



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

MSc Αυτοματισμός Παραγωγής & Υπηρεσιών

Διπλωματική Εργασία

**Σύστημα αυτόματων θυρών (PSD) επί των αποβαθρών σε
σταθμούς Μετρό. Μελέτη περίπτωσης Μετρό Θεσσαλονίκης.**

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: Βελισσαράκος Ιωάννης

Αριθμός Μητρώου: 80697805

Επιβλέπων Καθηγητής: Χαμηλοθώρης Γεώργιος

Αθήνα 2023

Μέλη εξεταστικής επιτροπής

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς την 8η Δεκεμβρίου 2023 από την κάτωθι επιτροπή

| <i>α/α</i> | <i>Όνοματεπώνυμο</i> | <i>Ιδιότητα</i> | <i>Υπογραφή</i> |
|------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΑΜΗΛΟΘΩΡΗΣ | ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ | |
| 2 | ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΓΚΑΝΕΤΣΟΣ | ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ | |
| 3 | ΜΙΧΑΗΛ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ | ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ | |

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|---|----|
| Περίληψη | 3 |
| Abstract | 4 |
| Ευρετήριο Συντομογραφιών | 5 |
| Εισαγωγή | 6 |
| 1. Ιστορική Αναδρομή..... | 7 |
| 1.1 Πρώτη εμφάνιση | 7 |
| 1.2 Τύποι | 8 |
| 2. Μελέτη συστήματος PSD για το Μετρό Θεσσαλονίκης..... | 12 |
| 2.1 Περιγραφή της δομής του συστήματος..... | 12 |
| 2.1.1 Μηχανοκίνητη Συρόμενη Θύρα (MSD)..... | 14 |
| 2.1.2 Θύρες Διαφυγής Κινδύνου (EED)..... | 14 |
| 2.1.3 Θύρες Άκρων Αποβάθρας (PED) | 15 |
| 2.1.4 Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης | 15 |
| 2.1.5 Πίνακας Κεντρικού Ελέγχου επί Αποβαθρών (PSC) | 16 |
| 2.1.6 Πίνακας Τοπικού Ελέγχου των Θυρών επί Αποβαθρών (PSL)..... | 16 |
| 2.1.7 Μονάδα Ελέγχου Θυρών (DCU)..... | 16 |
| 2.2 Διεπιφάνειες του συστήματος PSD..... | 17 |
| 2.2.1 Γενικά | 17 |
| 2.2.2 Διεπιφάνεια με το Τροχαίο Υλικό | 18 |
| 2.2.3 Διεπιφάνεια με το Σύστημα Σηματοδότησης (SIG)..... | 22 |
| 2.2.4 Διεπιφάνεια με το Σύστημα Ελέγχου (BACS) & Ασφαλείας (SMS)..... | 22 |
| 2.2.5 Διεπιφάνεια με το Σύστημα παροχής ισχύος..... | 22 |
| 2.2.6 Διεπιφάνεια με Έργα Πολιτικού Μηχανικού..... | 23 |
| 2.3 Ροή Πληροφοριών και Δίκτυο Επικοινωνίας..... | 23 |
| 2.4 Δικλείδες Ασφαλείας του συστήματος PSD..... | 26 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.4.1 | Μηχανισμός Ανίχνευσης Εμποδίου..... | 26 |
| 2.4.2 | Ασφαλής Ανίχνευση Κατάστασης Θυρών..... | 30 |
| 2.4.3 | Χρήση Συσκευής Ασφαλείας | 32 |
| 2.5 | Περιγραφή Λειτουργίας του συστήματος PSD..... | 32 |
| 3. | Διερεύνηση του συστήματος PSD σε θέματα ασφαλείας των επιβατών | 38 |
| 3.1 | Η αποτελεσματικότητα του συστήματος στην πρόληψη των ατυχημάτων στους σταθμούς του μετρό..... | 38 |
| 3.2 | Σε περίπτωση πυρκαγιάς..... | 38 |
| 3.3 | Ποιότητας Αέρα στο Σταθμό..... | 40 |
| 3.4 | Σε περίπτωση κυβερνοαπειλής..... | 43 |
| 3.4.1 | Γενικά | 43 |
| 3.4.2 | Ιχνιλάτηση του Προβλήματος | 44 |
| 3.4.3 | Η Αξιοπιστία του Συστήματος PSD | 45 |
| 4. | Η χρήση του συστήματος PSD σε Μελλοντικές και Υφιστάμενες Κατασκευές..... | 47 |
| 4.1 | Η χρήση του συστήματος PSD σε υφιστάμενες κατασκευές..... | 47 |
| 4.2 | Η χρήση Αυτόνομων Συστημάτων Θυρών Πλατφόρμας..... | 49 |
| 4.3 | Βελτιστοποίηση των Συστημάτων (PSD) | 52 |
| 4.4 | Επέκταση του συστήματος PSD στην παγκόσμια αγορά έως το 2030..... | 53 |
| 5. | Συμπεράσματα..... | 55 |
| | Βιβλιογραφία | 57 |

Περίληψη

Η χρήση της τεχνολογίας στην υπηρεσία του επιβατικού κοινού, προκειμένου να ενισχύσει την ασφάλεια και να επιτύχει τη μείωση των ατυχημάτων στους σταθμούς Μετρό, ανά τον κόσμο, έχει στραφεί στη χρήση του συστήματος αυτόματων θυρών επί των αποβαθρών (Platform Screen Doors – PSD), λόγω των πολυάριθμων αποδεδειγμένων πλεονεκτημάτων του. Οι πιο πρόσφατες κατασκευές σταθμών είναι εξοπλισμένες με το παραπάνω σύστημα, ενώ διερευνάται η επέκταση της εφαρμογής του και σε υφιστάμενους σταθμούς Μετρό. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη και ανάλυση του συστήματος (PSD) του Μετρό Θεσσαλονίκης και η αλληλεπίδρασή του με τα εμπλεκόμενα συστήματα του Μετρό, όπως για παράδειγμα το σύστημα σηματοδότης. Επίσης, με την βοήθεια της διαδικτυακής αναζήτησης και βιβλιογραφικών πηγών, διερευνάται η αποτελεσματικότητα των συστημάτων PSD, ως προς την αποφυγή ατυχημάτων στις αποβάθρες των σταθμών, ο ρόλος τους, σε περίπτωση πυρκαγιάς πλησίον των αποβαθρών, η αξιοπιστία τους, σε περίπτωση Κυβερνο-απειλής (cyber-attack), καθώς και η επίδρασή τους, στην ποιότητα αέρα των υπόγειων σταθμών. Τέλος, καταγράφονται τα συμπεράσματά χρήσης συστήματος (PSD) σε μελλοντικές και υφιστάμενες κατασκευές Μετρό, ενώ επισημαίνεται, η σημαντικότητα της χρήσης νέων τεχνολογιών στις αστικές συγκοινωνίες με προτεραιότητά την ασφάλεια του κοινού.

Λέξεις – Κλειδιά: Θύρες Αποβαθρών (PSD), Μονάδα ελέγχου Θυρών (DCU), ροή πληροφοριών, δίκτυο επικοινωνίας, ασφάλεια επιβατών.

Abstract

The use of technology at the service of passengers, to enhance safety and achieve the reduction of accidents in Metro stations around the world, has turned to the use of the Platform Screen Doors (PSD) system, due to its numerous proven advantages. The most recent station constructions are equipped with the above system, while the extension of its application to existing Metro stations is being explored. The purpose of this thesis is the study and analysis of the Thessaloniki Metro system (PSD) and its interaction with the involved Metro systems, such as the signaling system. Also, with the help of online search and bibliographic sources, the effectiveness of PSD systems in avoiding accidents at station platforms, their role in case of fire near the platforms, their reliability in case of cyber-attack, as well as their effect on the air quality of underground stations, are investigated. Finally, the conclusions of system use (PSD) in future and existing Metro constructions are recorded, while the importance of using new technologies in urban transport is highlighted, prioritizing the safety of the public.

Keywords: Platform Screen Doors – (PSD), Platform Edge Doors – (PED), Motorized Sliding Door - (MSD), Information flow, Communication Network, passenger safety.

Ευρετήριο Συντομογραφιών

| Συντομογραφία | Περιγραφή |
|----------------------|---|
| BACS | Σύστημα Ελέγχου και Αυτοματισμού Κτιρίων |
| CPS | Κεντρικό Σύστημα Επεξεργασίας |
| CPU | Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας |
| DCU | Μονάδα ελέγχου θυρών |
| EED | Θύρα Διαφυγής Κινδύνου |
| HMI | Διεπαφή Ανθρώπινης Επαφής (οθόνη Αφής) |
| ICS | Βιομηχανικά Συστήματα Ελέγχου |
| MSD | Μηχανοκίνητη Συρόμενη Θύρα |
| OCC | Κέντρο ελέγχου λειτουργιών |
| PA | Σύστημα Αναγγελιών |
| PED | Θύρα άκρου Αποβάθρας |
| PIS | Σύστημα ενημέρωσης Επιβατών |
| PLC | Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής |
| PSC | Πίνακας ελέγχου θυρών επί των Αποβαθρών |
| PSD | Πετάσματα-θύρες Αποβαθρών |
| PSL | Τοπικός Πίνακας ελέγχου θυρών επί των Αποβαθρών |
| SCADA | Σύστημα ελέγχου – εποπτείας και μεταφοράς δεδομένων |
| SIG | Σύστημα Σηματοδότησης |
| SMS | Σύστημα Ασφαλείας και ελέγχου Πρόσβασης |
| UPS | Αδιάλειπτη Μονάδα Τροφοδοσίας |

Εισαγωγή

Στην σημερινή εποχή, οι δυσμενείς συνθήκες που επικρατούν στα μεγάλα αστικά κέντρα, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του κυκλοφοριακού κορεσμού, η ανάγκη για αλλαγή του αστικού συγκοινωνιακού σχεδιασμού έχει καταστεί απόλυτα επιτακτική. Μια σημαντική λύση στις ήπιες μορφές μετακίνησης, φιλική στο περιβάλλον και στον άνθρωπο είναι τα δίκτυα μετρό (συχνά με υπόγεια τμήματα). Επομένως, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια επιταχυνόμενη ανάπτυξη των παγκόσμιων συστημάτων μετρό σε όλες τις μεγάλες πόλεις, με σχεδόν 2.000 χιλιόμετρα δικτύων μετρό να έχουν κατασκευαστεί μεταξύ 2015 και 2017, επιπλέον των 12.000 χιλιομέτρων που ήδη υπάρχουν. Αυτή η επέκταση των συστημάτων μετρό έχει οδηγήσει σε έναν εντυπωσιακό αριθμό επιβατών, ο οποίος σήμερα φθάνει κατά μέσο όρο παγκοσμίως σχεδόν τα 170.000.000 άτομα/ημέρα. (Word Metro Figures, 2018)

Από την άλλη πλευρά, ο συχνός συνωστισμός των επιβατών εντός των δικτύων μετρό δημιουργεί σοβαρά θέματα που σχετίζονται με την ασφάλεια. Ως αποτέλεσμα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται παγκοσμίως αυξανόμενο ενδιαφέρον για την εφαρμογή διαφόρων συστημάτων προστασίας στα δίκτυα μετρό. Ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από τις αυτόματες θύρες επί των αποβαθρών (Platform Screen Doors - PSDs), που χρησιμοποιούνται σε σταθμούς του μετρό για τον διαχωρισμό της πλατφόρμας από τις γραμμές του τρένου. Αξίζει να αναφερθεί ότι η παγκόσμια τάση είναι η υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας στους περισσότερους σταθμούς που πρόκειται να κατασκευαστούν. Οι στατιστικές επιβεβαιώνουν ότι σχεδόν το 90% όλων των σταθμών του μετρό που κατασκευάστηκαν μεταξύ 2008 και 2018 είναι εξοπλισμένοι με PSDs που εμποδίζουν την πρόσβαση των ανθρώπων στις γραμμές του μετρό όταν ο συρμός δεν βρίσκεται στο σταθμό.

Η εγκατάσταση PSD σε σταθμούς του μετρό έχει μειώσει δραστικά τον αριθμό των αυτοκτονιών (κατά 76% στα ιαπωνικά μετρό, κατά 89% στα συστήματα μετρό της Νότιας Κορέας και σχεδόν 91% στο μετρό της πόλης της Σαγκάης. (Ueda, 2015)

Ένα άλλο πλεονέκτημα του συστήματος PSD είναι η μείωση του θορύβου στους σταθμούς του μετρό. Σε κατάλληλες μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν σε (24) υπόγειους και υπέργειους σταθμούς στο μετρό της Ιαπωνίας, βρέθηκε ότι τα PSD μειώνουν το επίπεδο θορύβου κατά περίπου 8 dB. Στην πραγματικότητα λειτουργούν ως ένα εικονικό τείχος

σταματώντας τον θόρυβο (χαμηλές συχνότητες) που παράγεται από τους διερχόμενους συρμούς. (Soeta Y., 2012.)

Επίσης, ο διαχωρισμός μεταξύ της πλατφόρμας και των σηράγγων που παρέχεται από το σύστημα PSD συμβάλει στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα εντός των σταθμών. Μειώνοντας σημαντικά την μεταφορά ρύπων από τις σήραγγες στους σταθμούς. (Yang, 2020)

Τέλος, το φαινόμενο του εμβόλου “piston effect”, είναι ένα συνηθισμένο φυσικό φαινόμενο που εμφανίζεται σε υπόγειες σήραγγες και αυτοκινητόδρομους, το οποίο είναι ασταθής ροή αέρα που προκαλείται από το τρένο. Η ορθολογική χρήση του φαινομένου του εμβόλου έχει μεγάλες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC (θέρμανση-εξαερισμός και κλιματισμός) των σταθμών, σε συνδυασμό με τον κατάλληλο τύπο συστήματος PSD. (Junbin Yang, 2021)

Είναι προφανές ότι τα PSD προσφέρουν πολυάριθμα οφέλη. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι τα PSD αποτελούν ένα φυσικό εμπόδιο που εμποδίζει ανθρώπους ή αντικείμενα να φτάσουν στις γραμμές του μετρό.

1. Ιστορική Αναδρομή

1.1 Πρώτη εμφάνιση

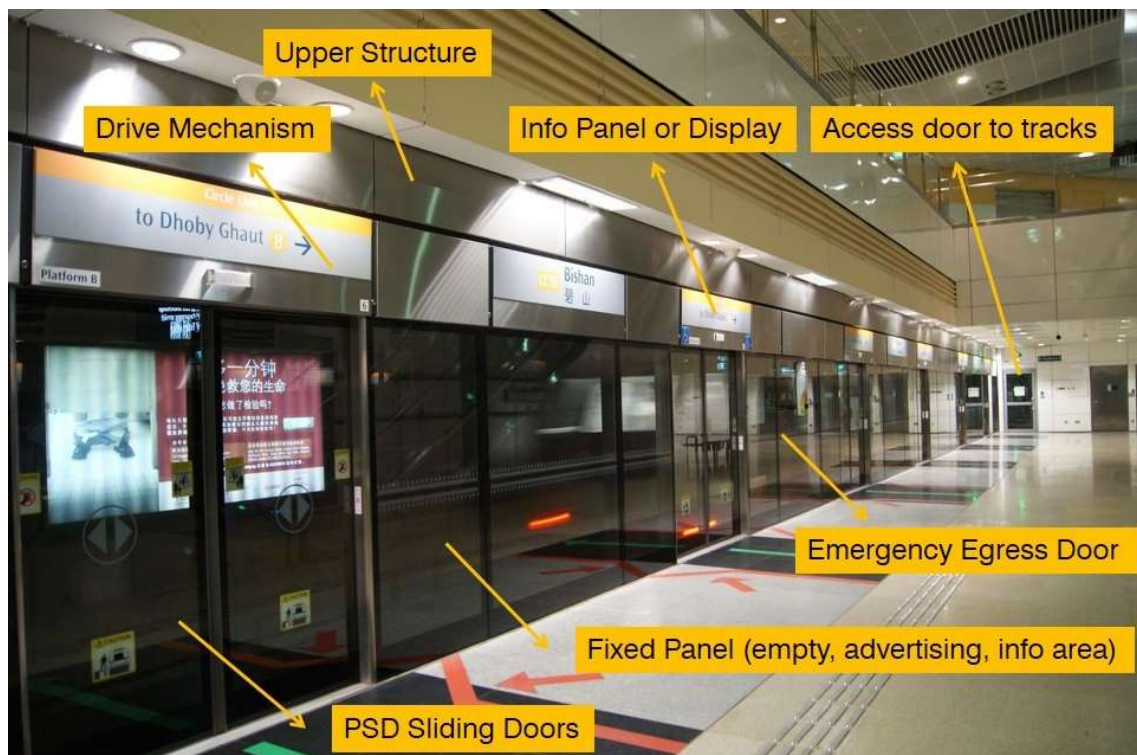
Η πρώτη εμφάνιση των θυρών αποβάθρας στον κόσμο, είναι στη γραμμή 2 του μετρό της Αγίας Πετρούπολης στην Ρωσία. Όπου δέκα (10) σταθμοί άνοιξαν μεταξύ 1961 και 1972. Στην πραγματικότητα οι «θύρες» στις αποβάθρες, είναι ανοίγματα στον τοίχο των σταθμών, όπου ο τοίχος στηρίζει την οροφή της πλατφόρμας. Σε αντίθεση με άλλα συστήματα θυρών αποβάθρας, αποτελούμενα από ελαφριές μονάδες με εκτεταμένους υαλοπίνακες εγκατεστημένους στην άκρη της πλατφόρμας. Οι μονάδες της Αγίας Πετρούπολης αποτελούνται από συμπαγή τοίχο με βαριές συρόμενες πόρτες, κατασκευασμένες από χάλυβα. Οι επιβάτες δεν έχουν οπτική επαφή όταν το τρένο εισέρχεται στην πλατφόρμα-μόνο ο ήχος του τρένου υποδηλώνει την άφιξη του.

Εν συνεχεία το 1983, το πρώτο πλήρως αυτοματοποιημένο Μετρό (χωρίς την ανάγκη οδηγού) στο Lille της Γαλλίας, είναι εξοπλισμένο με θύρες αποβάθρας σε κάθε σταθμό του (Bushell, 1995).

Ενώ, το Mass Rapid Transit (MRT), της Σιγκαπούρης που άνοιξε το 1987, ενσωμάτωσε το πρώτο σύστημα θυρών πλήρους ύψους επί των αποβαθρών (Wikipedia, 2020).

1.2 Τύποι

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες συστημάτων αυτόματων θυρών. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα (Platform Screen Doors – PSD), τα οποία εκτείνονται από το δάπεδο μέχρι την οροφή των σταθμών, περικλείοντας την περιοχή της τροχιάς και της σήραγγας και δεν επιτρέπουν την κυκλοφορία αέρα μεταξύ του σταθμού και των σηράγγων. Ενώ στην δεύτερη κατηγορία έχουμε τις Θύρες Άκρων Αποβάθρας (Platform Edge Doors – PED), όπου είναι πλήρους ύψους αλλά δεν φθάνουν στην οροφή των σταθμών. (railsystem.net, n.d.)



Εικόνα 1.3.1: Εφαρμογή συστήματος (PSD), σε σταθμό.

| | |
|---|---|
| Drive Mechanism: | Μηχανισμός μετάδοσης κίνησης θύρας |
| Upper Structure: | Οροφή Σταθμού |
| Info Panel or Display: | Πάνελ Πληροφοριών ή Οθόνη |
| Access door to tracks: | Θύρα Πρόσβασης από τις τροχιές |
| Emergency Egress Door: | Θύρα εξόδου έκτακτης ανάγκης |
| Fixed Panel | Σύστημα σταθερών υαλοπινάκων |
| (Empty, advertising, info area): | (κατάλληλο για διαφημιστικό υλικό, περιοχή πληροφοριών) |
| PSD Sliding Doors: | Συρόμενες Θύρες PSD |



Εικόνα 1.3.2: Εφαρμογή συστήματος (PED), σε σταθμό.

| | |
|---|---|
| Drive Mechanism: | Μηχανισμός μετάδοσης κίνησης θύρας |
| Sliding Doors: | Συρόμενες Θύρες |
| Emergency Egress Door: | Θύρα εξόδου έκτακτης ανάγκης |
| Fixed Panel | Σύστημα σταθερών υαλοπινάκων |
| (Empty, advertising, info area): | (κατάλληλο για διαφημιστικό υλικό, περιοχή πληροφοριών) |
| Indication Light: | Οπτική ένδειξη |

Ενδιαφέρον, αποτελεί το σύστημα “Vertical Platform Screen Doors (VPSD)”, Κάθετες Θύρες Αποβάθρας. Προσφάτως, τέθηκε σε λειτουργία το παραπάνω σύστημα στο μετρό της Βαρκελώνης. (railwaypro, 2019) Αποτελούνται από μια σταθερή κατακόρυφη κατασκευή με οδηγούς, όπου δύο διαφανή υαλοπίνακες κινούνται πάνω και κάτω. Κατεβαίνοντας το σύστημα σχηματίζει ένα φυσικό φράγμα ύψους περίπου 160 εκατοστών μεταξύ του τρένου και της άκρης της πλατφόρμας. Κατά το ανέβασμα, το σύστημα υαλοπινάκων διπλώνει, αφήνοντας τους επιβάτες να μπουν και να βγουν από το τρένο. Είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν αυτόματα, συγχρονισμένα με τη διέλευση των τρένων.

Σε σύγκριση με τις οριζόντιες συρόμενες πόρτες, οι κάθετες προσφέρουν το πλεονέκτημα της παροχής πολύ ευρύτερων χώρων πρόσβασης άνω των 7 μέτρων, πράγμα που σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητο τα τρένα να κάνουν πολύ ακριβείς στάσεις ούτε να έχουν ακριβώς την ίδια κατανομή θυρών. Για το λόγο αυτό είναι κατάλληλα για μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων γραμμών, ακόμη και εκείνων που συνδυάζουν τρένα διαφορετικής σειράς, όπως συμβαίνει σε ορισμένες από τις γραμμές του μετρό της Βαρκελώνης.

Μια παραλλαγή του παραπάνω συστήματος (VPSD), είναι ο τύπος “Rope –type platform screen doors (RSD)” θύρες τύπου σχοινιού, που τις συναντάμε κυρίως σε Ασιατικές χώρες. Οι θύρες αυτές, χρησιμοποιούνται κυρίως για να μειωθεί το κόστος εγκατάστασης, αλλά και για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των διαφορετικών τύπων τρένων με διαφορετικό μήκος και δομές πόρτας τρένου που χρησιμοποιούν τις ίδιες πλατφόρμες. (rsd, n.d.)

Τέλος, θα αναφερθούμε στο πιο πρόσφατο τεχνολογικά σύστημα, που είναι το “Variable-type platform screen doors (VP-PSD), Θύρες πλατφόρμας μεταβλητού τύπου. Οι πρώτες θύρες του συγκεκριμένου συστήματος εγκαταστάθηκαν στις υπόγειες πλατφόρμες του σταθμού

Οσάκα στην Ιαπωνία. Η χρήση τους, μέχρι στιγμής είναι σπάνια, καθώς αποτελούν δαπανηρή και πολύπλοκη λύση σε σχέση με τις προαναφερθείσες.

Οι θύρες έχουν σχεδιαστεί ως ενιαίο μπλοκ (ίσο με το μήκος ενός βαγονιού). Όταν το τρένο φτάσει στο σταθμό, ένας ειδικός σαρωτής στην πλατφόρμα λαμβάνει και σαρώνει τις πληροφορίες που υπάρχουν στην ετικέτα ταυτότητας που τοποθετείται σε κάθε τρένο για να προσδιορίσει τον τύπο και τον αριθμό των βαγονιών του. Καθώς ο τύπος και ο αριθμός των βαγονιών για το εισερχόμενο τρένο έχει εντοπιστεί αμέσως, κάθε μονάδα κινείται αυτόματα για να ταιριάζει με το μήκος των σταματημένων βαγονιών. Δεδομένου ότι η τεχνολογία είναι ακόμα νέα, τέτοιες πόρτες εξακολουθούν να περνούν δοκιμές σε αρκετές χώρες σε όλο τον κόσμο (Public Relations Office of the Government of Japan, 2022)



Εικόνα 1.3.3: Παράδειγμα Σταθμού, Πριν και Μετά την εγκατάσταση συστήματος (PSD).

2. Μελέτη συστήματος PSD για το Μετρό Θεσσαλονίκης

2.1 Περιγραφή της δομής του συστήματος

Στο ΚΕΦ.2, αναπτύσσεται προκαταρκτική μελέτη του συστήματος PSD, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο τεύχος της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. με τίτλο: «ΜΕΛΕΤΗ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣ ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΜΕΛΕΤΩΝ, ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ, ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ – ΘΥΡΕΣ ΑΠΟΒΑΘΡΩΝ (PSD)». Κωδικός εγγράφου : Κ_DP15800 (Α.Ε., 2013).

Στον ακόλουθο Πίνακα διακρίνουμε τα Τεχνικά Χαρακτηριστικά που πρέπει να λάβουμε υπόψη στην μελέτη του συστήματος, προκειμένου να εναρμονίζεται με τις απαιτήσεις της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε..

| α/α | ΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ | ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΤΙΜΕΣ |
|------------|---|--|
| 1 | Ύψος PSD | 2.500 mm |
| 2 | Ύψος θυρών MSD/EED/PED | 2000 mm |
| 3 | Εύρος Ανοίγματος θυρών MSD | 2000 mm |
| 4 | Εύρος Ανοίγματος θυρών EED | 900 mm, ανοιγόμενη προς τα έξω |
| 5 | Εύρος Ανοίγματος θυρών PED | 900 mm , ανοιγόμενη προς τα έξω |
| 6 | Χρόνος που απαιτείται για πλήρες άνοιγμα των θυρών MSD | 2.5 - 3.0 sec |
| 7 | Χρόνος που απαιτείται για πλήρες κλείσιμο των θυρών MSD | 3 - 3.5 sec |
| 8 | Μέγιστη κινητική ενέργεια των μηχανοκίνητων συρόμενων θυρών (MSD) | 10 Joules <i>(Κατά το κλείσιμο των MSD, η οριακή τιμή της κινητικής ενέργειας της θύρας για τα τελευταία 100mm της διαδρομής του φύλλου θα είναι λιγότερο από 1 Joule/φύλλο).</i> |
| 9 | Μέγιστη δύναμη κλεισίματος των θυρών (MSD) | 150N/φύλλο |
| 10 | Οριακή μέγιστη ταχύτητα | < 0,6ms |

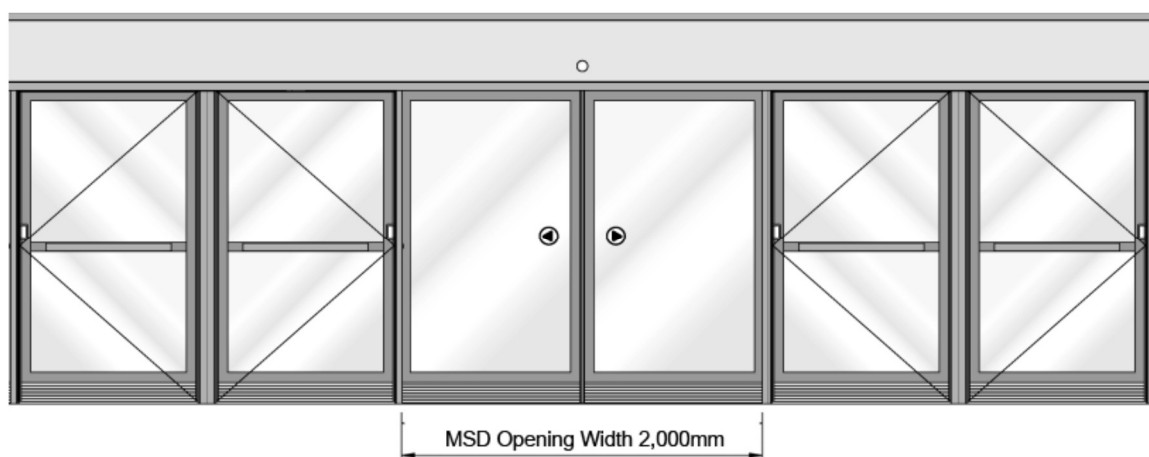
| | | |
|------------|--|--|
| 11 | Στάθμη θορύβου σε απόσταση 1m από την άκρη της αποβάθρας | < 73dB |
| α/α | Απαιτήσεις Φόρτισης | ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΤΙΜΕΣ |
| 1 | Φορτίο Επιβατών (Crowd Load) | +3kN / ανά τρέχον μέτρο αποβάθρας |
| 2 | Φορτίο από την πίεση του τραίνου | <ul style="list-style-type: none"> • ελάχιστη τιμή πίεσης ± 250 Pa (0,25 kN/m²) από το φαινόμενο «πιστονιού» του τραίνου με επιπλέον 10 % όριο, • μία πρόσθετη πίεση of ± 100 Pa (0,1 kN/m²), οφειλόμενη στην λειτουργία των ανεμιστήρων των φρεάτων αερισμού • μία πίεση από 1 kPa (1 kN/m²) που εφαρμόζεται στις PSD όταν αμφότερα τα ανοίγματα εκτόνωσης σ' ένα σταθμό είναι κλειστά. |
| 3 | Σεισμικά φορτία | Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του αντισεισμικού κανονισμού ΝΕΑΚ, που έχει μια τιμή της τάξεως ± 0.27 g (g = επιτάχυνση βαρύτητας) |
| 4 | Φορτία κρούσης | Με ένα κρουστικό όργανο 45 kg συνολικής μάζας σε ύψος κρούσης 1219 mm θα αιωρείται για κρούση με τις PSD (αναφορά στο BS 6206) ¹ . |

Πίνακας 2.1.1: Τεχνικά Δεδομένα συστήματος PSD, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Α.Μ.

¹ British Standards (Βρετανικά Πρότυπα) BS 6206: Προδιαγραφές κρούσης για επίπεδο γυαλί ασφαλείας και πλαστικά ασφαλείας σε κτιριακές εφαρμογές.

2.1.1 Μηχανοκίνητη Συρόμενη Θύρα (MSD)

Οι μηχανοκίνητες Συρόμενες Θύρες (MSD), τοποθετούνται στην άκρη της αποβάθρας κοντά στη θέση της σιδηροδρομικής επιδομής ώστε να ευθυγραμμίζονται με τις θύρες των οχημάτων κατά τη στάση του συρμού στην αποβάθρα. Ο σύνηθες τρόπος κίνησης των MSD είναι ηλεκτρομηχανικά.



Εικόνα 3.1.1: Μηχανοκίνητη Συρόμενη Θύρα (MSD).

Όταν ένα σύνολο θυρών (MSD) δεν έχει ασφαλίσει, μία λυχνία ενδείξεων, ευκρινώς εμφανής από οποιαδήποτε θέση της αποβάθρας, ανάβει επάνω από το κούφωμα κάθε θύρας. Ενώ ο μηχανισμός ασφάλισης των (MSD) δεν λειτουργεί στην περίπτωση που ανιχνεύσει εμπόδιο.

2.1.2 Θύρες Διαφυγής Κινδύνου (EED)

Πρόκειται για χειροκίνητες θύρες διαφυγής με μεντεσέδες που ανοίγουν προς την αποβάθρα, ενώ διαθέτουν μηχανισμούς κλειδώματος και χειροκίνητης απελευθέρωσης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Κάθε θύρα EED είναι κανονικά κλειστή και κλειδωμένη, ενώ η υφιστάμενη κατάσταση κάθε θύρας παρακολουθείται από το σύστημα ελέγχου.

2.1.3 Θύρες Άκρων Αποβάθρας (PED)

Οι θύρες PED τοποθετούνται στα άκρα των αποβαθρών για πρόσβαση από τις τροχιές. Είναι θύρες ισοδύναμες λειτουργικά με τις EED και με όλους τους μηχανισμούς που προαναφέρθηκαν για αυτές.



Εικόνα 2.1.1: παρουσίαση των θυρών του συστήματος PSD.

2.1.4 Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης

Το σύστημα μετάδοσης κίνησης περιλαμβάνει τον πλήρη εξοπλισμό λειτουργίας της δίφυλλης θύρας και αποτελείται:

- Από τη διάταξη ενεργοποίησης,
- Τον μηχανισμό μετάδοσης κίνησης,
- Την μονάδα ανάρτησης θύρας,

Τα παραπάνω είναι τοποθετημένα μέσα στο κιτίο κεφαλής PSD.

Η Διάταξη Ενεργοποίησης: πρόκειται για επαγωγικούς κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής αξιοπιστίας που ελέγχονται από την εκάστοτε μονάδα ελέγχου θυρών (DCU), η οποία περιλαμβάνει διατάξεις ελέγχου θέσης και ταχύτητας των κινούμενων θυρών.

Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης: διασυνδέεται με την διάταξη ενεργοποίησης ώστε να μεταφέρει την κινητική ενέργεια στους τροχούς κύλισης των θυρών για να ανοίξει ή να κλείσει τα δύο φύλλα των θυρών. Χρησιμοποιούνται ενισχυμένοι ιμάντες με οδόντωση και ατέρμονες, επιτυγχάνοντας συγχρονισμένη και ομαλή κίνηση των φύλλων των θυρών.

2.1.5 Πίνακας Κεντρικού Ελέγχου επί Αποβαθρών (PSC)

Ο πίνακας κεντρικού ελέγχου (PSC) αποτελεί το κεντρικό σημείο σύνδεσης όλων των σημάτων ελέγχου και παρακολούθησης μέσα στα πλαίσια του συστήματος PSD. Οι διεπιφάνειες με όλα τα εξωτερικά συστήματα (BACS, σύστημα διαχείρισης ασφαλείας και σύστημα σηματοδότησης) πραγματοποιούνται επίσης από τον πίνακα (PSC). Τοποθετείται στο τεχνικό χώρο του σταθμού και παρακολουθεί την συνολική κατάσταση λειτουργίας ενός συστήματος PSD.

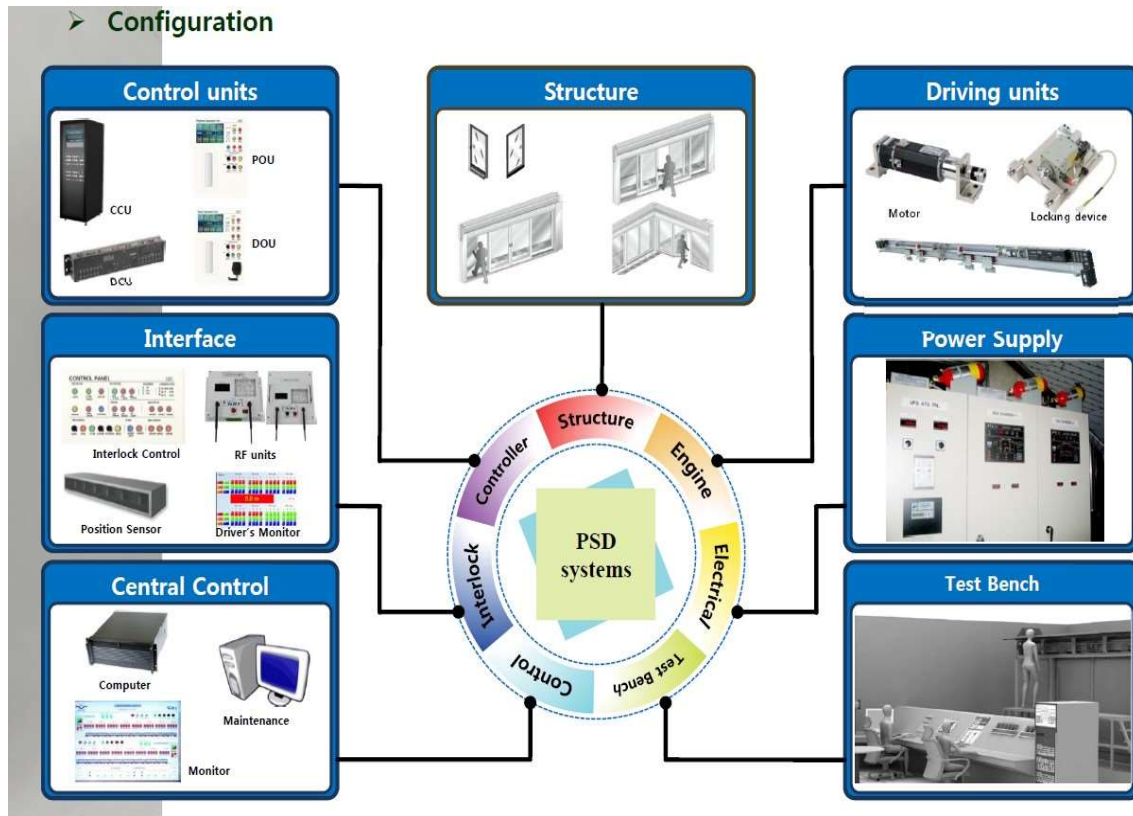
2.1.6 Πίνακας Τοπικού Ελέγχου των Θυρών επί Αποβαθρών (PSL)

Σε κάθε αποβάθρα, υπάρχει ένας τοπικός πίνακας ελέγχου (PSL), για να παρέχει τις λειτουργίες ανοίγματος και κλεισίματος των θυρών (MSD), αλλά και την ένδειξη της υφιστάμενης κατάστασης του συστήματος των θυρών και είναι προσβάσιμος από το προσωπικό συντήρησης.

2.1.7 Μονάδα Ελέγχου Θυρών (DCU)

Οι μονάδες ελέγχου θυρών (DCU) βρίσκονται πάνω από κάθε σετ θυρών MSD στο κιτίο κεφαλής των PSD και λειτουργούν αποκλειστικά για ένα μόνο σετ θυρών. Οι κυριότερες λειτουργίες του είναι:

- Λαμβάνει καλωδιακά σήματα εντολών όπως ΑΝΟΙΓΜΑ/ΚΛΕΙΣΙΜΟ Θύρας,
- Διαθέτει κατάλληλες ενδείξεις για την κατάσταση λειτουργίας των θυρών,
- Ανταλλάσσει δεδομένα με τον κεντρικό πίνακα ελέγχου (PSC), μέσω πρωτόκολλου επικοινωνίας,
- Ελέγχει και επιτηρεί το σύστημα μετάδοσης κίνησης,



Εικόνα 2.1.2: Συνοπτική παρουσίαση ενός συστήματος PSD.

2.2 Διεπιφάνειες του συστήματος PSD

2.2.1 Γενικά

Το σύστημα ελέγχου (PSD) αλληλοεπιδρά με διαφορετικά συστήματα του Μετρό. Όπως:

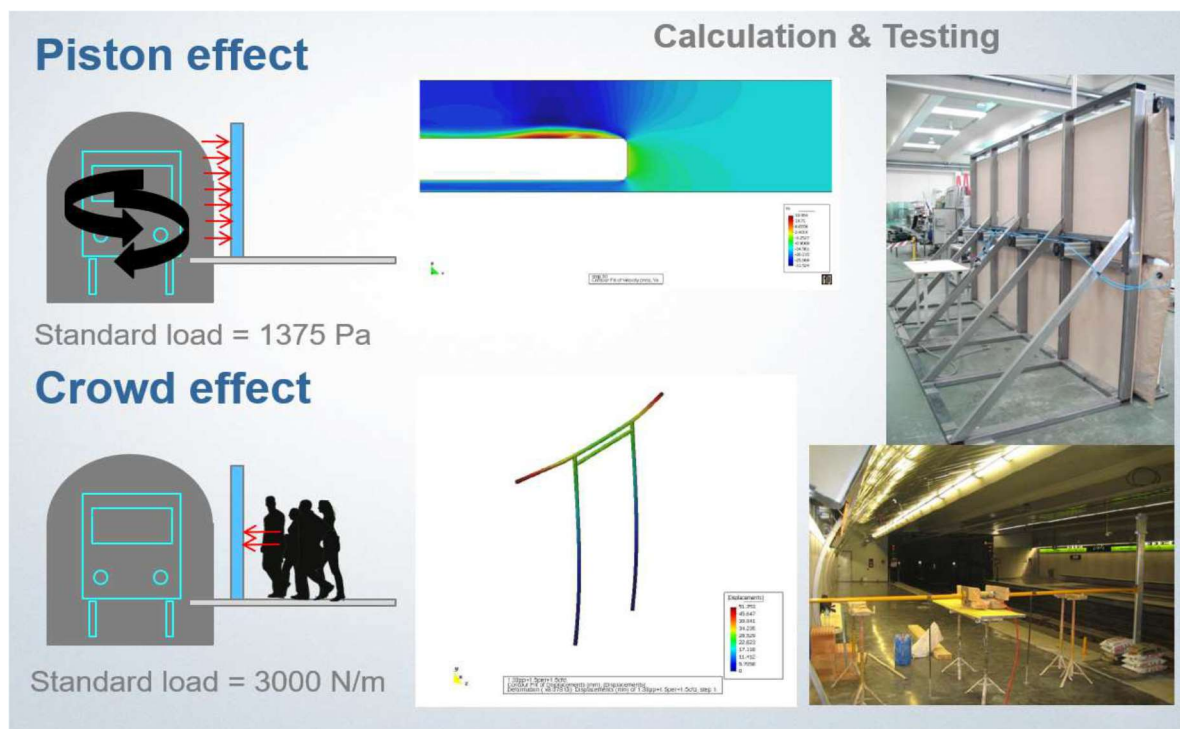
- Τροχαίο Υλικό (RS),
- Σύστημα Σηματοδότησης (SIG),
- Σύστημα Ελέγχου (BACS) & Ασφαλείας (SMS),
- Σύστημα Παροχής Ισχύος,
- Έργα πολιτικού μηχανικού,

Σε κάθε περίπτωση, από το στάδιο της μελέτης, της κατασκευής έως της εγκατάστασης ενός συστήματος (PSD), θα πρέπει να διασφαλίζονται από τον ανάδοχο, τουλάχιστον οι απαιτήσεις που αναφέρονται στις παρακάτω υπό-παραγράφους.

2.2.2 Διεπιφάνεια με το Τροχαίο Υλικό

a) Οι παραμορφώσεις των θυρών PSD από φορτία που οφείλονται :

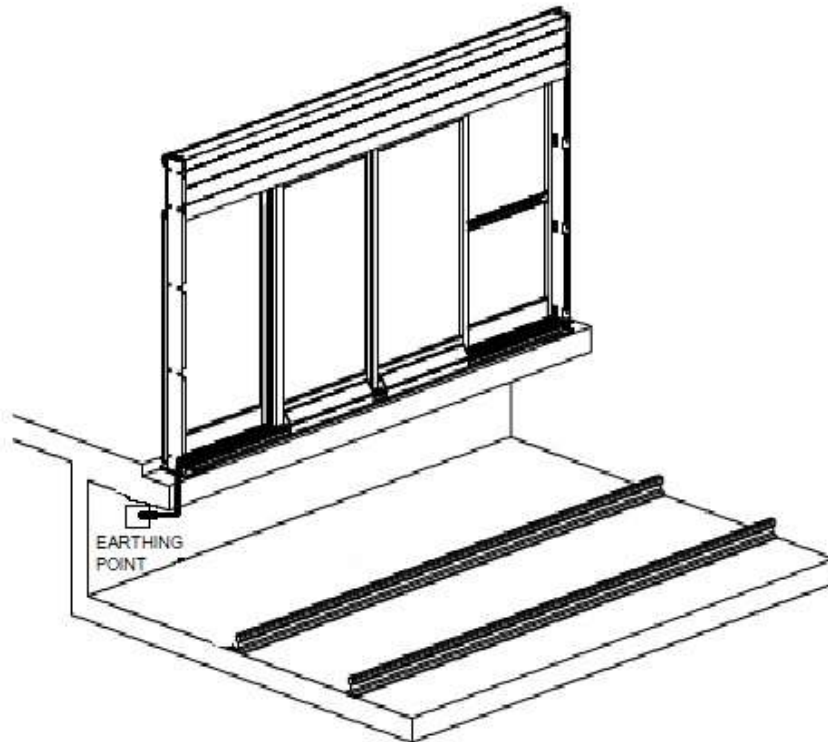
- Στο φαινόμενο «πιστονιού» / “piston effect” του τραίνου,
- Στην πρόσθετη πίεση από την λειτουργία των ανεμιστήρων στα φρέαρ αερισμού,
- Στα φαινόμενα των κυκλικών και επαναληπτικών φορτίσεων που σχετίζονται με τα φορτία συνωστισμού των επιβατών “crowd effect”,



Εικόνα 2.2.2: τα μεγέθη Αντοχής των θυρών σύμφωνα με τα φορτία της μελέτης.

b) Ισοδυναμική γείωση :

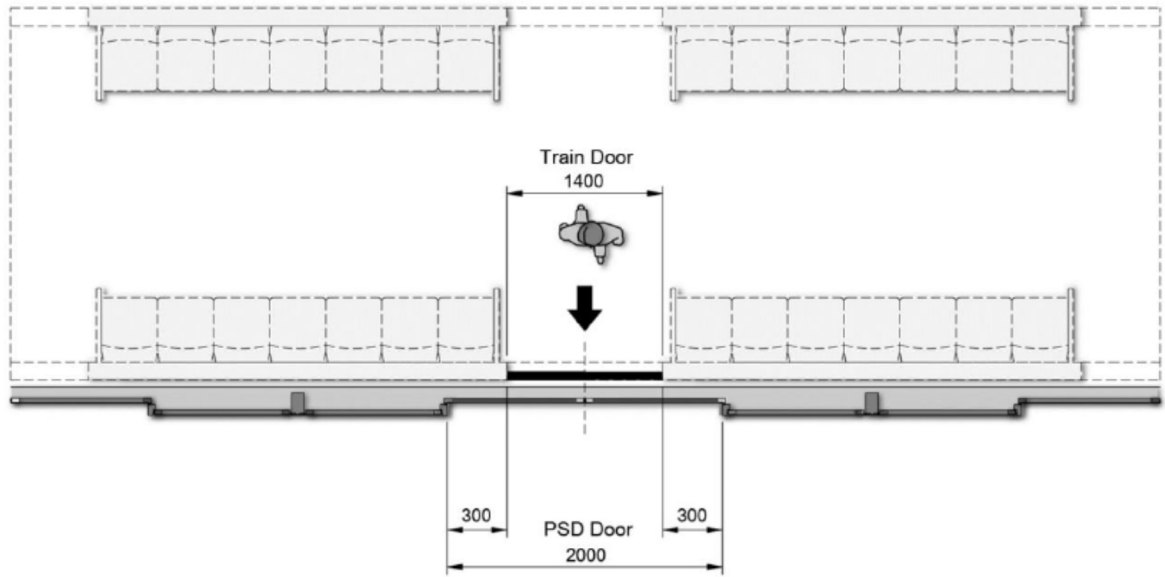
Για την αποφυγή τάσης επαφής του συστήματος PSD, θα πρέπει να διαθέτει ίδιο δυναμικό με το αμάξωμα του συρμού. Συνεπώς, όλα τα μεταλλικά μέρη που εκτίθενται στο επιβατικό κοινό ή στο προσωπικό λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού, γειώνονται στο σύστημα γείωσης της πλατφόρμας κατά μήκος του σταθμού.



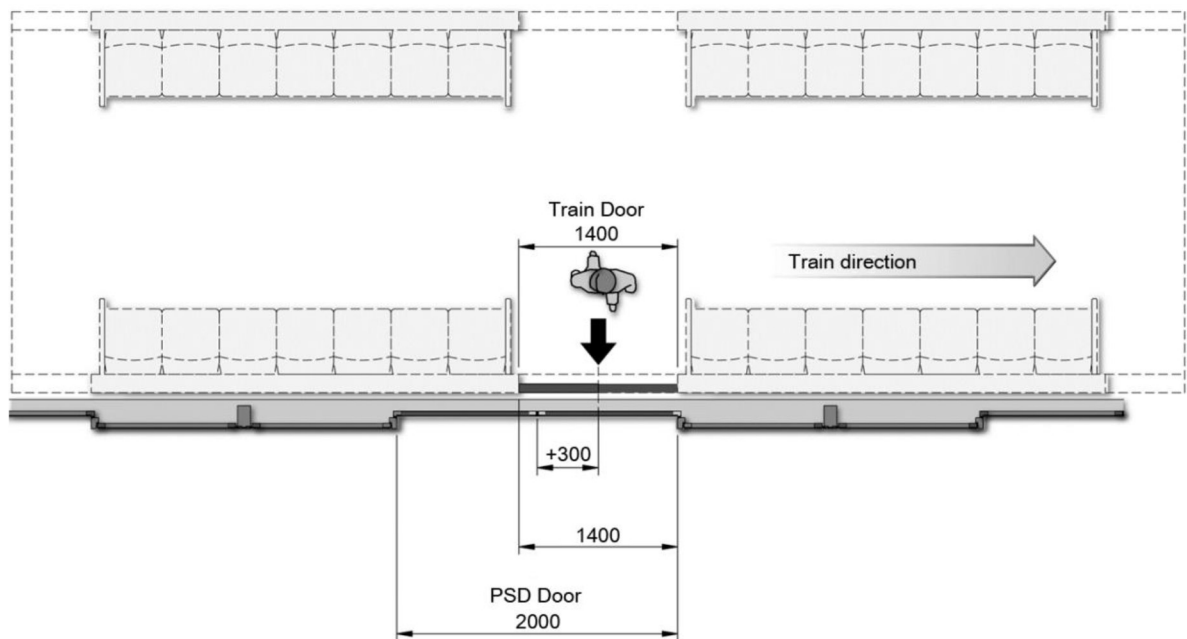
Εικόνα 2.2.3: Γείωση του συστήματος PSD με την Πλατφόρμα.

c) Διαστασιολόγηση του πλάτους ανοίγματος των θυρών (MSD) :

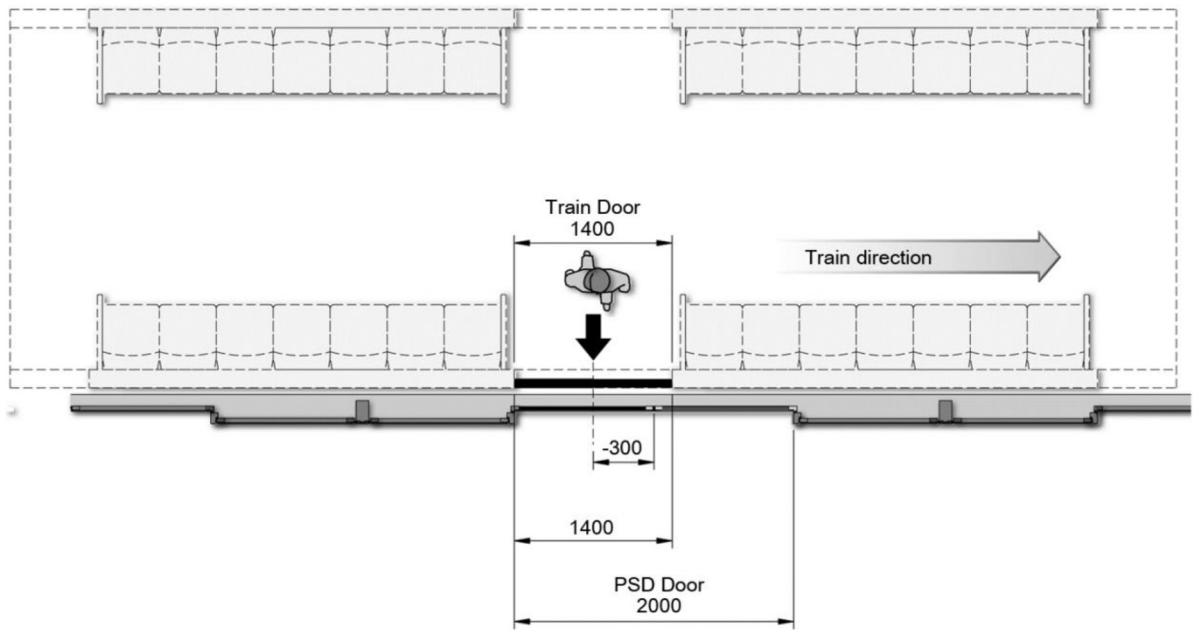
Θέτοντας δεδομένη την διάσταση των θυρών του συρμού ίση με 1,4m, ο κατασκευαστής θα πρέπει να υπολογίσει την διάσταση των θυρών (MSD), λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη του το σφάλμα πέδησης του συρμού “breaking error”. Στο παράδειγμα, που διακρίνεται στις κάτωθι εικόνες, ο κατασκευαστής έχει διαπιστώσει ότι το σφάλμα πέδησης είναι $\pm 300\text{mm}$, εξασφαλίζοντας την ασφαλή επιβίβαση και αποβίβαση του κοινού.



Εικόνα 2.2.4: *A. Βέλτιστη θέση σταματήματος του συρμού (± 0).*






Εικόνα 2.2.5: *B. ο συρμός σταματά μετά την Βέλτιστη θέση (+300).*



Εικόνα 2.2.6: Γ. ο συρμός σταματά πριν την Βέλτιστη θέση (-300).

2.2.3 Διεπιφάνεια με το Σύστημα Σηματοδότησης (SIG)

Τα σήματα που ανταλλάσσουν μεταξύ τους τα δύο συστήματα, το σύστημα σηματοδότησης (SIG) και το σύστημα (PSD), διακρίνονται στον παρακάτω πίνακα:

| ΣΥΣΤΗΜΑ (SIG) | ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ | ΣΥΣΤΗΜΑ (PSD) | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΗΜΑΤΟΣ |
|---------------|--|---------------|--|
| |  | | Το σύστημα SIG στέλνει το σήμα : "PERMISSION" (άδεια), στο σύστημα PSD να επιτρέψει την αυτόματη λειτουργία των Συρόμενων Θυρών (MSD), από μία αποβάθρα. |
| |  | | Το σύστημα SIG στέλνει το σήμα : "OPENING/CLOSING" (άνοιγμα/κλείσιμο), στο σύστημα PSD, προκειμένου να ανοίξει ή να κλείσει τις Συρόμενες Θύρες (MSD), από μία αποβάθρα. |
| |  | | Το σύστημα PSD στέλνει το σήμα : "ALL DOORS CLOSED" (όλες οι πόρτες κλειστές), στο σύστημα SIG, όταν όλες οι Θύρες (MSD) και θύρες Διαφυγής Κινδύνου (EED) είναι κλειστές και ασφαλισμένες, από την ίδια αποβάθρα. |

Πίνακας 2.2.3: Σήματα μεταξύ των συστημάτων (SIG-PSD).

2.2.4 Διεπιφάνεια με το Σύστημα Ελέγχου (BACS) & Ασφαλείας (SMS)

Όλα τα δεδομένα παρακολούθησης και συναγερμού του συστήματος (PSD), διαβιβάζονται στο σύστημα ελέγχου (BACS) και στο σύστημα ασφαλείας (SMS), μέσω πρωτόκολλου επικοινωνίας.

2.2.5 Διεπιφάνεια με το Σύστημα παροχής ισχύος

Το Σύστημα διανομής Χαμηλής Τάσης 400V/230V AC, του σταθμού τροφοδοτεί το σύστημα (PSD) μέσω Αδιάλειπτης Μονάδας Παροχής Ισχύος (UPS).

Επιπλέον, για την προστασία των επιβατών από έμμεση επαφή εκτός από τις ισοδυναμικές γειώσεις των μεταλλικών μερών του συστήματος PSD, συμπληρωματικά εφαρμόζεται ηλεκτρικός διαχωρισμός των κυκλωμάτων τροφοδοσίας των τοπικών πινάκων του, με την βοήθεια μετασχηματιστή απομόνωσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, που δεν έχουμε γειωμένο σύστημα επιβάλλεται η χρήση επιτηρητή μόνωσης. Ο επιτηρητής δίνει σήμα μόλις εμφανιστεί σημαντική μείωση του επιπέδου της μόνωσης χωρίς να διακόψει την τροφοδοσία, επιτρέποντας την ανίχνευση και διόρθωση της αιτίας, πριν δοθεί και δεύτερο σφάλμα του επιτηρητή όπου ακολουθεί αποκοπή του κυκλώματος.

2.2.6 Διεπιφάνεια με Έργα Πολιτικού Μηχανικού

Ο Κατασκευαστής θα καθορίσει τον τρόπο ανάρτησης του σκελετού του συστήματος PSD, την ακριβή θέση και τα φορτία τα οποία θα ληφθούν υπόψη κατά τη στατική μελέτη του σταθμού. Επίσης, θα συντονίσει τη μελέτη του συστήματος PSD με την αρχιτεκτονική μελέτη του σταθμού όσον αφορά στα τελειώματα, στην ενσωμάτωση φωτιστικών σωμάτων / μεγαφώνων / εσχάρων αερισμού στην μετώπη της διάταξης των θυρών και στις τελικές θέσεις εξοπλισμού (τοπικοί πίνακες ελέγχου).

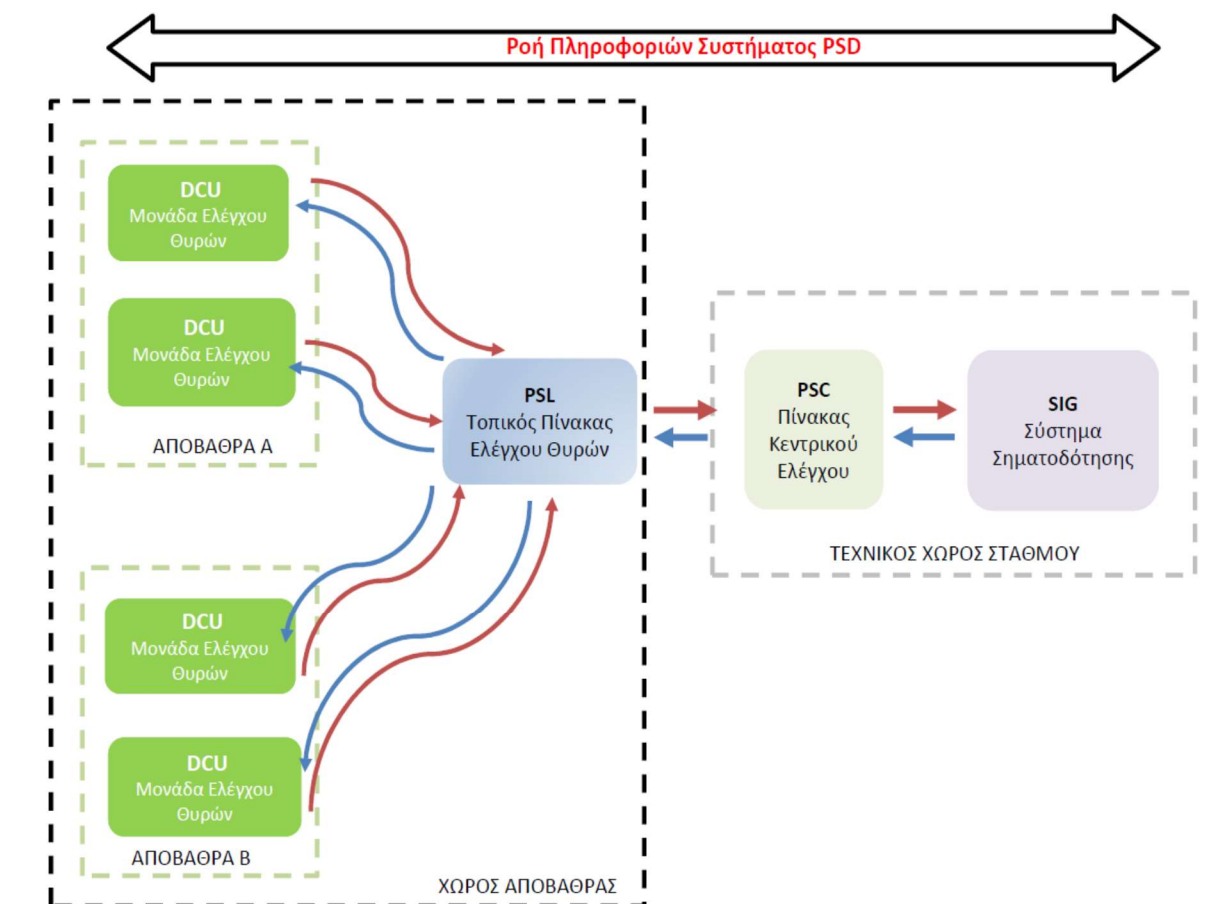
2.3 Ροή Πληροφοριών και Δίκτυο Επικοινωνίας

Μεταξύ των εμπλεκόμενων συστημάτων η ανταλλαγή των δεδομένων πρέπει να είναι αμφίδρομη, αξιόπιστη και σε πραγματικό χρόνο. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχτηκε το βιομηχανικό Ethernet όπου κύριος εκφραστής του, είναι το πρωτόκολλο Profinet. (Schneider, n.d.) Η αποστολή των δεδομένων είναι σε real-time και στέλνονται απευθείας από το επίπεδο ζεύξης στο επίπεδο εφαρμογής προσπερνώντας τα υπόλοιπα επίπεδα. Οι βασικές του λειτουργίες είναι :

- Η κυκλική διακίνηση δεδομένων, όπου όλα τα δεδομένα εισοδό/εξόδων του ελεγκτή, τις απομακρυσμένες μονάδες και τα υπόλοιπα υποσυστήματα μεταδίδονται σε ένα κύκλο λειτουργίας.

- Η διάγνωση δικτύου και συσκευών, που αποτελεί μια τυποποιημένη διαδικασία συλλογής δεδομένων από τα διάφορα υποσυστήματα έτσι ώστε να διαμορφωθεί μια συνολική εικόνα λειτουργίας του συστήματος.

Επιπλέον, στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιείται το λογισμικό Profisafe, όπου είναι αναπόσπαστο κομμάτι του profinet, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα των fail safe σημάτων στις διάφορες συσκευές ασφάλειας και των ελεγκτών τους.



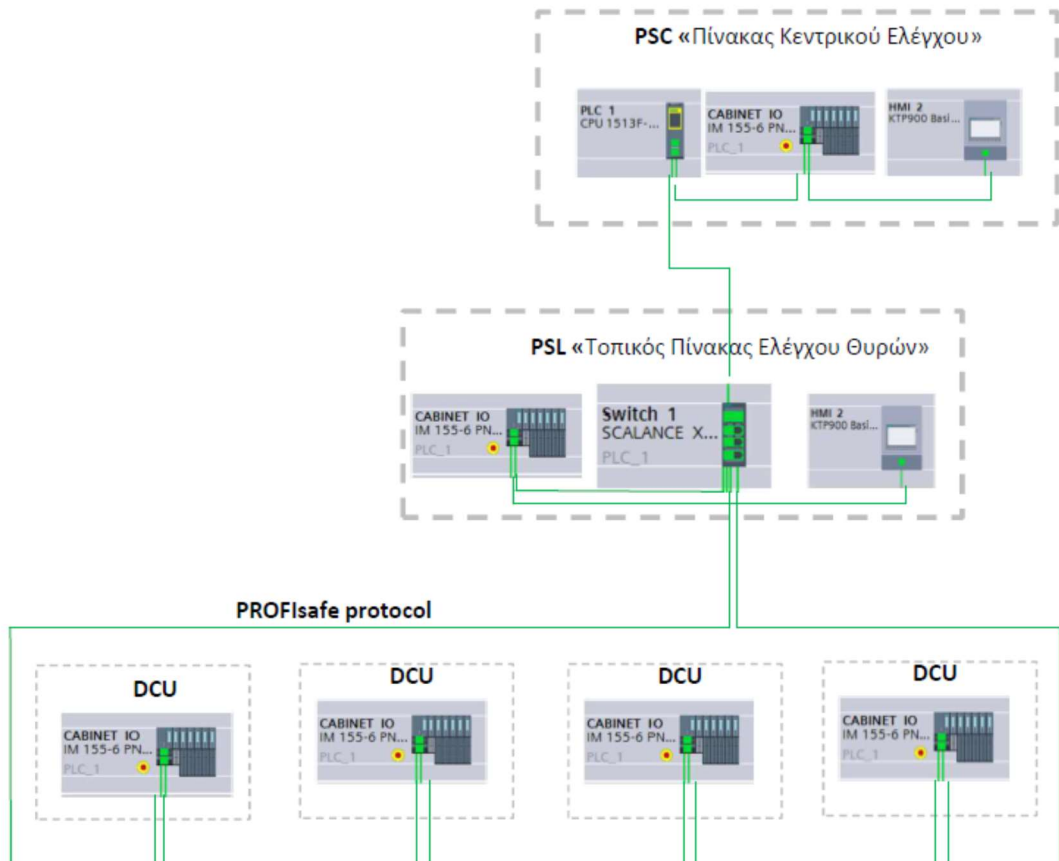
Εικόνα 2.3.1: Ροή ανταλλαγής δεδομένων

Η αρχιτεκτονική δικτύου ProfiSafe του συστήματος PSD, έχει δομηθεί ως εξής:

- Σε κάθε μονάδα ελέγχου θυρών (DCU), υπάρχει μια απομακρυσμένη μονάδα (Safety Remote I/O), με το κατάλληλο πλήθος αναλογικών και ψηφιακών καρτών ασφαλείας² προκειμένου να συλλέξει καλωδιακά τα απαραίτητα σήματα του Η/Μ εξοπλισμού. Το δίκτυο επικοινωνίας κάθε μονάδας DCU, διασυνδέεται με την επόμενη μονάδα, ενώ οι τερματικές μονάδες καταλήγουν σε κατάλληλο μεταγωγέα δικτύου “Switch”, δημιουργώντας ένα κλειστό δακτύλιο, όπως διακρίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.
- Εν συνεχεία, ο πίνακας τοπικού ελέγχου (PSL), αποτελείται από μια απομακρυσμένη μονάδα (Safety Remote I/O), τον μεταγωγέα δικτύου “Switch” και μια οθόνη αφής (HMI). Σε κάθε αποβάθρα υπάρχει ένας πίνακας ελέγχου PSL, όπου παρέχει τις λειτουργίες ανοίγματος και κλεισίματος των μηχανοκίνητων θυρών MSD, ένδειξη της υφιστάμενης κατάστασης του συστήματος των θυρών και της λειτουργίας παράκαμψης της αλληλασφάλισης.
- Στον τεχνικό χώρο του σταθμού, τοποθετείται ο κεντρικός πίνακας ελέγχου (PSC), που διαθέτει την κεντρική μονάδα ελέγχου (Fail Safe CPU³), την απομακρυσμένη μονάδα (Safety Remote I/O) και την κεντρική οθόνη αφής (HMI). Αποτελεί το κεντρικό σημείο σύνδεσης όλων των σημάτων ελέγχου και παρακολούθησης μέσα στα πλαίσια του συστήματος PSD και επικοινωνεί με τα υπόλοιπα συστήματα του σταθμού (σύστημα σηματοδότησης SIG), BACS, κλπ.

² Οι συγκεκριμένες κάρτες επιτρέπουν στον χρήστη να δημιουργήσει ένα σύστημα ελέγχου/δίκτυο ασφαλείας που πληροί τις απαιτήσεις του επιπέδου ασφαλείας (SIL-3) σύμφωνα με το IEC 61508 και τις απαιτήσεις να πληρούν την κατηγορία 4 σύμφωνα με το EN-954-1.

³ Η Fail safe CPU διαθέτει διαγνωστικά για τον έλεγχο των συσκευών του συστήματος, ενώ στην περίπτωση εύρεσης προβληματικού υλικού λαμβάνει διορθωτικά μέτρα ανάλογα με τη διαμόρφωση του χρήστη.



Εικόνα 2.3.2: Αρχιτεκτονική Δικτύου “PROFIsafe”

2.4 Δικλείδες Ασφαλείας του συστήματος PSD

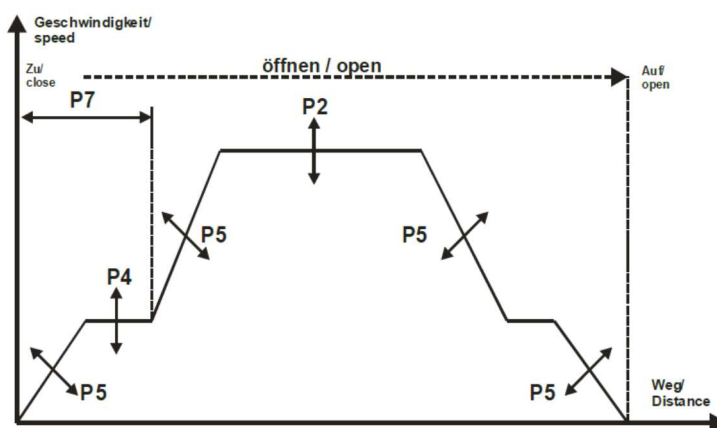
2.4.1 Μηχανισμός Ανίχνευσης Εμποδίου

Η μονάδα ελέγχου θυρών (DCU), επιτρέπει την παραμετροποίηση της δύναμης (ροπής) και ταχύτητας ανοίγματος και κλεισίματος των μηχανοκίνητων συρόμενων θυρών (MSD). Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια των “inverters” μετατροπείς συχνότητας, που τροφοδοτούν τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος μεταβάλλοντας κατάλληλα την συχνότητα και την τάση εξόδου.

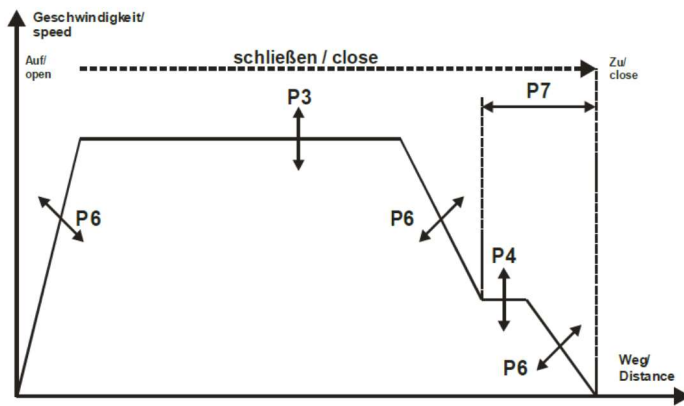
Επιπλέον, ένας μαγνητικός κωδικοποιητής “encoder” τοποθετείται στο πίσω κάλυμμα του κινητήρα, εντοπίζοντας το ακριβές σημείο στο οποίο είναι περιστραμμένος ο άξονας του κινητήρα. Από τα ηλεκτρικά σήματα που παράγει ο “encoder”, η μονάδα (DCU) υπολογίζει την φορά και την ταχύτητα περιστροφής, γνωρίζοντας κάθε φορά την θέση των θυρών.

Στα παρακάτω γραφήματα διακρίνουμε τον κύκλο ταχύτητας σε σχέση με τον χρόνο ανοίγματος και αντίστοιχα τον χρόνο κλεισίματος των μηχανοκίνητων συρόμενων θυρών (MSD). Τα σύμβολα που εμφανίζονται, εκφράζονται ως εξής:

- P2 → Μέγιστη Ταχύτητα Ανοίγματος σε (m/s)
- P3 → Μέγιστη Ταχύτητα κλεισίματος σε (m/s)
- P4 → Ταχύτητα ασφάλισης – απασφάλισης σε (m/s)
- P5 → Ταχύτητα Επιτάχυνσης – Επιβράδυνσης κατά το άνοιγμα σε (m/s²)
- P6 → Ταχύτητα Επιτάχυνσης – Επιβράδυνσης κατά το κλείσιμο σε (m/s²)
- P7 → Απόσταση ασφάλισης – απασφάλισης σε (cm)



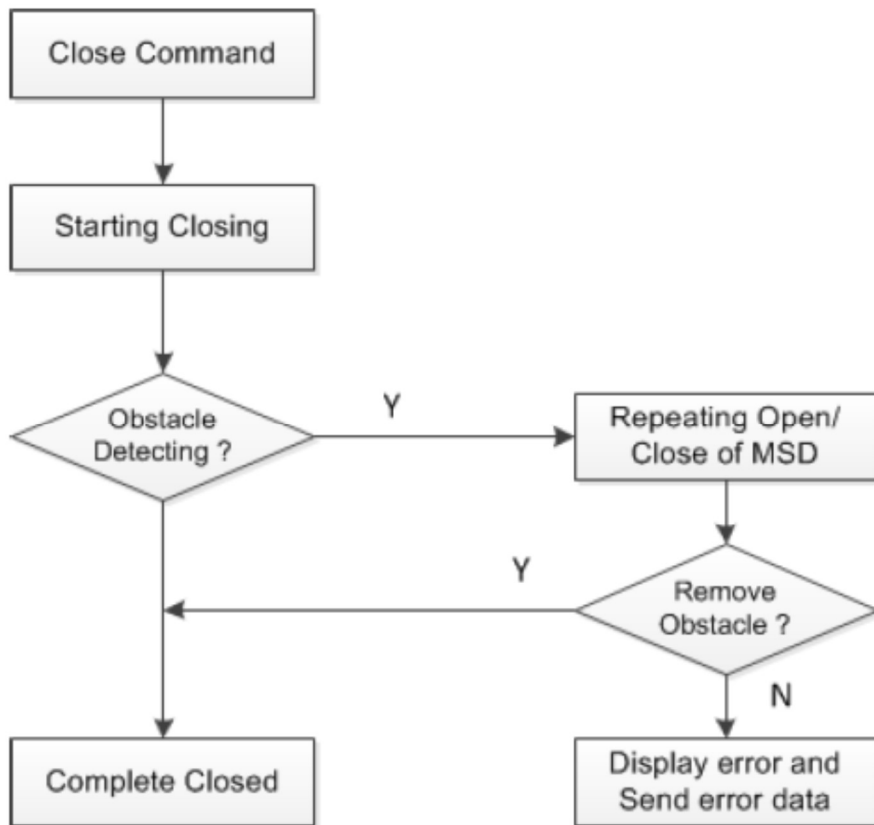
Εικόνα 2.4.1.1: Γράφημα κύκλου ανοίγματος Μηχανοκίνητης Θύρας



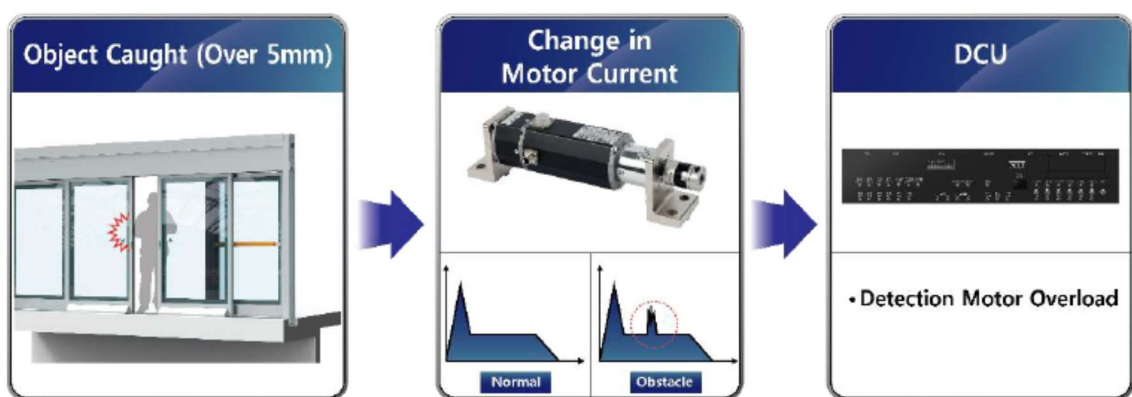
Εικόνα 2.4.1.2: Γράφημα κύκλου Κλεισίματος Μηχανοκίνητης Θύρας

Ο μηχανισμός ανίχνευσης εμποδίων λειτουργεί κατά την διάρκεια του κύκλου κλεισίματος των θυρών, σύμφωνα με την κάτωθι αλληλουχία :

1. Ο ελεγκτής δίνει σήμα συναγερμού μετά από την παρέλευση προκαθορισμένου χρόνου.
2. Μειώνει την εφαρμοζόμενη ροπή των θυρών, προκειμένου την απελευθέρωση του ατόμου ή αντικείμενου που βρίσκεται ανάμεσα σε αυτές.
3. Εφόσον, ο χρόνος για την παραπάνω διαδικασία παρέλθει, οι θύρες κλείνουν ξανά με την ονομαστική τους ροπή.
4. Στην περίπτωση που οι θύρες δεν κλείσουν μετά από καθορισμένες προσπάθειες το σύστημα ελέγχου δηλώνει αποτυχία κλεισίματος και σταματάει την διαδικασία.



Εικόνα 2.4.1.3: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας Ανίχνευσης εμποδίων.

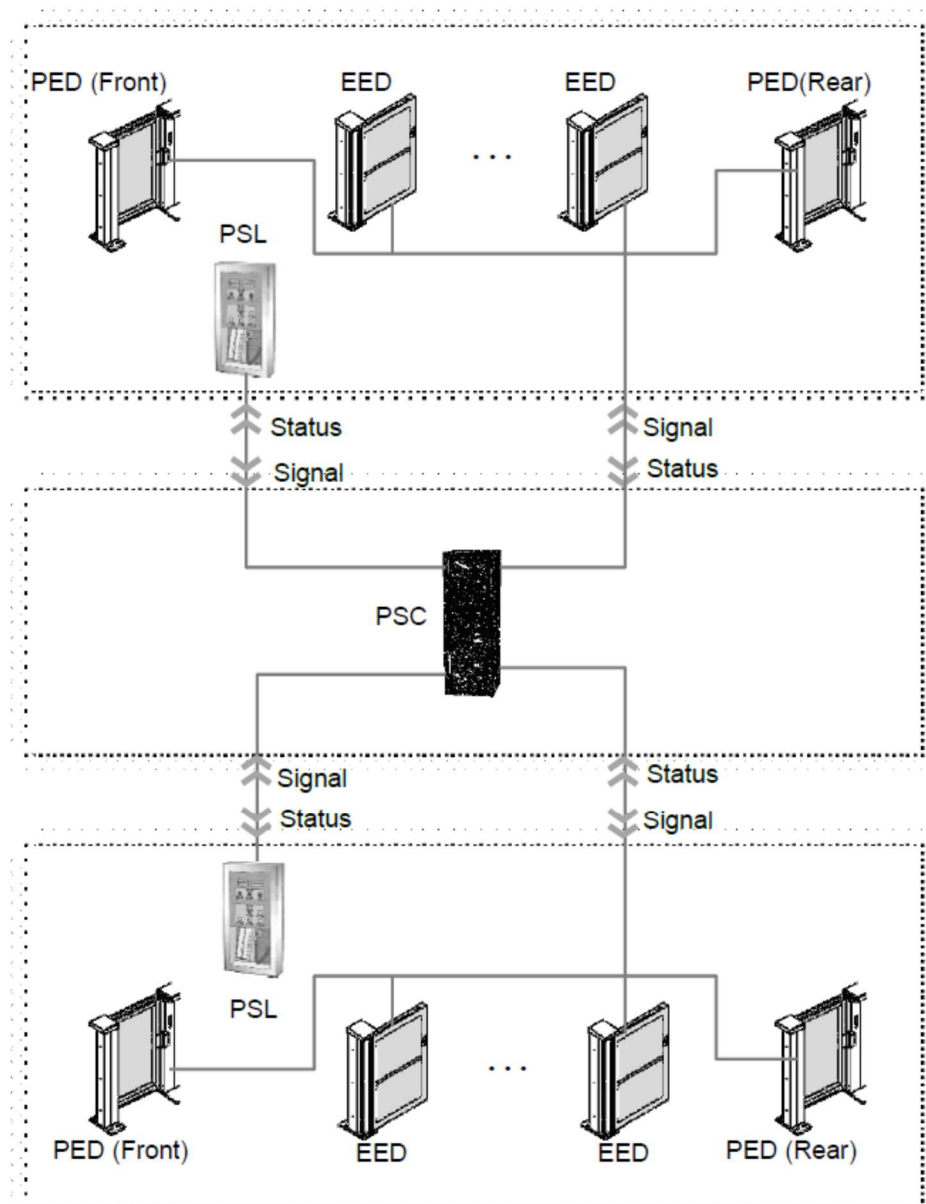


Εικόνα 2.4.1.4: Κατά την Ανίχνευση εμποδίων δημιουργούνται απότομες μεταβολές του ρεύματος του κινητήρα, τις οποίες αντιλαμβάνεται η μονάδα ελέγχου θυρών (DCU).

2.4.2 Ασφαλής Ανίχνευση Κατάστασης Θυρών

Η κλειστή και ασφαλισμένη θέση των συρόμενων θυρών (MSD) επιτηρείται από τερματικούς διακόπτες ασφαλείας σε κάθε θύρα. Το σύστημα κλειδώματος θυρών επιτρέπεται να απασφαλίσει μόνο με την ύπαρξη ηλεκτρικής τάσης ή χρησιμοποιώντας το μηχανισμό απελευθέρωσης έκτακτης ανάγκης.

Αντίστοιχα οι χειροκίνητες Θύρες Διαφυγής Κινδύνου (EED) και οι Θύρες Άκρων Αποβάθρας (PED), διαθέτουν τερματικούς διακόπτες ασφαλείας για την επιτήρηση της κατάστασης των θυρών στις πλατφόρμες του σταθμού.



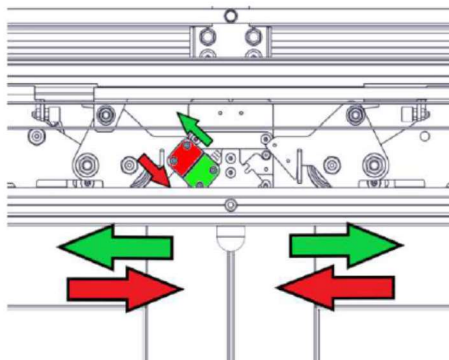
Εικόνα 2.4.2.1: Σχηματικό διάγραμμα επιτήρησης θυρών Κινδύνου (EED) & θυρών (PED).

Ένα αυθέρετο άνοιγμα των παραπάνω θυρών, παράγει ένα σήμα συναγερμού “Doors Not Closed”, μετά την παρέλευση προκαθορισμένου χρόνου χωρίς την απενεργοποίηση του προαναφερθός σήματος συναγερμού, το σύστημα PSD «κλειδώνει» την κατάσταση αυτή και ενημερώνει το σύστημα σηματοδότησης (SIG).

Για να μπορέσουν να ενεργοποιηθούν οι θύρες θα πρέπει :

1. Το κεντρικό σύστημα ελέγχου του συρμού να στείλει σήμα ότι η αμαξοστοιχία βρίσκεται στην πλατφόρμα.
2. Το σύστημα σηματοδότης (SIG) να δώσει το σήμα ενεργοποίησης των θυρών.
3. Εφόσον δεν υπάρχει σήμα συναγερμού “Doors Not Closed” και το σύστημα (PSD) βρίσκεται στην αυτόματη λειτουργία, ο ελεγκτής εντολοδοτεί τις έξόδους των απομακρυσμένων μονάδων I/O για να ενεργοποιήσουν τις μηχανοκίνητες θύρες (MSD).

Οι τερματικοί διακόπτες ασφαλείας είναι διπλών επαφών (1NO +1NC), δηλαδή κάθε φορά επιτηρούνται δύο κανάλια για κάθε θέση της θύρας, εξασφαλίζοντας το επίπεδο ασφαλείας (SIL34). Όπως διακρίνουμε στον παρακάτω πίνακα αληθείας, δεν μπορούμε να έχουμε ταυτόχρονα την ίδια κατάσταση στα δύο κανάλια, αυτό σηματοδοτεί σφάλμα στο σύστημα επιτήρησης.



| Position | Limit Switch | |
|-----------------|--------------|------|
| | CH 1 | CH 2 |
| OPEN | 1 | 0 |
| CLOSE | 0 | 1 |
| ERROR !! | 1 | 1 |
| ERROR !! | 0 | 0 |

Εικόνα 2.4.2.2: Τερματικός Διακόπτης Ασφαλείας θυρών (διπλής επαφής).

⁴ Το IEC61508 είναι ένα διεθνές πρότυπο για τη λειτουργική ασφάλεια σε ηλεκτρικές, ηλεκτρονικές και προγραμματιζόμενες ηλεκτρονικές συσκευές. Καθορίζει τις απαιτήσεις για το σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη συντήρηση συστημάτων, ώστε να πληρούν ένα συγκεκριμένο επίπεδο ακεραιότητας ασφαλείας (SIL).

2.4.3 Χρήση Συσκευής Ασφαλείας

Σε κάθε τοπικό πίνακα ελέγχου (PSL), τοποθετείται ένα μπουτόν ασφαλείας με μηχανική επαναφορά. Η λειτουργία του, είναι απλή και ασφαλής, εφόσον πατηθεί το κομβίο, ολόκληρο το σύστημα PSD θα σταματήσει. Η επαναφορά του συστήματος γίνεται τοπικά και όχι αυτόματα, από τον χειριστή, που θα πρέπει να εισέρθει στο συγκεκριμένο πίνακα (PSL) για να επιβλέψει την κατάσταση και εφόσον κρίνει ότι δεν υπάρχει πρόβλημα, επαναφέρει μηχανικά στην ορθή κατάσταση το μπουτόν ασφαλείας, ενεργοποιώντας με αυτόν τον τρόπο την κανονική λειτουργία του συστήματος PSD.

Το μπουτόν ασφαλείας συνδέεται σε κατάλληλη συσκευή ασφαλείας “safety relay”, εξασφαλίζοντας την διακοπή κίνησης των μηχανοκίνητων θυρών, καλύπτοντας το στάδιο ασφαλείας SL3.

2.5 Περιγραφή Λειτουργίας του συστήματος PSD

Το σύστημα PSD, διαθέτει τέσσερις τρόπους λειτουργίας και είναι οι εξής:

- Αυτόματος/Automatic,
- Χειροκίνητος/manual,
- Συντήρηση/Maintenance,
- Απομονωμένη/Isolated,

Για κάθε ηλεκτροκινούμενη θύρα, υπάρχει ένας επιλογικός διακόπτης τριών θέσεων (AUTO – MAINTEN.- ISOLATED), τοποθετημένος στην μονάδα ελέγχου θυρών (DCU). Ενώ στην πρόσοψη, κάθε τοπικού πίνακα ελέγχου (PSL), υπάρχει χειροκίνητος διακόπτης δύο θέσεων (AUTO – MANUAL).

Η λειτουργία (Συντήρησης και Απομονωμένη) που επιλέγονται από την μονάδα (DCU), έχουν προτεραιότητα σε σχέση με την επιλογή λειτουργίας (Αυτόματη-Χειροκίνητη) από τον τοπικό πίνακα (PSL). Αντιθέτως η επιλογή της χειροκίνητης λειτουργίας από τον πίνακα (PSL) έχει προτεραιότητα σε σχέση με την αυτόματη λειτουργία που επιλέγεται στην μονάδα (DCU). Στην παρακάτω εικόνα, διακρίνεται ο πίνακας αληθείας με την θέση των επιλογικών διακοπών και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος.

| SELECTOR PSL-LCP | | SELECTOR DCU | | | MODE |
|------------------|--------|--------------|----------|----------|-------------|
| AUTO | MANUAL | AUTO | MAINTEN. | ISOLATED | SELECTED |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | AUTOMATIC |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | MAINTENANCE |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | ISOLATED |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | MANUAL |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | MAINTENANCE |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | ISOLATED |

Εικόνα 2.5.1.1: Πίνακας Αληθείας επιλογικών διακοπών.

- Ανίχνευση Εμποδίου: Αν το κλείσιμο μιας μηχανοκίνητης θύρας εμποδίζεται, το σύστημα μετάδοσης κίνησης στην θύρα ανιχνεύει το εμπόδιο και σταματά προσωρινά την κίνηση κλεισίματος. Επακολουθεί αυτόματο εκ νέου άνοιγμα της θύρας.
- Αυτόματη Επανάληψη Ανοίγματος: Σε περίπτωση που το σήμα ΟΛΕΣ ΟΙ ΘΥΡΕΣ ΚΛΕΙΣΤΕΣ δεν επιβεβαιωθεί, η αυτόματη λειτουργία επανάληψης του ανοίγματος της MSD θα κάνει όλες τις θύρες MSD που δεν έχουν αποδεδειγμένα κλείσει, να ξαναανοίξουν. Το εύρος του ανοίγματος της θύρας είναι ρυθμιζόμενο από 100mm έως 500mm και η καθυστέρηση για το εκ νέου κλείσιμο της θύρας είναι επίσης ρυθμιζόμενη από 0 έως 30 δευτερόλεπτα.
- Παράκαμψη Κλειδώματος θυρών MSD/EED: Σε περίπτωση που το σήμα ΟΛΕΣ ΟΙ ΘΥΡΕΣ ΚΛΕΙΣΤΕΣ δεν επιβεβαιωθεί και, για λειτουργικούς λόγους, απαιτηθεί η παράκαμψη του σήματος, τότε ενεργοποιείται το σήμα ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ ΚΛΕΙΔΩΜΑΤΟΣ MSD/EED με τη χρησιμοποίηση ενός διακόπτη με ελατήριο επιστροφής στον τοπικό πίνακα ελέγχου PSL, που σχετίζεται με την απαίτηση παράκαμψης του σήματος MSD/EED ΚΛΕΙΣΤΕΣ.
- Βλάβη του Συστήματος: Σε περίπτωση απόλυτης βλάβης του συστήματος λόγω απώλειας ισχύος, όποιες θύρες είναι ανοικτές θα επιστρέφουν με ασφάλεια στην κλειστή θέση με ήπια δύναμη κλεισίματος χωρίς ανάγκη επέμβασης του προσωπικού.

Η διαδικασία αυτόματης λειτουργίας (ανοίγματος-κλεισίματος) των μηχανοκίνητων συρόμενων θυρών (MSD), καθώς επίσης και τα σήματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των συστημάτων σηματοδότησης (SIG) και του συστήματος PSD, διακρίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

| Διαδικασία Αυτόματης Λειτουργίας | | | | |
|----------------------------------|-----|-----|-----|--|
| # | SIG | PLC | DCU | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΗΜΑΤΟΣ |
| 1 | | | | είσοδος των συρμών στον σταθμό. |
| 2 | ● → | | | Ο συρμός σταματά με ακρίβεια στην προσδιορισμένη θέση. |
| 3 | ● → | | | Δίδεται άδεια για ενεργοποίηση των αυτόματων θυρών. |
| 4 | ● → | | | Εντολή ενεργοποίησης των αυτόματων θυρών. |
| 5 | | ● → | | Εντολή ενεργοποίησης των αυτόματων θυρών (PLC). |
| 6 | | | ● | Η μονάδα (DCU), ανοίγει τις θύρες. |
| 7 | ← ● | | | Πληροφορία Κατάστασης των θυρών |
| 8 | | ● | | Το PLC «κρατάει» τις θύρες ανοικτές. |
| 9 | ● → | | | Εντολή κλεισίματος των θυρών. |
| 10 | | ● → | | Εντολή κλεισίματος των θυρών (PLC). |
| 11 | | | ● | Η μονάδα (DCU), κλείνει τις θύρες. |
| 12 | ← ● | | | Πληροφορία Κατάστασης των θυρών |
| 13 | ← ● | | | Επιτρέπεται η αναχώρηση των συρμών. |
| 14 | | | | Οι συρμοί αναχωρούν από τον σταθμό. |
| 15 | ● → | | | Απενεργοποίηση του σήματος « ο συρμός σταματά στην προσδιορισμένη θέση». |

Εικόνα 2.5.1.2: Ακολουθία Σημάτων Αυτόματης Λειτουργίας .

Επίσης, ακολουθεί ο πίνακας με την διαδικασία χειροκίνητης λειτουργίας του συστήματος (PSD). Οι διαδικασίες ανοίγματος και κλεισίματος της θύρας πραγματοποιούνται με τα τοπικά κουμπιά ανοίγματος και κλεισίματος.

| Διαδικασία Χειροκίνητης Λειτουργίας (PSL) | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|---|
| # | SIG | PLC | PSL | DCU | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΗΜΑΤΟΣ |
| 1 | | | | | Ο χειριστής θέτει τον επιλογικό διακόπτη στον τοπικό πίνακα (PSL) στην χειροκίνητη (manual) θέση. |
| 2 | | ← | | • | Μεταφέρεται το σήμα ότι ο επιλογικός διακόπτης βρίσκεται σε χειροκίνητη θέση. |
| 3 | | | | | είσοδος των συρμών στον σταθμό. |
| 4 | • | → | | | Ο συρμός σταματά με ακρίβεια στην προσδιορισμένη θέση. |
| 5 | • | → | | | Δίδεται άδεια για ενεργοποίηση των αυτόματων θυρών. |
| 6 | | | | | Ο χειριστής ενεργοποιεί τα τοπικά κουμπιά ανοίγματος των θυρών. |
| 7 | | ← | • | | Ο τοπικός πίνακας (PSL), στέλνει σήμα ανοίγματος των θυρών. |
| 8 | | • | → | | Εντολή ενεργοποίησης (άνοιγμα) των αυτόματων θυρών (PLC). |
| 9 | | | | • | Η μονάδα (DCU), ανοίγει τις θύρες. |
| 10 | | | | | Ο συρμός κλείνει τις θύρες του. |
| 11 | | | | | Ο χειριστής ενεργοποιεί τα τοπικά κουμπιά κλεισίματος των θυρών. |
| 12 | | ← | • | | Ο τοπικός πίνακας (PSL), στέλνει σήμα κλεισίματος των θυρών. |
| 13 | | • | → | | Εντολή ενεργοποίησης (κλείσιμο) των αυτόματων θυρών (PLC). |
| 14 | | | | • | Η μονάδα (DCU), κλείνει τις θύρες. |
| 15 | ← | • | | | Πληροφορία Κατάστασης των θυρών |
| 16 | ← | • | | | Επιτρέπεται η αναχώρηση των συρμών. |
| 17 | | | | | Οι συρμοί αναχωρούν από τον σταθμό. |

| | | |
|----|--|--|
| 18 | | Απενεργοποίηση του σήματος « ο συρμός σταματά στην προσδιορισμένη θέση». |
|----|--|--|

Εικόνα 2.5.1.2: Ακολουθία Σημάτων Χειροκίνητης Λειτουργίας .

Τέλος, ακολουθούν οι πίνακες ακολουθίας σημάτων για την λειτουργία του συστήματος σε Συντήρηση/Maintenance και Απομονωμένη/Isolated.

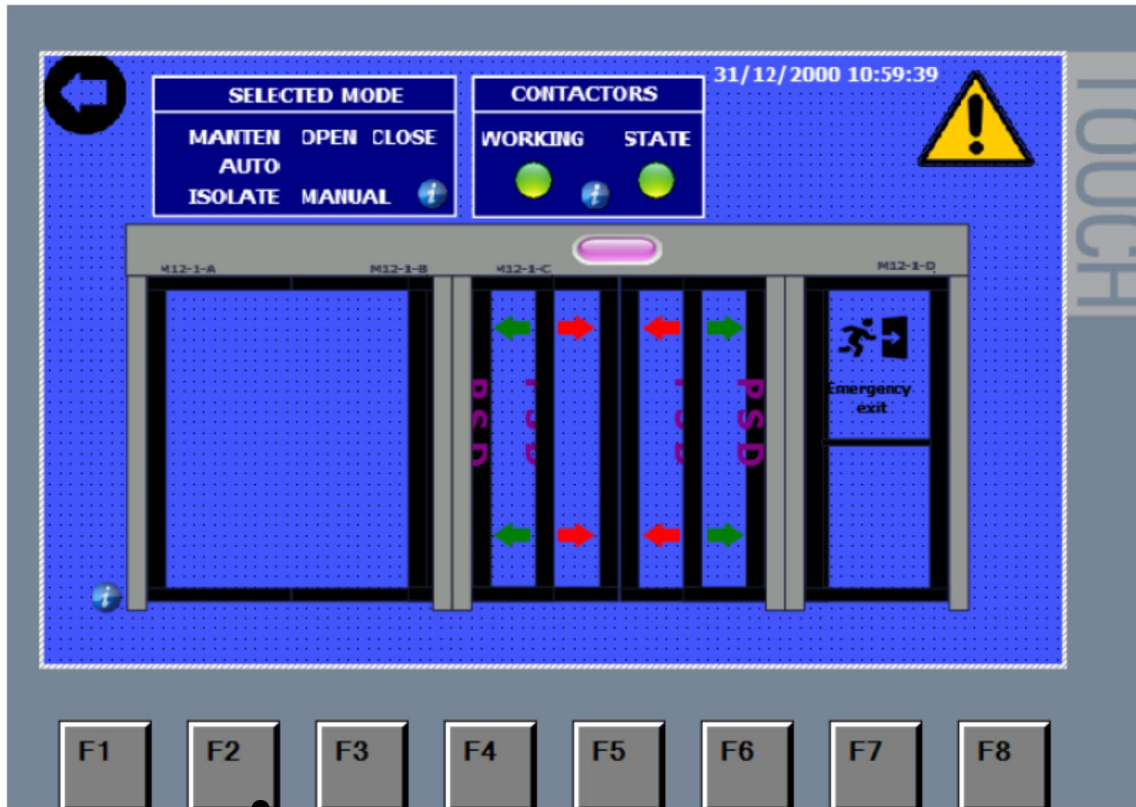
| Λειτουργία Συντήρησης /Maintenance (DCU) | | | | |
|--|-----|-----|-----|---|
| # | PLC | PSL | DCU | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΗΜΑΤΟΣ |
| 1 | | | | Ο χειριστής θέτει τον επιλογικό διακόπτη της μονάδας (DCU) στην θέση : Συντήρηση/Maintenance. |
| 2 | | | | Μεταφέρεται το σήμα ότι ο επιλογικός διακόπτης βρίσκεται στη θέση Συντήρηση/Maintenance. |
| 3 | | | | Οι εντολές ενεργοποιούνται εξαναγκασμένα από το (PLC). |
| 4 | | | | Το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρών, γίνεται από τον επιλογικό διακόπτη της μονάδας (DCU). |

Εικόνα 2.5.1.3: Ακολουθία Σημάτων σε Λειτουργία Συντήρησης .

| Απομονωμένη/Isolated Λειτουργία (DCU) | | | | |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|--|
| # | PLC | PSL | DCU | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΗΜΑΤΟΣ |
| 1 | | | | Ο χειριστής θέτει τον επιλογικό διακόπτη της μονάδας (DCU) στην θέση : Απομονωμένη/Isolated. |
| 2 | | | | Μεταφέρεται το σήμα ότι ο επιλογικός διακόπτης βρίσκεται στη θέση Απομονωμένη/Isolated. |
| 3 | | | | Οι θύρες βρίσκονται ΕΚΤΟΣ λειτουργίας. |

Εικόνα 2.5.1.3: Ακολουθία Σημάτων σε Απομονωμένη Λειτουργία.

Η παρακολούθηση της λειτουργίας κάθε μονάδας PSD, εκτός από τον κεντρική οθόνη αφής (HMI) που υπάρχει στον κεντρικό πίνακα του συστήματος (PSC), μπορεί να επιτευχθεί και από την οθόνη αφής (HMI) που βρίσκεται τοποθετημένη σε κάθε τοπικό πίνακα ελέγχου PSL. Ο χειριστής μπορεί να πλοηγηθεί στις αντίστοιχες «οθόνες» και να βρει λεπτομερείς πληροφορίες για κάθε μονάδα, όπως να δει τα ενεργά σφάλματα, αλλά και το ιστορικό αυτών.



Εικόνα 2.5.1.4: Οθόνη Αφής (HMI) τοπικού πίνακα ελέγχου PSL.

3. Διερεύνηση του συστήματος PSD σε θέματα ασφαλείας των επιβατών

3.1 Η αποτελεσματικότητα του συστήματος στην πρόληψη των ατυχημάτων στους σταθμούς του μετρό

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τα ατυχήματα των επιβατών που πέφτουν στις γραμμές, συλλέχθηκαν 223 περιπτώσεις πτώσεως επιβατών στην ηπειρωτική Κίνα από το 2000 έως τον Σεπτέμβριο του 2020. Στην παραπάνω έρευνα λήφθηκε υπόψη ότι, το 13% των δειγμάτων διέθετε σύστημα αυτόματων Θυρών (PSD) στις πλατφόρμες των σταθμών, ενώ το 87% δεν είχε σύστημα PSD.

Χρησιμοποιώντας την γνώση προηγμένων μαθηματικών και στατιστικών μοντέλων σε συνδυασμό με τα δειγματοληπτικά δεδομένα που συλλέχθηκαν, διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Οι κύριοι παράγοντες των ατυχημάτων ήταν η αυτοκτονία των επιβατών, η τυχαία πτώση στις γραμμές, η απρόσεκτη πτώση, όπως και η πτώση λόγω επήρειας αλκοόλ των επιβατών.
- Η εγκατάσταση συστήματος PSD πλήρους ύψους στους σταθμούς είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για την πρόληψη της αυτοκτονίας. Η μαθηματική ανάλυση δείχνει ότι η συσχέτιση μεταξύ της εγκατάστασης θυρών αποβάθρας στο σταθμό και του επιβάτη που πέφτει στις γραμμές κατά την διάρκεια της λειτουργίας της Αστικής Σιδηροδρομικής Διέλευσης φτάνει το 0,99, γεγονός που συμπίπτει με τα στατιστικά αποτελέσματα αυτής της περίπτωσης. (Quan Cao, 2021)

3.2 Σε περίπτωση πυρκαγιάς

Αδιαμφισβήτητα, τα συστήματα PSD έχουν μεγάλο αντίκτυπο στον εξαιρεισμό των υπόγειων σταθμών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Παρακάτω θα αναφερθούμε σε κάποιες μελέτες που έχουν γίνει κατά καιρούς για την επίπτωση των συστημάτων PSD σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Ο F. Chen και συν., διερεύνησαν το σύστημα ελέγχου καπνού σε ένα τυπικό σταθμό του μετρό ταχείας διέλευσης της Ταϊπέι, με την ύπαρξη του συστήματος PSD και χωρίς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, στην περίπτωση ύπαρξης του συστήματος PSD, η απομάκρυνση καπνού επιτυγχάνεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα από τα δύο συστήματα εξαερισμού σηράγγων. (Falin Chen, 2003)

Στην περίπτωση, της μελέτης του Roh J.S. και συν., πραγματοποιήθηκε προσομοίωση πυρκαγιάς και προσομοίωση εκκένωσης για την εκτίμηση της επίδρασης του συστήματος PSD και του εξαερισμού στην ασφάλεια ζωής των επιβατών σε πυρκαγιά τρένου στο μετρό. Χρησιμοποιώντας λογισμικό προσομοίωσης “ Fire Dynamics Simulator ” (FDS V406), για την πρόβλεψη της εξάπλωσης του καπνού και του διαθέσιμου χρόνου ασφαλούς εξόδου κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Διαπιστώθηκε ότι, κατά την χρήση των συστημάτων PSD και εξαερισμού ο διαθέσιμος χρόνος εκκένωσης των επιβατών αυξήθηκε κατά σχεδόν 6 λεπτά σε σύγκριση με το σενάριο χωρίς τη χρήση PSD. (Roh, 2010)

Τέλος, στην έρευνα των Teodosiou C.I. & Kubinyecz V.F., που διεξάγει για έναν τυπικό σταθμό του μετρό στο Βουκουρέστι και έχει ως στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της προγραμματισμένης στρατηγικής έκτακτης ανάγκης (συζευγμένη λειτουργία, συστήματα εξαερισμού – PSD σύστημα) στην περίπτωση φλεγόμενων αμαξοστοιχιών που σταματούν στην αποβάθρα σταθμού του μετρό. Βασίζεται σε προσομοιώσεις πλήρους κλίμακας ρευστοδυναμικής CFD για την πρόβλεψη της ροής αέρα, της θερμοκρασίας και τους ρύπους (μονοξείδιο του άνθρακα-CO και διοξείδιο του άνθρακα-CO₂) συγκεντρώσεις που προκαλούνται από τη φωτιά. Τα αποτελέσματα δείχνουν την προφανή συμβολή των συστημάτων PSD στη διακοπή της διασποράς θερμού και μολυσμένου αέρα στο σταθμό του μετρό καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης (20 λεπτά) από την άφιξη του τρένου στις φλόγες. (V.F., 2022)

Συνοψίζοντας ,σε σχέση με τις μελέτες που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι αντιληπτό πως δεν μπορούμε να γενικεύσουμε την αποτελεσματικότητα των συστημάτων PSD σε περίπτωση πυρκαγιάς στους σταθμούς του μετρό. Πρέπει να τονίσουμε ότι σε κάθε σύστημα μετρό θα πρέπει να γίνεται ενδελεχείς μελέτη και προσομοιώσεις CFD, προκειμένου να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμένου συστήματος PSD.

Επιπλέον, λόγω της μεγάλης ροής επιβατών κατά τις ώρες αιχμής, θα πρέπει να καθορίζεται ένα εφαρμόσιμο σύστημα διαχείρισης εκκένωσης έκτακτης ανάγκης σε κάθε υπόγειο σταθμό.

3.3 Ποιότητας Αέρα στο Σταθμό

Κατά την καθημερινή λειτουργία των συρμών, παράγονται αιωρούμενα σωματίδια από την τριβή μεταξύ της σιδηροτροχιάς και του συστήματος πέδησης των τροχών. Επίσης το φαινόμενο «πιστονιού» / “piston effect” μεταφέρει τους εξωτερικούς ρύπους της ατμόσφαιρας στις πλατφόρμες των σταθμών δημιουργώντας επικίνδυνες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στους σταθμούς του μετρό. Προσπαθώντας να διερευνήσουμε αν το σύστημα θυρών (PSD), επηρεάζει την ποιότητα αέρα στους σταθμούς, ανατρέξαμε σε αρκετές έρευνες που έχουν γίνει κατά καιρούς.

Αξιοσημείωτη είναι η μελέτη που διεξήχθη τον Οκτώβριο του 2019 στο μετρό του Πεκίνο για την ποιότητα αέρα σε σταθμούς που χρησιμοποιούσαν αυτόματο σύστημα θυρών (PSD) πλήρους ύψους από τους L.Pang και συν.. (L. Pang, 2020)

Πρωτίστως, θα πρέπει να αναφέρουμε τον τρόπο και την μεθοδολογία που διεξήχθησαν οι μετρήσεις για τους παρακάτω οκτώ ατμοσφαιρικούς ρύπους εσωτερικών χώρων.

- NH₃ (αμμωνία),
- TVOC (ολική πτητική οργανική ένωση),
- CO (μονοξείδιο του άνθρακα),
- CH₂O (φορμαλδεΰδη),
- NO₂ (διοξείδιο του αζώτου),
- SO₂ (διοξείδιο του θείου),
- PM₁₀ (αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου 10 μικρομέτρων) ⁵,
- PM_{2.5} (αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου 2,5 μικρομέτρων),

Οι μετρήσεις έγιναν καθημερινά για έξι ημέρες σε έναν υπόγειο σταθμό μετρό, μήκους 120m και πλάτους 14m. Η συσκευή παρακολούθησης της ποιότητας αέρα τοποθετήθηκε σε

⁵ Το PM σημαίνει σωματιδιακή ύλη (ονομάζεται επίσης σωματιδιακή ρύπανση): ο όρος για ένα μείγμα στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων υγρών που βρίσκονται στον αέρα. Τα περισσότερα σωματίδια σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα πολύπλοκων αντιδράσεων χημικών ουσιών όπως το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου. Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ, σύνδεσμος: [Particulate Matter \(PM\) Basics | US EPA](#)

ύψος 1,2m στην μέση της πλατφόρμας. Η ροή των επιβατών και η συχνότητα των συρμών καταγραφόταν αυτόματα από το κέντρο ελέγχου του σταθμού. Επίσης, καθημερινά καταγράφονταν οι παραπάνω ρύποι στο εξωτερικό περιβάλλον πλησίον του σταθμού.

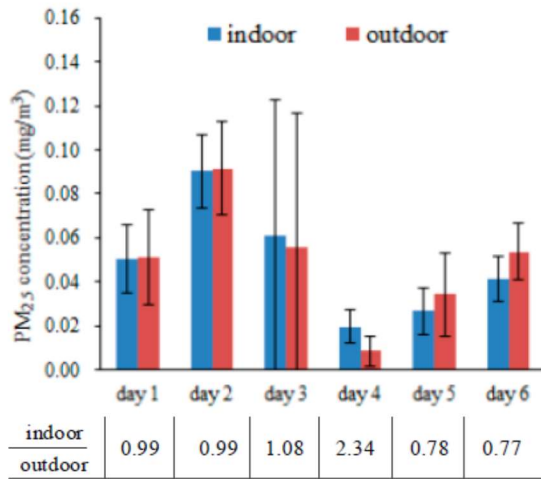
Παράμετροι συστήματος HVAC του σταθμού Τιμές

| | |
|----------------------------|--|
| Θερμοκρασία | 28 °C |
| Σχετική υγρασία | 40-70% |
| Συνολική παροχή εξαερισμού | 5.78x10 ⁴ m ³ /h |
| Συνολική παροχή νωπού αέρα | 1.08x10 ⁴ m ³ /h |

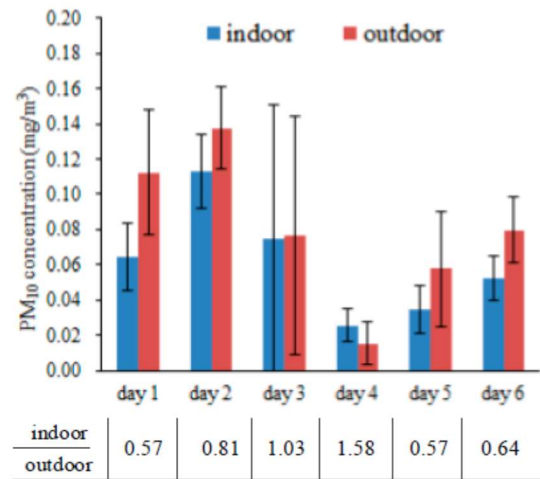
Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στα ακόλουθα διαγράμματα οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στους εσωτερικούς χώρους της πλατφόρμας του σταθμού ήταν εντός ορίων βάση των αντίστοιχων προτύπων.

Συγκεκριμένα τα επίπεδα των εσωτερικών συγκεντρώσεων PMs κυμαίνονταν σχεδόν στα ίδια επίπεδα με εκείνα των εξωτερικών συγκεντρώσεων παρόλο που εντός των σταθμών υπάρχει ο επιπλέον ρύπος από την πέδηση των τρένων. Επίσης κατά την διάρκεια των μεγάλων επιβατικών ροών στις ώρες αιχμής, τα αιωρούμενα σωματίδια από το δάπεδο της αποβάθρας επαν-αιωρούνται, λόγω της μετακίνησης των επιβατών. Οι συγκεντρώσεις NH₃, TVOC, CH₂O, παρέμειναν σταθερές σε όλη την διάρκεια των δοκιμών, επειδή παρήχθησαν κυρίως από εσωτερικές πηγές εκπομπών, ενώ το σύστημα εξαερισμού συντελεί στην αραιώση των σωματιδίων τέτοιου τύπου. Από την άλλη πλευρά, οι εσωτερικές μετρήσεις των ρύπων: NO₂, SO₂, CO, βρέθηκαν σε μικρότερα επίπεδα από τις αντίστοιχες τιμές των εξωτερικών, με την βοήθεια των φίλτρων του συστήματος εξαερισμού του σταθμού.

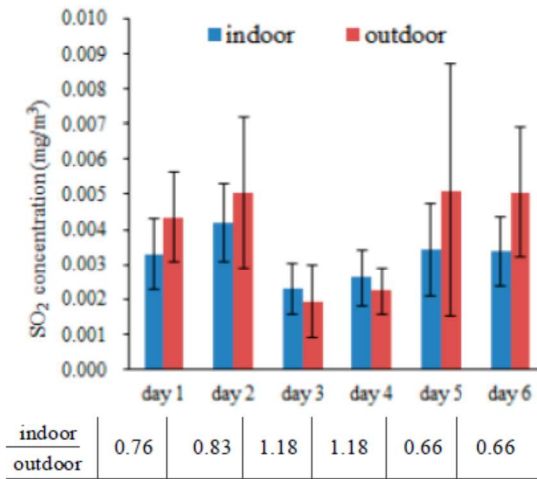
Τέλος, εκτός από τον ρύπο PM₁₀ στους εσωτερικούς χώρους του σταθμού, κανένας άλλος ρύπος από τις εσωτερικές μετρήσεις δεν είχε σημαντική συσχέτιση με την ροή των επιβατών και την συχνότητα των δρομολογίων των τρένων. Γεγονός που αποδεικνύει ότι το σύστημα αυτόματων θυρών (PSD) πλήρους ύψους, συντελεί στη διατήρηση της καλής ποιότητας του αέρα, εντός του σταθμού, αποτρέποντας στα μικρά σωματίδια που παράγονται κατά την λειτουργία των συρμών να εισέλθουν στην περιοχή της πλατφόρμας. Σύμφωνα με τις αναλύσεις, οι εξωτερικοί ρύποι εισέρχονται εντός του σταθμού από το σύστημα HVAC και τις εισόδους του σταθμού.



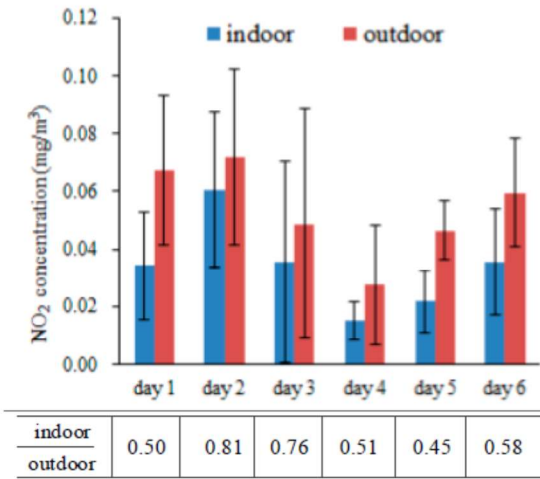
(a) PM_{2.5}



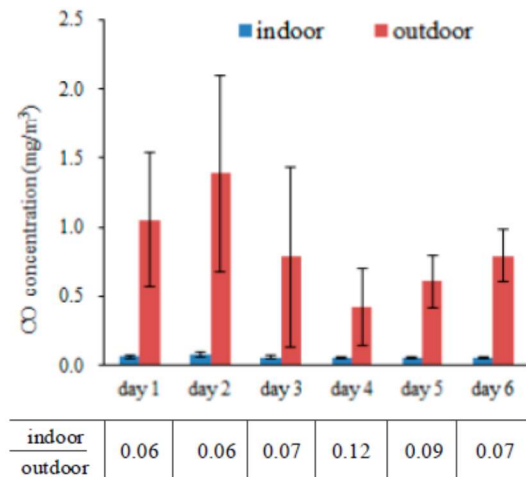
(b) PM₁₀



(c) SO₂



(d) NO₂



(e) CO

Εικόνα 3.3.1: Συγκριτικός Πίνακας Μετρήσεων μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών ρύπων.

3.4 Σε περίπτωση κυβερνοαπειλής

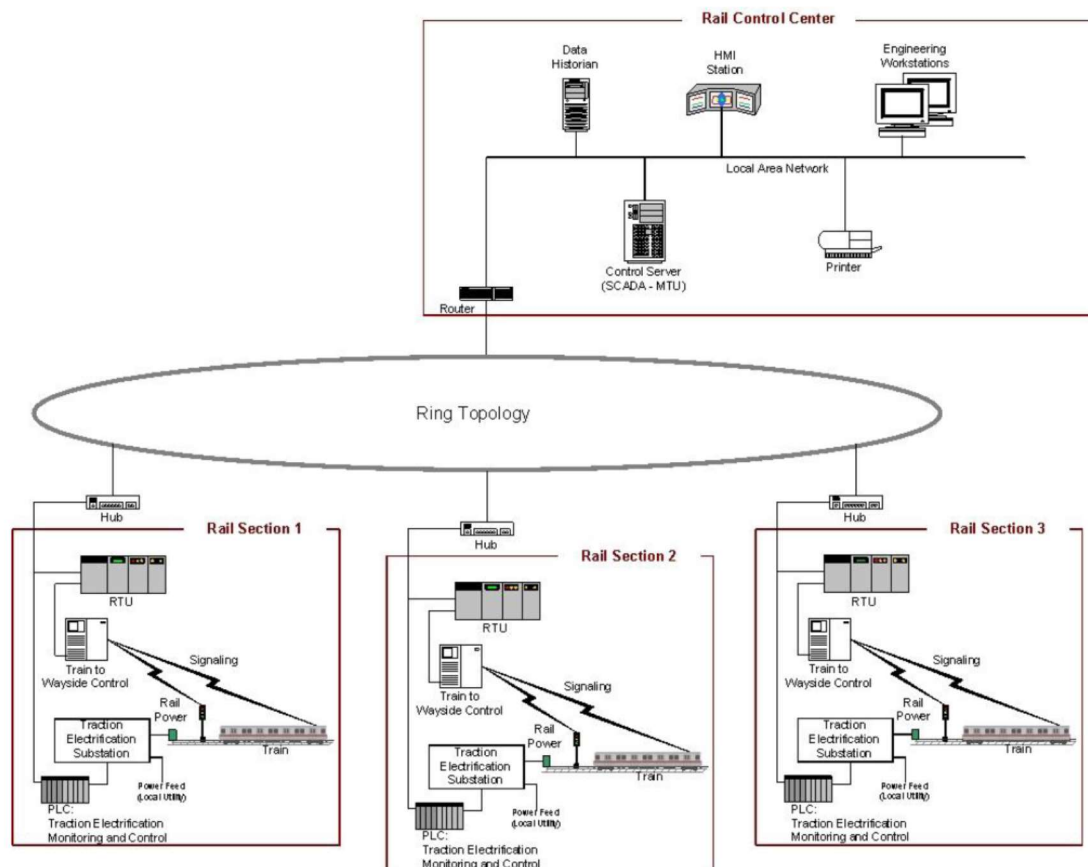
3.4.1 Γενικά

Οι κρίσιμες υποδομές, όπως το Μετρό χρησιμοποιούν σύγχρονα Βιομηχανικά Συστήματα Ελέγχου (ICS), καθιστώντας την διασύνδεση τους στο διαδίκτυο απαραίτητη. Από την στιγμή που ένα ICS είναι προσβάσιμο μέσω του διαδικτύου είτε για λόγους συντήρησης, επίλυσης, βλαβών είτε ακόμα για τον απομακρυσμένο έλεγχό του, είναι ευπαθές σε κυβερνοεπιθέσεις. Για τον λόγο αυτό, θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε την επικινδυνότητα των συστημάτων αυτών σε περίπτωση κυβερνοεπίθεσης, όπως για παράδειγμα την ακεραιότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ των συσκευών ελέγχου σε ένα υποσύστημα του μετρό σαν αυτό των αυτόματων θυρών (PSD).

Οι πιο συνηθισμένοι ICS είναι :

- Το σύστημα ελέγχου – εποπτείας και μεταφοράς δεδομένων (SCADA)
- Το κατανεμημένο σύστημα ελέγχου (DCS)
- Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC)

Τα συστήματα SCADA διασυνδέουν απομακρυσμένες φυσικές διαδικασίες, παρακολουθούν και συλλέγουν δεδομένα από το πεδίο (sensors, PLCs, IEDs) και τις μεταφέρουν σε μια κεντρική εγκατάσταση υπολογιστή σε πραγματικό χρόνο. Οι πληροφορίες διατίθενται στον χειριστή γραφικά ή με κείμενο επιτρέποντάς του την παρακολούθηση ή τον έλεγχο του συστήματος από μια κεντρική τοποθεσία ή απομακρυσμένα. (A. P. Durakovskiy, 2021)



Εικόνα 3.3.1: Παράδειγμα Συστήματος Scada για την παρακολούθηση και έλεγχο τριών τμημάτων σιδηροδρόμων, από ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου

3.4.2 Ιχνιλάτηση του Προβλήματος

Οι περισσότερες επιθέσεις στα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου ICS σχετίζονται με τα τρωτά σημεία των SCADA, ενώ τα περισσότερα από αυτά διαθέτουν ικανοποιητικά επίπεδα ασφαλείας συμπεριλαμβανομένου τεχνολογιών firewall. Παρόλα αυτά οι εισβολείς καταφέρνουν να τα παρακάμπτουν με διάφορους τρόπους εισχωρώντας στο τοπικό δίκτυο LAN του συστήματος.

Τα συνήθη βήματα που ακολουθεί μια «πετυχημένη» κυβερνοεπίθεση στην παραγωγική διαδικασία είναι τα εξής:

- Αναγνώριση – Ταυτοποίηση του βιομηχανικού εξοπλισμού
- Αναγνώριση – Ταυτοποίηση και διάβασμα του λογισμικού ελέγχου

- Διάβασμα του πηγαίου κώδικα δημιουργώντας αλλαγές με σκοπό την καταστροφή του εξοπλισμού (υπερφόρτωση του λογισμικού με πολύπλοκους αλγορίθμους)
- Φόρτωση του τροποποιημένου λογισμικού στα PLC.

Εν συνεχεία, ο εισβολέας μεταμφιεσμένος ως SCADA παίρνει υπό τον έλεγχό του όλη την παραγωγική διαδικασία προκαλώντας ανεπαίσθητες ή ανεπανόρθωτες βλάβες σε τεχνικό εξοπλισμό ή στην χειρότερη περίπτωση σε ανθρώπινες ζωές.

3.4.3 Η Αξιοπιστία του Συστήματος PSD

Η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία του συστήματος PSD σχετίζεται άμεσα με την ομαλή λειτουργία του συρμού. Οποιαδήποτε διαταραχή στη λειτουργία του PSD θα διαταράξει τον προγραμματισμό στη λειτουργία των δρομολογίων, από τη στιγμή που η μη λειτουργία των μηχανοκίνητων θυρών θα εμποδίσει την είσοδο-έξοδο των επιβατών στα τρέινα. Φυσικά αυτός ο τύπος δυσλειτουργίας δεν θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια των επιβατών λόγω των μηχανισμών ασφαλείας που επιβάλλονται στο σύστημα και έχουν επισημανθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επηρεάζει, όμως, τον οργανισμό του εκάστοτε μετρό ως προς την ακεραιότητα των υποδομών του αλλά και την αξιοπιστία του προς το επιβατικό κοινό (L. Zhou, 2017).

Η κανονική λειτουργία του PSD θα μπορούσε να διασφαλιστεί με κάποια αντίμετρα στις κυβερνοεπιθέσεις, όπως:

- Αναγνώριση και ταυτοποίηση όλων των συνδέσεων στα δίκτυα SCADA: Διεξαγωγή μιας ανάλυσης δικτύου για την αξιολόγηση κινδύνου και την αναγκαιότητα της κάθε σύνδεσης στο δίκτυο SCADA. Ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης κατανόησης όλων των συνδέσεων του συστήματος SCADA και πόσο καλά είναι προστατευμένες.
- Αποσύνδεση μη απαραίτητων συνδέσεων με το δίκτυο SCADA: Για να εξασφαλιστεί ο υψηλός βαθμός ασφαλείας των συστημάτων SCADA απομονώνεται το δίκτυο SCADA από τα άλλα δίκτυα στο μέγιστο βαθμό που είναι δυνατό, ειδικότερα αν η σύνδεση δημιουργεί μονοπάτι από ή προς το διαδίκτυο. Στρατηγικές όπως η χρήση των “demilitarized zones” (DMZs- αποστρατικοποιημένες ζώνες) και η αποθήκευση

δεδομένων μπορούν να επιτύχουν την ασφάλεια μεταφοράς δεδομένων από το δίκτυο SCADA σε επιχειρηματικά δίκτυα.

- Εφαρμογή Firewall στα δίκτυα SCADA: Επειδή το δίκτυο SCADA είναι τόσο ασφαλές όσο το πιο αδύναμο σημείο σύνδεσής του είναι απαραίτητη η εφαρμογή firewall, συστήματα ανίχνευσης διεισδύσεων (“intrusion detection systems – IDSs), και άλλα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας σε κάθε σημείο εισόδου. Διαμόρφωση κανόνων firewall για την απαγόρευση της πρόσβασης από και προς το δίκτυο SCADA.
- Απενεργοποίηση των περιττών υπηρεσιών στα δίκτυα SCADA: Οι διακομιστές ελέγχου SCADA (Servers) «στήνονται» σε open-source λειτουργικά συστήματα που μπορούν να εκτεθούν σε επιθέσεις μέσω προεπιλεγμένων δικτυακών υπηρεσιών. Όσο είναι εφικτό η αφαίρεση ή απενεργοποίηση υπηρεσιών που δεν χρησιμοποιούνται μπορούν να ελαττώσουν τον κίνδυνο μιας απευθείας επίθεσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν τα δίκτυα SCADA είναι διασυνδεδεμένα με άλλα δίκτυα. Παραδείγματα υπηρεσιών για αφαίρεση από τα δίκτυα SCADA αποτελούν τα δίκτυα αυτοματοποιημένων μέτρων ανάγνωσης, υπηρεσίες email και πρόσβαση στο Internet. Ένα παράδειγμα ενός χαρακτηριστικού για απενεργοποίηση είναι η απομακρυσμένη συντήρηση. Επιπροσθέτως, η στενή συνεργασία με τους κατασκευαστές SCADA για τον εντοπισμό ασφαλών διαμορφώσεων και τον συντονισμό όλων των αλλαγών στα λειτουργικά συστήματα κρίνεται απαραίτητη (K. Stouffer, 2015).

Τέλος αναφέρουμε ότι η καθιέρωση αντιγράφων ασφαλείας του συστήματος σχεδίων αποκατάστασης καταστροφών επιτρέπει την ταχεία ανασυγκρότηση του δικτύου μετά από μια επίθεση και είναι ζωτικής σημασίας.

4. Η χρήση του συστήματος PSD σε Μελλοντικές και Υφιστάμενες Κατασκευές

4.1 Η χρήση του συστήματος PSD σε υφιστάμενες κατασκευές

Σύνηθες φαινόμενο, αποτελεί στις μέρες μας, η εγκατάσταση συστήματος αυτόματων θυρών πλήρους ή μισού ύψους σε υφιστάμενους σταθμούς του μετρό ανά τον κόσμο, ως παράδειγμα αναφέρουμε τις κάτωθι περιπτώσεις, α) το μετρό της Σόφιας και β) της Κοπεγχάγης.

a) Μετρό Σόφιας

Η Atco Trade, ως επικεφαλής της κοινοπραξίας RSD Metro Sofia, κέρδισε την σύμβαση για την εγκατάσταση αυτόματων θυρών πλατφόρμας με κάθετο άνοιγμα μεγάλης κλίμακας κατά μήκος της πρώτης και δεύτερης διαμέτρου του μετρό για 12 πιο πολυσύχναστους σταθμούς μετρό στο μετρό της Σόφιας. Η προτεινόμενη λύση έλυσε ένα σημαντικό πρόβλημα που σχετίζεται με τους τρεις διαφορετικούς τύπους αμαξοστοιχιών που σταματούν στις αποβάθρες. (Sofia Metro benefits from automatic platform screen doors, 2021)

Τον Σεπτέμβριο του 2020 η Atco Trade έθεσε σε λειτουργία τις νέες πόρτες πλατφόρμας στους δύο πιλοτικούς σταθμούς. Οι σταθμοί “Opalchenska” και “Vasil Levski Stadium” είναι οι πρώτοι που επωφελούνται από τις αυτόματες θύρες πλατφόρμας. Μέχρι τον Οκτώβριο του 2021, η κοινοπραξία θα ολοκλήρωνε την εγκατάσταση σε πέντε ακόμη σταθμούς μετρό και μέχρι το 2022, και οι 12 σταθμοί της Γραμμής 1 και της Γραμμής 2 θα διαθέτουν σύστημα “Rope –type platform screen doors (RSD)” θύρες τύπου σχοινού.

Η κοινοπραξία εγκατέστησε το νέο σύστημα θυρών ασφαλείας σε νυχτερινές βάρδιες χωρίς διακοπή των τακτικών δρομολογίων των τρένων, εξασφαλίζοντας την άνεση των επιβατών και την εύρυθμη λειτουργία των δημόσιων συγκοινωνιών της Σόφιας.

b) Μετρό Κοπεγχάγης

Το μετρό της Κοπεγχάγης αντικατέστησε ένα εξαιρετικά ευαίσθητο σύστημα ασφαλείας για την ανίχνευση εμποδίων (ODS) στους υπέργειους σταθμούς του μετρό, με σύστημα αυτόματων Θυρών στις πλατφόρμες. Το ODS χρησιμοποιεί υπέρυθρες ακτίνες για να

ανιχνεύσει εάν ένα άτομο ή αντικείμενο έχει πέσει στις ράγες και σταματά τα επερχόμενα τρένα. Ωστόσο, το μετρό της Κοπεγχάγης δήλωσε ότι το σύστημα είναι τόσο ευαίσθητο που μπορεί να ενεργοποιηθεί από μια εφημερίδα, πουλιά, ακόμη και χιόνι, οδηγώντας σε διακοπή όλου του δικτύου.

Οι αυτόματες θύρες πλατφόρμας χρησιμοποιούνται στους εννέα υπόγειους σταθμούς του δικτύου από τότε που άνοιξε το μετρό, τον Οκτώβριο του 2002. Έχοντας αυτόματες θύρες σε ολόκληρο το δίκτυο, ο φορέας εκμετάλλευσης ελπίζει να μειώσει την διαταραχή του δικτύου κατά 25%. Το σύστημα θυρών, συνολικού μήκους 21 χιλιομέτρων, θα εγκατασταθεί πρώτα στη διαδρομή του αεροδρομίου και εν συνεχεία στη νέα γραμμή της πόλης “Cityringen”. (Hargreaves, 2013)

Στην πραγματικότητα, η εγκατάσταση συστήματος αυτόματων θυρών σε υφιστάμενους σταθμούς του μετρό, έρχεται αντιμέτωπη με πλήθος εμποδίων, παραπέμποντας την διαδικασία εγκατάστασης (PSD) χρονοβόρα, πολυδάπανη και αναμφιβόλου ποιότητας ως προς την ασφάλεια και ακεραιότητα του επιβατικού κοινού.

Όπως έχουμε προαναφέρει, η διαδικασία αυτόματης λειτουργίας (ανοίγματος-κλεισίματος) των θυρών (PSD), μανδαλώνεται με το εκάστοτε σύστημα σηματοδότησης (SIG) του τρένου. Συχνά όμως, λόγω της παλαιότητας των υφιστάμενων συστημάτων σηματοδότησης (SIG), που αδυνατούν να επεξεργαστούν σε σύντομο χρόνο τα δεδομένα οποιουδήποτε νέου εξοπλισμού, διακρίνονται τα παρακάτω προβλήματα (LEUNG, 2015):

- Δεν μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια κατά την ακινητοποίηση των συρμών, προκειμένου την ευθυγράμμιση των θυρών της αμαξοστοιχίας με τις θύρες πλατφόρμας.
- Μεγαλύτερος χρόνος παραμονής του συρμού στους σταθμούς, προκαλώντας μείωση των διαδρομών του συστήματος Μετρό.

Επίσης, πολύ σταθμοί εξυπηρετούν διαφορετικού τύπου αμαξοστοιχιών, με διαφορετικό αριθμό βαγονιών και θέσεις θυρών, προκαλώντας ασυμβατότητα ως προς τις απαιτούμενες διαστάσεις ανοίγματος των θυρών αποβάθρας. Επιπλέον, οι εργασίες εγκατάστασης και τροποποίησης συστημάτων (PSD) απαιτούν περιορισμένο χρόνο και όγκο εργασίας, εφόσον αυτές, μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο σε ώρες εκτός κυκλοφορίας των συρμών που συνήθως είναι από 2:00 π.μ. έως τις 4:30 π.μ..

4.2 Η χρήση Αυτόνομων Συστημάτων Θυρών Πλατφόρμας

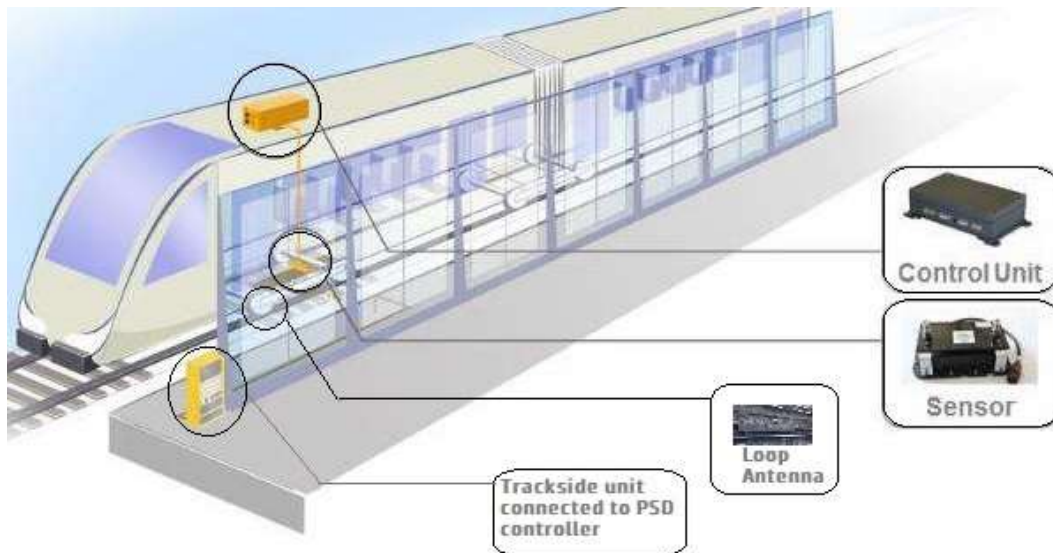
Οι πρακτικοί και υλικοτεχνικοί περιορισμοί σχετικά με την εγκατάσταση συστήματος αυτόματων θυρών σε υφιστάμενους σταθμούς, οδήγησε σε καινοτόμες λύσεις και τεχνολογίες, που εφαρμόζονται στην χρήση αυτόνομων συστημάτων PSD. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους, είναι η ανεξαρτητοποίησή τους από το σύστημα σηματοδότησης, ενώ παράλληλα εγγυόνται την ασφαλή λειτουργία τους, καλύπτοντας τουλάχιστον το στάδιο ασφαλείας SL3.

Στην γραμμή 1 και 13 του Μετρό του Παρισιού, η εταιρεία “ClearRSY”, η οποία αναπτύσσει πολύπλοκα συστήματα και λογισμικά ασφαλείας στους τομείς των σιδηροδρόμων, της αυτοκινητοβιομηχανίας και του στρατού, εγκατέστησε αυτόνομο σύστημα θυρών πλατφόρμας με το λογότυπο “DOF”. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι συμβατό με τις αμαξοστοιχίες τύπου MP89 και θα είναι συμβατό με τις νέες αυτόματες αμαξοστοιχίες τύπου MP05, περιλαμβάνει ένα ενσωματωμένο τμήμα στην αμαξοστοιχία που επεξεργάζεται τις εντολές ανοίγματος και κλεισίματος των θυρών του τρένου και εν συνεχεία μεταφέρει το σήμα στο σύστημα θυρών πλατφόρμας. Η διασύνδεση τρένου - εδάφους επιτυγχάνεται με την βοήθεια μεταλλικού εξαρτήματος τοποθετημένο στις ράγες, το οποίο δημιουργεί μαγνητικό βρόγχο με τον αντίστοιχο αισθητήρα εγκαταστημένο στο φορείο του τρένου. (Clearsy, <https://www.clearsy.com/en/offers/platform-screen-doors-safety-dof/>)

Συγκεκριμένα, το σύστημα (DOF), αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος, τοποθετείται κατά μήκος της πλατφόρμας των σταθμών και διαθέτει έναν ή περισσότερους ηλεκτρολογικούς πίνακες που φέρουν τους κατάλληλους ελεγκτές και μόντεμ για την μετατροπή των ψηφιακών σημάτων σε βρόγχο ρεύματος (αναλογικό σήμα). Το δεύτερο μέρος του συστήματος εγκαθίσταται στο μπροστινό και στο πίσω μέρος του τρένου. Η επικοινωνία μεταξύ του δύο μερών του συστήματος (εδάφους και επί της αμαξοστοιχίας), είναι δυνατή μόνο όταν η αμαξοστοιχία είναι ευθυγραμμισμένη στα ορθά σημεία στάθμευσης στον σταθμό.

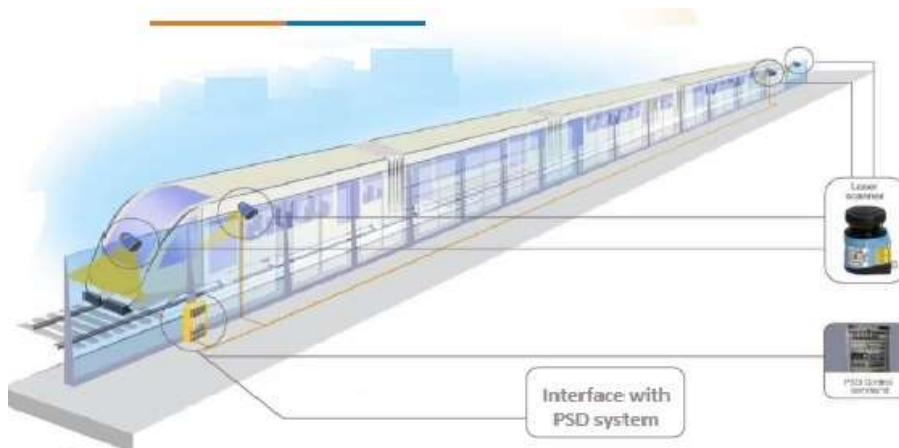
| ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ | |
|---|---|
| ΕΓΚΑΤΑΣΤΗΜΕΝΑ ΣΤΟ ΤΡΕΝΟ | ΕΓΚΑΤΑΣΤΗΜΕΝΑ ΣΤΗ ΤΡΟΧΙΑ |
|   <p>Αισθητήρας: (τοποθετείται στην κάτω πλευρά του συρμού)</p> |  <p>Βρόγχος κεραίας εδάφους</p> |
|  <p>Μονάδα επί του φορείου: (Σύνδεση αισθητήρων και των θυρών του τρένου)</p> |  <p>Κεντρική Μονάδα: (διασύνδεση με το σύστημα PSD)</p> |

Πίνακας 4.2.1: Τυπικός εξοπλισμός, του αυτόνομου συστήματος ελέγχου θυρών (DOF).



Εικόνα 4.2.2: Σχηματικό διάγραμμα εξοπλισμού, αυτόνομου συστήματος ελέγχου θυρών πλατφόρμας.

Μια παραλλαγή του παραπάνω αυτόνομου συστήματος ελέγχου θυρών, αναπτύσσει η ίδια εταιρεία “ClearRSY”, με το λογότυπο “COPPILOT”, όπου εφαρμόζεται σε αρκετούς σταθμούς Μετρό, όπως στις γραμμές 2 και 3 του Σάο Πάολο Μετρό στη Βραζιλία, καθώς επίσης και στο Μετρό της Στοκχόλμης το 2017. Το πλεονέκτημα του συστήματος “COPPILOT”, έγκειται ότι δεν χρειάζεται εγκατάσταση εξοπλισμού στην αμαξοστοιχία. Η επιτήρηση των θυρών του τρένου (άνοιγμα/κλείσιμο) γίνεται με αισθητήρες λέιζερ που τοποθετούνται στις αποβάθρες του σταθμού. Επίσης, για την μέτρηση της ταχύτητας και τον έλεγχο κατεύθυνσης του τρένου, χρησιμοποιούνται κατάλληλοι σαρωτές λέιζερ (laser scanners). (Clearsy, DOF and COPPILOT PSD control systems, 2022)



Εικόνα 4.2.3: Σχηματικό διάγραμμα εξοπλισμού, αυτόνομου συστήματος ελέγχου θυρών πλατφόρμας με χρήση αισθητήρων λέιζερ.

Αξιοσημείωτο είναι, να αναφέρουμε πως οι σαρωτές λέιζερ (laser scanners) που κατά κόρον χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές των συστημάτων ελέγχου θυρών είναι αισθητήρες 2D, οι οποίοι χρησιμοποιούν υπέρυθρο φως, (κατηγορίας λέιζερ 1) ασφαλές για τα μάτια. Περισσότεροι από 10.000 τεμάχια έχουν εγκατασταθεί σε γραμμές του μετρό με σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία “SICK” (The platform screen doors on the Seoul Metro are monitored by 2D laser scanners, 2018).

4.3 Βελτιστοποίηση των Συστημάτων (PSD)

Ο υψηλός ανταγωνισμός ανάμεσα στους φορείς εκμετάλλευσης των μέσων μαζικής μεταφοράς και η επιτακτική ανάγκη προσέλκυσης νέων επιβατών σε συνδυασμό με την συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας απαιτεί μια καινοτόμο συστημική προσέγγιση των σιδηροδρομικών μεταφορών. Συνεπώς, διακρίνουμε την σταδιακή ανάπτυξη των σιδηροδρομικών συστημάτων, όπως αυτή του συστήματος θυρών (PSD), με παρεμβάσεις όπως:

- Θύρες με μικρότερο βάρος,
- Μειωμένη καλωδίωση,
- Απλοποιημένη δομή, που οδηγεί στην βελτίωση της συντήρησης,
- Ευέλικτες τεχνολογίες που μπορούν να αντιμετωπίσουν διαφορετικού τύπου τρένα με διαφορετικούς αριθμούς και θέσεις θυρών.

Από την άλλη πλευρά, ερχόμαστε αντιμέτωποι με την μελλοντική γενιά των σιδηροδρομικών μεταφορών όπου στο σύνολό τους τα εμπλεκόμενα συστήματα και κατασκευές, θα πρέπει να είναι ελαφρύτερες, ενεργειακά αποδοτικότερες, με μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Ενώ ταυτόχρονα, θα πρέπει να είναι οικονομικά προσιτές, άνετες και ασφαλές προς το επιβατικό κοινό. (<https://rail-research.europa.eu/research-development/ip1/>, n.d.)

Για παράδειγμα, ως προ το εξεταζόμενο σύστημα (PSD), αναφέρουμε τα κάτωθι:

- Νέες Θύρες με ελαφριές σύνθετες κατασκευές (σύνθετα υλικά - κράματα), που θα μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας, θόρυβο και θερμικές απώλειες.
- Χρήση συστημάτων που βασίζονται στην ασύρματη επικοινωνία ελέγχου των θυρών (PSD).
- Συστήματα ανακοίνωσης κοινού (PA systems), εύχρηστα προς τον χρήστη,
- Βελτιωμένη πρόσβαση για άτομα με μειωμένη κινητικότητα χρησιμοποιώντας ειδικό «σκαλοπάτι», για την μείωση του κενού μεταξύ του βαγονιού του τρένου και της αποβάθρας. Με την βοήθεια ειδικών αισθητήρων για την ασφαλή λειτουργία και έλεγχο.

Τέλος, αναφερόμενη στην μελλοντική γενιά του συστήματος θυρών (PSD), δεν μπορούμε να παραβλέψουμε το εξελιγμένο σύστημα επιτήρησης που χρησιμοποιεί αισθητήρες λείζερ 3D και μπορεί να αναγνωρίσει τρισδιάστατα σχήματα. Ο αισθητήρας τοποθετείται στην κορυφή της πλατφόρμας και όταν ανιχνεύσει «κινδύνους» όπως, επιβάτες που στέκονται στην άκρη της πλατφόρμας ή πτώσεις αντικειμένων στις γραμμές, το σύστημα στέλνει κατάλληλα σήματα συναγερμού τόσο στους χειριστές του σταθμού όσο και στο σύστημα ανακοίνωσης κοινού (PA), καθώς επίσης μπορεί να ενεργοποιήσει το σύστημα διακοπής έκτακτης ανάγκης. (Signal)

4.4 Επέκταση του συστήματος PSD στην παγκόσμια αγορά έως το 2030

Σύμφωνα με διαδικτυακές εταιρίες έρευνας αγοράς παγκοσμίως, όπως η “Eternity Insights”⁶ και η “Global Market Research”⁷, το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς συστημάτων “Platform Screen Door” (PSD) αποτιμήθηκε σε 876,5 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2022 και

⁶ *Eternity Insights*, [Platform Screen Doors \(PSD\) Market Size, Global Forecast to 2028 \(eternityinsights.com\)](https://www.eternityinsights.com/)

⁷ *Global Market Research*, [Global Platform Screen Doors \(PSD\) Consumption Market Size And Forecast - Market Research Intellect](https://www.globalmarketresearch.com/)

προβλέπεται να αναπροσαρμοστεί σε 1295,6 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ έως το 2029 με CAGR⁸ 5,7% κατά την περίοδο επανεξέτασης.

Η επίδραση του COVID-19 και του πολέμου Ρωσίας-Ουκρανίας εξετάστηκε κατά την εκτίμηση των μεγεθών της αγοράς. Με βάση τον τύπο προϊόντος, οι αυτόματες θύρες (PSD) πλήρους ύψους, αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μερίδιο της παγκόσμιας αγοράς, με μερίδιο πωλήσεων 50%. Οι εφαρμογές σε Μετρό, όπου αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα της βιομηχανίας τελικής χρήσης της αγοράς, με μερίδιο 96% της παγκόσμιας αγοράς. Οι βασικοί παίκτες της αγοράς επενδύουν στην έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογικά προηγμένων προϊόντων με χαμηλό κόστος που οδηγούν σε αυξημένη χρήση των συστημάτων “Platform Screen Doors” (PSD) σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου.

Με βάση την γεωγραφική κατανομή η παγκόσμια αγορά έχει ως εξής:

- Η Βόρεια Αμερική περιλαμβάνει τις Ηνωμένες Πολιτείες, τον Καναδά και το Μεξικό,
- Η Ευρώπη περιλαμβάνει τη Γερμανία, τη Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ιταλία, την Ισπανία,
- Η Νότια Αμερική περιλαμβάνει την Κολομβία, την Αργεντινή, τη Νιγηρία και τη Χιλή,
- Η περιοχή Ασίας-Ειρηνικού περιλαμβάνει την Ιαπωνία, την Κίνα, την Κορέα, την Ινδία, τη Σαουδική Αραβία και τη Νοτιοανατολική Ασία,

⁸ CAGR είναι ο ετήσιος μέσος ρυθμός αύξησης των εσόδων μεταξύ δύο δεδομένων ετών, υποθέτοντας ότι η ανάπτυξη λαμβάνει χώρα με εκθετικά σύνθετο ρυθμό. [Compound annual growth rate - Wikipedia](#)

5. Συμπεράσματα

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, προσπαθήσαμε να διερευνήσουμε και να επιβεβαιώσουμε με την βοήθεια της διεθνής βιβλιογραφίας τα πλεονεκτήματα των συστημάτων PSD, κυρίως σε θέματα ασφαλείας του επιβατικού κοινού, όπως την ασφάλεια και πρόληψη των αυτοκτονιών και των τυχαίων πτώσεων στις γραμμές, καθώς και τις θετικές επιπτώσεις της εφαρμογής PSD στους σταθμούς :

- Στην μείωση του θορύβου,
- Στην ποιότητα του αέρα,
- Στον εξαερισμό των υπόγειων σταθμών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (Πυρκαγιάς),

Επιπροσθέτως, διακρίνουμε λίγες και μεμονωμένες μελέτες που σχετίζονται με πιθανά μειονεκτήματα που μπορεί να επιφέρει το σύστημα (PSD) σε ένα σιδηροδρομικό σύστημα, όπως είναι ο χρόνος παραμονής του συρμού στους σταθμούς. Στην πραγματικότητα ο χρόνος παραμονής αποτελείται από δύο συνιστώσες, την στατική και την δυναμική. Η δυναμική συνιστώσα είναι ο χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η πλήρης διαδικασία αποβίβασης – επιβίβασης των επιβατών. Ενώ η στατική συνιστώσα είναι ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη στάση του συρμού μέχρι το άνοιγμα των θυρών και επιπλέον του χρόνου για την αντίθετη διαδικασία, κλεισίματος των θυρών. Το παραπάνω, αυξάνει τον χρόνο παραμονής του τρένου και κατά συνέπεια μειώνεται η χωρητικότητα της γραμμής και αύξηση των δρομολογίων. (G. d. A. Rodríguez, 2016)

Ταυτόχρονα, παρατηρούμε αυξητική τάση της παγκόσμιας αγοράς στα συστήματα αυτόματων θυρών, καθώς και την συχνή εγκατάστασής τους, σε υφιστάμενους σταθμούς μετρό ανά τον κόσμο. Σε συνδυασμό με καινοτόμες λύσεις και νέες τεχνολογίες που αναπτύσσουν συνεχώς εξελιγμένα μοντέλα του συστήματος (PSD), προσδίδοντας αναμφισβήτητη προστιθέμενη αξία σε ένα πλήρες σιδηροδρομικό σύστημα. Παράλληλα, διαπιστώνουμε την ανάγκη επίσημης αναγνώρισης, αποτίμησης και ποσοτικοποίησης των οφελών του συστήματος PSD, τόσο από την διεθνή ερευνητική κοινότητα όσο και από τους κυβερνητικούς φορείς, προκειμένου να καθιερωθεί ως αναπόσπαστο κομμάτι των συστημάτων Μετρό.

Κατανοήσαμε ότι ο σχεδιασμός, η εγκατάσταση, η δοκιμή και η ενσωμάτωση του συστήματος αυτόματων θυρών είναι πολλά περισσότερο από ένα απλό σύστημα που «ανοίγει και κλείνει θύρες». Θέματα συντονισμού, ασφάλειας, αλλά και τεχνικά ζητήματα έχουν απασχολήσει κατά καιρούς πολλούς μηχανικούς και τεχνικούς δαπανώντας χιλιάδες ώρες δοκιμών, προσεκτικής ανάλυσης, διαβούλευσης, καινοτομίας και συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων ομάδων.

Ολοκληρώνοντας, η παρούσα εργασία συνέβαλε στην κατανόηση της λειτουργίας των συστημάτων αυτόματων θυρών και των ωφελειών που παρέχουν στις σιδηροδρομικές μεταφορές, αλλά και στο επιβατικό κοινό. Επίσης, τα δεδομένα που παράχθηκαν μπορούν να αξιοποιηθούν καταλλήλως από μελλοντικούς μελετητές για περαιτέρω έρευνα και αξιολόγηση της συνολικής επίδρασης του PSD σε κοινή κλίμακα.

Βιβλιογραφία

- (n.d.). Ανάκτηση από railsystem.net: <http://railsystem.net/platform-screen-doors-psd/>
- (2020). Ανάκτηση από Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Platform_screen_doors
- A. P. Durakovskiy, G. G. (2021). *About the cybersecurity of automated process control systems*. Moscow: Procedia Computer Science.
- Bowne, M. (n.d.). *PROFIBUS- PROFINET*. Ανάκτηση από <https://us.profinet.com/technology/profinet/>
- Bushell, C. (1995). *Jane's urban transport systems. 1995-96*. Jane's Information Group.
- Clearsy. (2022). DOF and COPPILOT PSD control systems. 30.
- Clearsy. (n.d.). <https://www.clearsy.com/en/offers/platform-screen-doors-safety-dof/>.
Ανάκτηση από <https://www.clearsy.com/en/>.
- Falin Chen, S.-C. G.-Y.-W. (2003). *Smoke control of fires in subway stations*. Taipei .
- G. d. A. Rodríguez, S. S. (2016, January). THE IMPACT OF PLATFORM EDGE DOORS ON PASSENGERS BOARDING AND ALIGHTING TIME AND PLATFORM BEHAVIOUR. *Journal of the Transportation Research Board*.
- Hargreaves, A. J. (2013). *Copenhagen Metro to replace overly sensitive safety system*.
Ανάκτηση από <https://www.ajhplant.com/copenhagen-metro-to-replace-overly-sensitive-safety-system>
- <https://rail-research.europa.eu/research-development/ip1/>. (n.d.). Ανάκτηση από rail-research.europa.eu/
- Junbin Yang, M. L. (2021). *Ventilation and energy performance study on platform screen doors with adjustable vents in a subway station*. China.
- K. Stouffer, V. S. (2015). *Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security*. United States: National Institute of Standards and Technology (NIST).
- Kim, M., Kim, Y., Ataei, A., Kim, J., Lim, J., & Yoo. (2011). Statistical Evaluation of Indoor Air Quality Changes after Installation.

- L. Pang, C. X. (2020). *Experimental Investigation of Air Quality in a Subway Station with Fully Enclosed Platform Screen Doors*. China: International Journal of Environmental Research and Public Health.
- L. Zhou. (2017). *Mind the Gap: Security Analysis of Metro Platform Screen Door System*. Singapore: IOS Press.
- LEUNG, K. (2015). *APPLICATION OF AUTOMATIC PLATFORM GATES*. Johannesburg: Railways Branch, Electrical Services Department.
- Public Relations Office of the Government of Japan*. (2022, February). Ανάκτηση από https://www.gov-online.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/202202/202202_10_en.html
- Quan Cao, J. L. (2021). *Correlation analysis of platform intelligent electric screen*. Shanghai, China: ICECCE .
- railwaypro*. (2019, June 6). Ανάκτηση από <https://www.railwaypro.com/wp/barcelona-metro-tests-vertical-platform-screen-doors/>
- Roh, J. R. (2010). The effect of PSD on life safety in subway station fire. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 937-942.
- rsd*. (n.d.). Ανάκτηση από <https://rsd.bg/>
- Schneider, K. (n.d.). *PROFIBUS- PROFINET*. Ανάκτηση από <https://www.profibus.com/technology/profinet/overview>
- Signal, N. (n.d.). *Platform Sensing System*. Ανάκτηση από <https://english.signal.co.jp/products/platform/sensing/>: <https://english.signal.co.jp/>
- Soeta Y., S. R. (2012.). *Change of acoustic characteristics caused by platform screen doors in train stations*. Osaka : Health Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology .
- Sofia Metro benefits from automatic platform screen doors*. (2021, April 6). Ανάκτηση από RAILWAYPRO: <https://www.railwaypro.com/wp/sofia-metro-benefits-automatic-platform-screen-doors/>
- The platform screen doors on the Seoul Metro are monitored by 2D laser scanners*. (2018). Ανάκτηση από <https://www.sick.com/>: <https://www.sick.com/br/es/the-platform->

screen-doors-on-the-seoul-metro-are-monitored-by-2d-laser-scanners/w/blog-2d-laser-scanner-seoul-metro/

Ueda, M. Y. (2015). *The effectiveness of installing physical barriers for preventing railway suicides and accidents: Evidence from Japan.*

V.F., T. C. (2022). Numerical Study on the Impact of Platform Screen Doors in a. *MDPI.*

(2018). *World Metro Figures.* Belgium: UITP the International Association of Public Transport.

Yang, L. P. (2020). Experimental Investigation of Air Quality in a Subway Station with Fully Enclosed Platform Screen Doors. *International Journal of Environmental Research and Public Health.*

A.E., A. M. (2013). *ΜΕΛΕΤΗ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣ ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ.* ΑΘΗΝΑ: ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.