι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων.

Βιβλιογραφία

- Ahmed, I., Xu, D., Roupail, N., & Karr, A. (2019b). Characterizing lane changes via digitized infrastructure and low cost GPS. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, σσ. 298–309. doi:<https://doi.org/10.1177/03611>
- Albert, S. (2019, 04 21). *Smart cities: The promises and failures of Utopian technological planning*. Ανάκτηση 07 28, 2022, από theconversation.com: <https://theconversation.com/smart-cities-the-promises-and-failures-of-utopian-technological-planning-114405>
- Al-Hudhud, G., Alqahtani, L., Albaity, H., Alsaeed, D., & Al-Turaiki, I. (2019). Analyzing passive BCI signals to control adaptive automation devices. *Sensors* 19 (14), σ. 3042. doi:<https://doi.org/10.3390/s19143042>
- Alvear, O., Calafate, C., Cano, J., & Manzoni, P. (2018). Crowdsensing in smart cities: Overview, platforms, and environment sensing issues. *Sensors* 18 (2), σ. 460. doi:<https://doi.org/10.3390/s18020460>
- Amditis, A., Lytrivis, P., & Portouli, E. (2012). Sensing and actuation in intelligent vehicles. Στο *Handbook of intelligent vehicles*. London: Springer.
- Anagnostopoulos, T., Kolomvatsos, K., Anagnostopoulos, C., Zaslavsky, A., & Hadjiefthymiades, S. (2015). Assessing dynamic models for high priority waste collection in smart cities. *Journal of Systems and Software, Volume 110*, σσ. 178–192. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.08.049>
- ASCE. (2007). *The Vision for Civil Engineering in 2025*. Reston: VA: ASCE.
- Balfour Beatty (2017). Innovation 2050. A Digital Future for the Infrastructure Industry. <https://www.balfourbeatty.com/media/244600/balfour-beatty-innovation-2050.pdf>
- Bibri, S., & Krogstie, J. (2017b). The core enabling technologies of big data analytics and context-aware computing for smart sustainable cities: A review and synthesis. *J. Big Data* 4 (1), σ. 38. doi:<https://doi.org/10.1186>

- Bibri, S., & Krogstieb, J. (2017). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable cities and society*, σσ. 183-212. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016>
- Buytaert, W. (2014). Citizen science in hydrology and water resources: Opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Front. Earth Sci.* 2, σσ. 1–21. doi:<https://doi.org/10.3389/feart.2014.00026>
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, σσ. 65-82. doi:10.1080/10630732.2011.601117
- Cheng, M., Chiu, K., Hsieh, Y., Yang, I., Chou, J., & Wu, Y. (2017). BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief. *Automation in Construction*, Volume 84, σσ. 14-30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.027>
- Chukwu P. U., Ibrahim I. U., Ojosu J.O. & Iortyer H. A. (2014). Sustainable Energy Future for Nigeria: The Role of Engineers. *Journal of Sustainable Development Studies*, Volume 6, Number 2, σσ. 242-259. <https://1library.net/document/zx8rr7oq-sustainable-energy-future-nigeria-role-engineers.html>
- Cleantech San Diego. (2020). *ABOUT SMART CITIES SAN DIEGO*. Ανάκτηση από cleantechsandiego.org: <https://cleantechsandiego.org/smart-cities-about/>
- Cohen S. (2017). *The sustainable city*. Columbia University Press. ISBN: 9780231182058
- Cosgrave, E. (2017). The smart city: challenges for the civil engineering sector. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction*, σσ. 90–98. doi:<https://doi.org/10.1680/jsmic.17.00012>
- Deng, R., Yang, Z., Chow, M., & Chen, J. (2015). A survey on demand response in smart grids: Mathematical models and approaches. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Volume: 11, Issue: 3, σσ. 570–582. doi:<https://doi.org/10.1109/TII.2015>
- Devarakonda, S., Sevusu, P., Liu, H., Liu, R., Iftode, L., & Nath, B. (2013). Real-time air quality monitoring through mobile sensing in metropolitan areas. *2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing*. Chicago: Association for Computing Machinery.

- Dixon, N., Smith, A., Spriggs, M., Ridley, A., Meldrum, P., & Haslam, E. (2015, 10). Stability monitoring of a rail. *Geotechnical Engineering, Volume 168, Issue GE5*, σσ. 373-384. doi:<https://doi.org/10.1680/geng.14.00152>
- Dong, J., Wang, G., Yan, H., Xu, J., & Zhang, X. (2015). A survey of smart water quality monitoring system. *Environmental Science and Pollution Research volume 22*, σσ. 4893–4906. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-014-4026-x>
- El Saddik, A. (2018). Digital twins: The convergence of multimedia technologies. *IEEE Multimedia 25 (2)*, σσ. 87–92. doi:<https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.023121167>
- Encardio. (n.d.). [Updated] *A Guide on Geotechnical Instruments: Types, & Application*. Ανάκτηση από encardio.com: <https://www.encardio.com/blog/a-guide-on-geotechnical-instruments-types-application/>
- Fakete B. M. & Bogardi J. (2015). Role of engineering in sustainable water management. *Earth Perspectives – Transdisciplinarity Enabled*. <http://dx.doi.org/10.1186/s40322-014-0027-7>
- Fienen, M., & Lowry, C. (2012). Social.Water-A crowdsourcing tool for environmental data acquisition. *Elsevier*, σσ. 164–169. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.06.015>
- Flynn M., Kishore Rao A. & Gashi D. S. (2018). Assisting developing cities to finance their infrastructure gap through private sector participation approaches. *Smart Cities Funding and Financing in Developing Economies*. Deloitte.
- Gao, J., Li, J., Cai, Z., & Gao, H. (2015). Composite event coverage in wireless sensor networks with heterogeneous sensors. *2015 IEEE Conf. on Computer Communications*, (σσ. 217–225). New York.
- Graham S. & Marvin S. (2001). *Splintering Urbanism. Networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition*. London, UK: Routledge.
- Grasic, V., Kos, A., & Mileva-Boshkoska, B. (2018, 09 24). Classification of incoming calls for the capital city of Slovenia smart city 112 public safety system using open Internet of Things data. doi:<https://doi.org/10.1177/1550147718801703>

- Gunderman L. (2019). Smart City Projects Should Focus on People, Not Just Technology. <https://digitalmarketing.temple.edu/lgunderman/2019/11/25/smart-city-projects-should-focus-on-people-not-just-technology/>
- Halbe J., Adamowski J. & Pahl-Wostle C. (2015). The role of paradigms in engineering practice and education for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, Volume 106, σσ. 272-282. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.093>
- Hancke, G., de Carvalho e Silva, B., & Hancke, G. (2013). The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors* 13 (1), σσ. 393–425. doi:<https://doi.org/10.3390/s130100393>
- HURTADO, P., & GOMEZ, A. (2021, 04 01). *Smart City Digital Twins Are a New Tool for Scenario Planning*. Ανάκτηση 07 29, 2022, από [planning.org: https://www.planning.org/planning/2021/spring/smart-city-digital-twins-are-a-new-tool-for-scenario-planning/](https://www.planning.org/planning/2021/spring/smart-city-digital-twins-are-a-new-tool-for-scenario-planning/)
- Hussian, R., Sharma, S., & Sharma, V. (2013). WSN Applications: Automated intelligent traffic control system using sensors. *Int. J. Soft Comput. Eng.* 3 (3), σ. 77.
- Internet of business. (2022). *Global smart city platform market to reach \$755m by 2027*. Ανάκτηση από [internetofbusiness.com: https://internetofbusiness.com/global-smart-city-platform-market/](https://internetofbusiness.com/global-smart-city-platform-market/)
- Jain, R., Smith, K., Culligan, P., & Taylor, J. (2014, 06 15). Forecasting energy consumption of multi-family residential buildings using support vector regression: Investigating the impact of temporal and spatial monitoring granularity on performance accuracy. *Applied Energy*, Volume 123, σσ. 168-178. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.02.057>
- Jaunich, M., Levis, J., DeCarolis, J., Barlaz, M., & Ranjithan, S. (2019). Solid waste management policy implications on waste process choices and systemwide cost and greenhouse gas performance. *Environmental Science & Technology*, σσ. 1766-1775. doi:[10.1021/acs.est.8b04589](https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04589)
- Jeelani, I., Han, K., & Albert, A. (2018, 09). Automating and scaling personalized safety training using eye-tracking data. *Automation in Construction*, Volume 93, σσ. 63–77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.006>

- Joshi, N. (2022, 04 07). *6 Ways In Which Blockchain Makes Your Smart City Even Smarter*. Ανάκτηση 08 17, 2022, από forbes.com: <https://www.forbes.com/sites/naveenjoshi/2022/04/07/6-ways-in-which-blockchain-makes-your-smart-city-even-smarter/?sh=653fdf137f5d>
- Knowles, K. (2018). *The Tesla of smart cities? Pavegen's on a £ 5m mission to supercharge your sidewalks*. Ανάκτηση 05 18, 2022, από forbes.com: <https://www.forbes.com/sites/kittyknowles/2018/03/27/the-tesla-of-smart-cities-inside-pavegens-5m-mission-to-supercharge-your-sidewalks/#64c8ce095c00>
- Kosowatz, J. (2020). 10 Smart Cities: Connectivity and the Internet of Things Bring Efficiencies in Services to make Cities Work Harder. *Mechanical Engineering*, σσ. 32-37. doi:<https://doi.org/10.1115/1.2020-FEB1>
- Lambrechts W., Gelderman C. J., Semeijn J. & Verhoeven E. (2019). The role of individual sustainability competences in eco-design building projects. *Journal of Cleaner Production*, Volume 208, σσ. 1631-1641. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.084>
- Lazzarini B., Pérez-Foguet A. & Boni A. (2018). Key characteristics of academics promoting Sustainable Human Development within engineering studies. *Journal of Cleaner Production*, Volume 188, σσ. 237-252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.270>
- Lee, J., & Park, B. (2013). Evaluation of variable speed limit under connected vehicle environment. *2013 Int. Conf. on Connected Vehicles and Expo*, (σσ. 966–967). New York.
- Lu, W., Huang, G., & Li, H. (2011, 03). Scenarios for applying RFID technology in construction project management. *Automation in Construction*, Volume 20, Issue 2, σσ. 101–106. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.007>
- Mallett A. (2018). Beyond frontier technologies, expert knowledge and money: New parameters for innovation and energy systems change. *Energy Research & Social Science*, Volume 39, σσ. 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.017>
- March, H., Morote, A.-F., Rico, A., & Saurí, D. (2017). Household smart water metering in Spain: Insights from the experience of remote meter reading in Alicante. *Sustainability* 9 (4), σ. 582. doi:<https://doi.org/10.3390/su9040582>

- Midgley, P. (2009). The role of smart bike-sharing systems in urban mobility. *Journeys 2 (1)*, σσ. 23–31.
- Mihyeon, J., & Amekudzi, A. (2005). Addressing sustainability in transportation systems: Definitions, indicators, and metrics. *Journal of Infrastructure Systems*, σσ. 31–50. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2005\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2005))
- Mills J. E. & Treagust D. (2003). Engineering Education, Is Problem-Based or Project-Based Learning the Answer. *Australasian Journal of Engineering Education* 3. http://www.aeee.com.au/journal/2003/mills_treagust03.pdf
- Mircea, E., Lucian, T., & Mihai, S. (2016). The Smart City Concept in the 21st Century. *10th International Conference Interdisciplinarity in Engineering* (σσ. 12-19). INTER-ENG 2016, Procedia Engineering 181.
- Mueller, J., Lu, H., Chirkin, A., Klein, B., & Schmitt, G. (2018). Citizen design science: A strategy for crowd-creative urban design. *Cities* 72 (A), σσ. 181–188. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.08.018>
- Mullapudi, A., Bartos, M., Wong, B., & Kerkez, B. (2018). Shaping streamflow using a real-time stormwater control network. *Sensors (Basel)*, σ. 2259. doi:<https://doi.org/10.3390/s18072259>
- Mullapudi, A., Wong, B., & Kerkez, B. (2017). Emerging investigators series: Building a theory for smart stormwater systems. *Environmental Science: Water Research & Technology*, σσ. 66–77. doi:<https://doi.org/10.1039/C6EW00211K>
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Ανάκτηση 06 12, 2022, από www.bitcoin.org
- National Transportation Safety Board. (2017). *Reducing speeding-related crashes involving passenger vehicles safety study*. Washington, DC: National Transportation Safety Board.
- Nazir, S. (2020, 05 08). *How Digital Twins Enable Smart Cities*. Ανάκτηση 07 28, 2022, από [huawei.com: https://e.huawei.com/gr/eblog/industries/insights/2020/how-digital-twins-enable-intelligent-cities](https://e.huawei.com/gr/eblog/industries/insights/2020/how-digital-twins-enable-intelligent-cities)

- Newman, L. (2018). *Now cryptojacking threatens critical infrastructure, too*. Ανάκτηση 08 02, 2022, από wired.com: <https://www.wired.com/story>
- Ormsbee, L., & Lansey, K. (1994). Optimal control of water supply pumping systems. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 120 (2), σσ. 237–252. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1994\)120:2\(237\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1994)120:2(237))
- Poorna, K. (2020, 10 12). *Network Air Quality Monitoring in a Smart City Model*. Ανάκτηση 06 18, 2022, από pranaair.com: <https://www.pranaair.com/blog/air-quality-monitoring-in-a-smart-city/>
- Portney K. E. (2015). *Sustainability*, The MIT Press Essential Knowledge series.
- Rahimifard S. & Trollman H. (2018). UN Sustainable Development Goals: an engineering perspective. *International Journal of Sustainable Engineering* 11(1):1-3. <http://dx.doi.org/10.1080/19397038.2018.1434985>
- Rashid, Z., Melià-Seguí, J., Pous, R., & Peig, E. (2017). Using augmented reality and internet of things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of smart cities. *Future Gener. Comput. Syst.* 76 (Nov), σσ. 248–261. doi:<https://doi.org/10.1016/j.future.2016.11.030>
- Rebollo-Monedero, D., Parra-Arnau, J., Forné, J., & Díaz, C. (2014). Optimizing the design parameters of threshold pool mixes for anonymity and delay. *Comput. Networks*, σσ. 180–200. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.04.007>
- Sinky, H., Khalfi, B., Hamdaoui, B., & Rayes, A. (2017). Responsive Content-Centric Delivery in Large Urban Communication Networks: A LinkNYC Use-Case. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, σσ. 1688 - 1699. doi:10.1109/TWC.2017.2784433
- Sønderlund, A., Smith, J., Hutton, C., Kapelan, Z., & Savic, D. (2016). Effectiveness of smart meter-based consumption feedback in curbing household water use: Knowns and unknowns. *J. Water Resour. Plann. Manage.* doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000703](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000703)
- Srivastav, A., Nguyen, P., McConnell, M., Loparo, K., & Mandal, S. (2020, 10). A Highly Digital Multiantenna Ground-Penetrating Radar (GPR) System. *IEEE Transactions on*

- Instrumentation and Measurement, Volume: 69, Issue: 10, σσ. 7422 - 7436.*
doi:10.1109/TIM.2020.2984415
- Starbird, K., Dailey, D., Walker, A., Leschine, T., Pavia, R., & Bostrom, A. (2015). Social media, public participation, and the 2010 BP Deepwater Horizon oil spill. *Human Ecol. Risk Assess.* 21 (3), σσ. 605–630. doi:<https://doi.org/10.1080/10807039.2014.947866>
- Steenbruggen, J., Kusters, M., & Broekhuizen, G. (2012). Best practice in European traffic incident management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, σσ. 297–310. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1010>
- Stewart, R., Nguyen, K., Beal, C., Zhang, H., Sahin, O., Bertone, E., . . . Kossieris, P. (2018). Integrated intelligent water-energy metering systems and informatics: Visioning a digital multi-utility service provider. *Environmental Modelling & Software*, σσ. 94-117. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.03.006>
- Sullivan, M., Bode, J., Kellow, B., Woehleke, S., & Eto, J. (2013, 06). Using Residential AC Load Control in Grid Operations: PG&E's Ancillary Service Pilot. *IEEE Transactions on Smart Grid, Volume: 4, Issue: 2*, σσ. 1162 - 1170.
- Trowbridge, C. (2018, 11 13). *Power ledger deploys peer-to-peer renewable energy trading platform in largest U.S. wholesale electricity market.* Ανάκτηση 16 08, 2022, από [businesswire.com](https://www.businesswire.com/news/home): <https://www.businesswire.com/news/home>
- Truby, J. (2018). Decarbonizing bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of blockchain technologies and digital currencies. *Energy Res. Social Sci.* 44 (Feb), σσ. 399–410. doi:<https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009>
- UNESCO (2010). *Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development.* The United States Educational Scientific and Cultural Organization. Place De Fontenoy, Paris, France.
- United Nations (2016). *Statistical Papers - United Nations (Ser. A), Population and Vital Statistics Report.* <https://doi.org/10.18356/8519891f-en>
- USEPA. (2017). *Ambient air quality monitoring program.* Στο *Quality assurance handbook for air pollution measurement systems.* Washington: USEPA.

- Vacs Renwick, D., Heinrich, A., Weisman, R., Arvanaghi, H., & Rotert, K. (2019). Potential public health impacts of deteriorating distribution system infrastructure. *J Am Water Works Assoc.*, σσ. 42–53. doi:<https://doi.org/10.1002/awwa.1235>
- Verma, J., Agrawal, S., Patel, B., & Patel, A. (2016). Big data analytics: Challenges and applications for text, audio, video, and social media data. *Int. J. Soft Comput. Artif. Intell. Appl.* 5 (1), σσ. 41–51. doi:<https://doi.org/10.5121/ijscai.2016.5105>
- White, G., Zink, A., Codecá, L., & Clarke, S. (2021). A digital twin smart city for citizen feedback. *Cities*. doi:10.1016/j.cities.2020.103064
- Wu, X., Zhu, X., Wu, G.-Q., & Ding, W. (2014). Data mining with big data. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* 26 (1), σσ. 97–107. doi:<https://doi.org/10.1109/TKDE.2013.109>
- Yiqiu, T., Haipeng, W., Shaojun, M., & Huining, X. (2014, 03 15). Quality control of asphalt pavement compaction using fibre Bragg grating sensing technology. *Construction and Building Materials*, Volume 54, σσ. 53-59. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.032>
- Zanella, A., Member, S., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., Member, S., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *EEE Internet Things J.* 1 (1), σσ. 22–32. doi:<https://doi.org/10.1109/IIOT.2014.2306328>
- Zechman Berglund, E., Monroe, J., Ahmed, I., Noghabaei, M., Do, J., Pesantez, J., . . . Levis, J. (2020). Smart Infrastructure: A Vision for the Role of the Civil Engineering Profession in Smart Cities. *J. Infrastruct. Syst.*, σσ. 1-32.
- Zhang, J., Wang, F., Wang, K., Lin, W., Xu, X., & Chen, C. (2011). Data - driven intelligent transportation systems: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Volume: 12, Issue: 4, σσ. 1624–1639. doi:10.1109/TITS.2011.2158001
- Zhang, X., Xue, G., Yu, R., Yang, D., & Tang, J. (2014). You better be honest: Discouraging free-riding and false-reporting in mobile crowdsourcing. *2014 IEEE Global Communications Conf.*, (σσ. 4971–4976). New York.
- Zvagelsky, R. (2019). *Compology's contamination score provides path to sustainable, efficient recycling collection.* Ανάκτηση 07 21, 2022, από compology.com:

<https://compology.com/press/compologys-contamination-score-provides-path-to-sustainable-efficient-recycling-collection/>

