



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS
UNIVERSITY
OF THRACE

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΟΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ– ΟΜΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΩΝ BATTERY SWAPPING

Δρ.-Μηχ. Ν. Παπανικολάου, Καθηγητής, ΔΠΘ
(npapanik@ee.duth.gr)

Περιεχόμενα

- ✓ Εισαγωγή
- ✓ Δομή των BSS
- ✓ BSS για ηλεκτρικά οχήματα
- ✓ BSS για ηλεκτρικά μηχανάκια
- ✓ BSS για ηλεκτρικά πλοία

Εισαγωγή

Εισαγωγή

- Το έννοια της υπηρεσίας του battery swapping προτάθηκε αρχικά το **1896**.
- Πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά μεταξύ **1910-1924**, από την εταιρεία **Hartford Electric Light Company**, μέσω της υπηρεσίας General Vehicle Company (GeVeCo) μπαταριών, η οποία εξυπηρετούσε **ηλεκτρικά φορτηγά**.
- Ο ιδιοκτήτης του οχήματος αγόραζε το όχημα, χωρίς μπαταρία, από την GeVeCo, η οποία ήταν εν μέρει ιδιοκτησία της General Electric.

Εισαγωγή

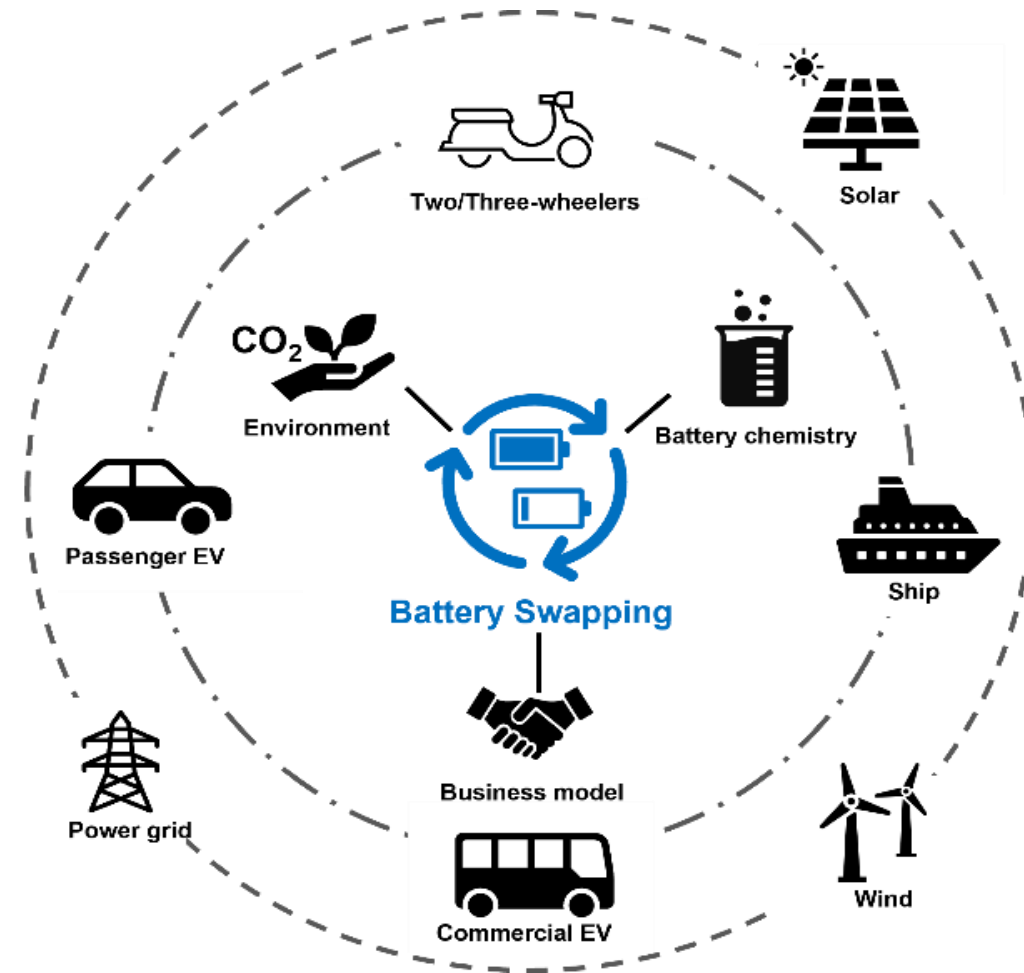
- Και τα δύο οχήματα και οι μπαταρίες σχεδιάστηκαν για να διευκολύνουν μια γρήγορη ανταλλαγή.
- Η ενέργεια αγοραζόταν από την Hartford Electric σε μορφή ανταλλάξιμης μπαταρίας.
- Ο ιδιοκτήτης πλήρωνε ένα μεταβλητό κόστος ανά μίλι και μια μηνιαία χρέωση της υπηρεσίας για να καλύψει τη συντήρηση και την αποθήκευση του φορτηγού.
- Από το **1917** και για μερικά χρόνια, μια παρόμοια υπηρεσία λειτούργησε στο Σικάγο για τους ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων **Milburn**.

Εισαγωγή

- Το **1993**, η **Suntera** ανέπτυξε ένα ηλεκτρικό οχημα δύο θέσεων με τρεις τροχούς που ονομαζόταν SUNRAY, το οποίο είχε ένα αποσπώμενο κιβώτιο μπαταρίας το οποίο μπορούσε να αντικατασταθεί εντός λίγων λεπτών σε έναν σταθμό αντικατάστασης μπαταριών (**Battery Swapping Station, BSS**).
- Το **1995**, η **Suntera** πρόσθεσε ένα ηλεκτρικό σκούτερ.
- Η εταιρεία μετονομάστηκε αργότερα σε **Personal Electric Transports (P.E.T.)**.
- Μετά το **2000**, η εταιρεία κατασκεύασε ένα ηλεκτρικό λεωφορείο.

Battery swapping

- **Battery swapping** ή **battery switching** είναι η διαδικασία κατά την οποία όταν ένα ηλεκτρικό όχημα ή μηχανάκι ή πλοίο φτάνει στον σταθμό φόρτισης, αλλάζει την άδεια (εκφροτισμένη) μπαταρία του με μία μπαταρία πλήρως φορτισμένη, με σκοπό να συνεχίσει τη διαδρομή του.
- Αυτή διαδικασία ανταλλαγής παρουσιάζεται ως εναλλακτική λύση έναντι της στάσης του μέσου μεταφοράς με σκοπό να φορτίσει τη μπαταρία του.

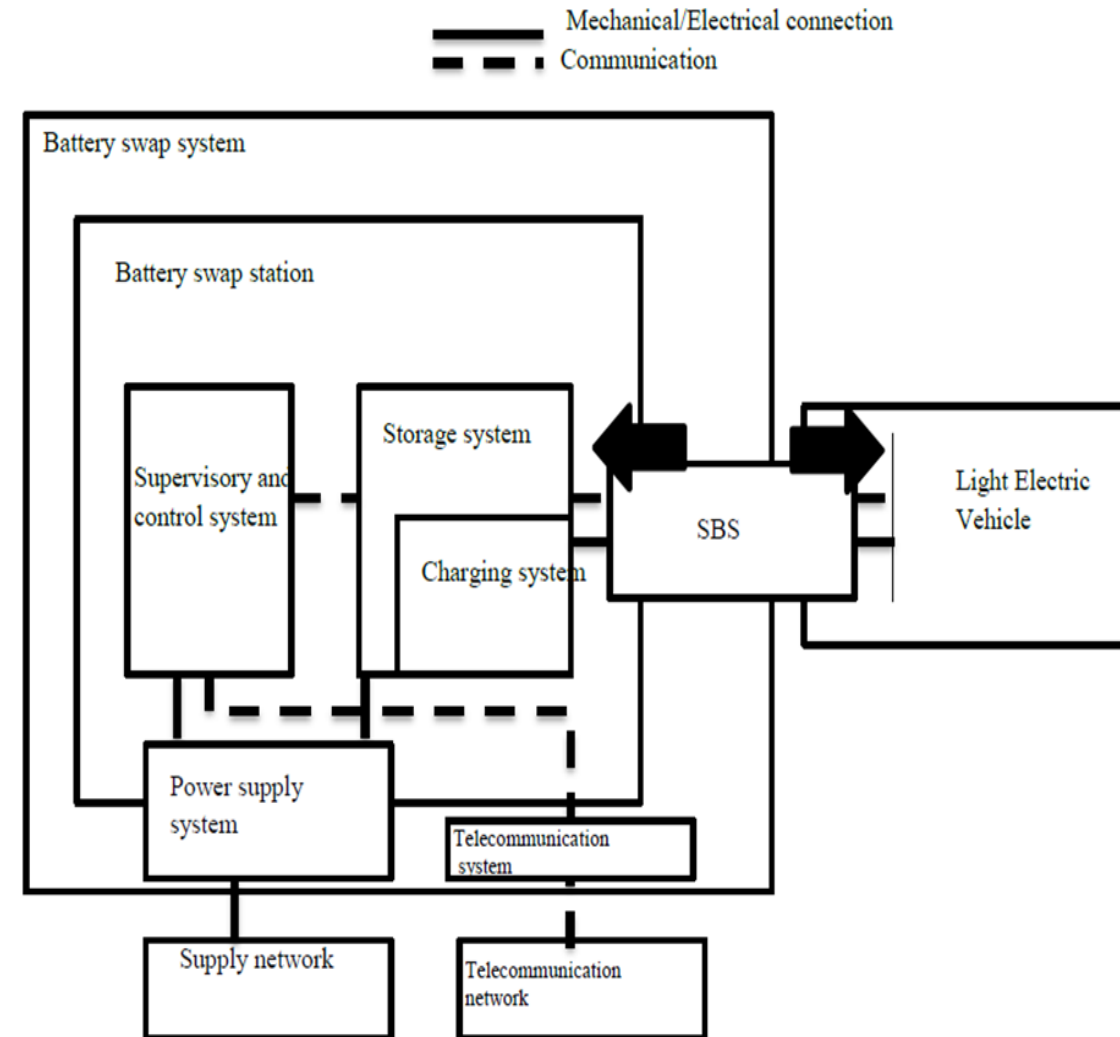


Δομή των BSS

Δομή των BSS

Ένας **BSS** αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

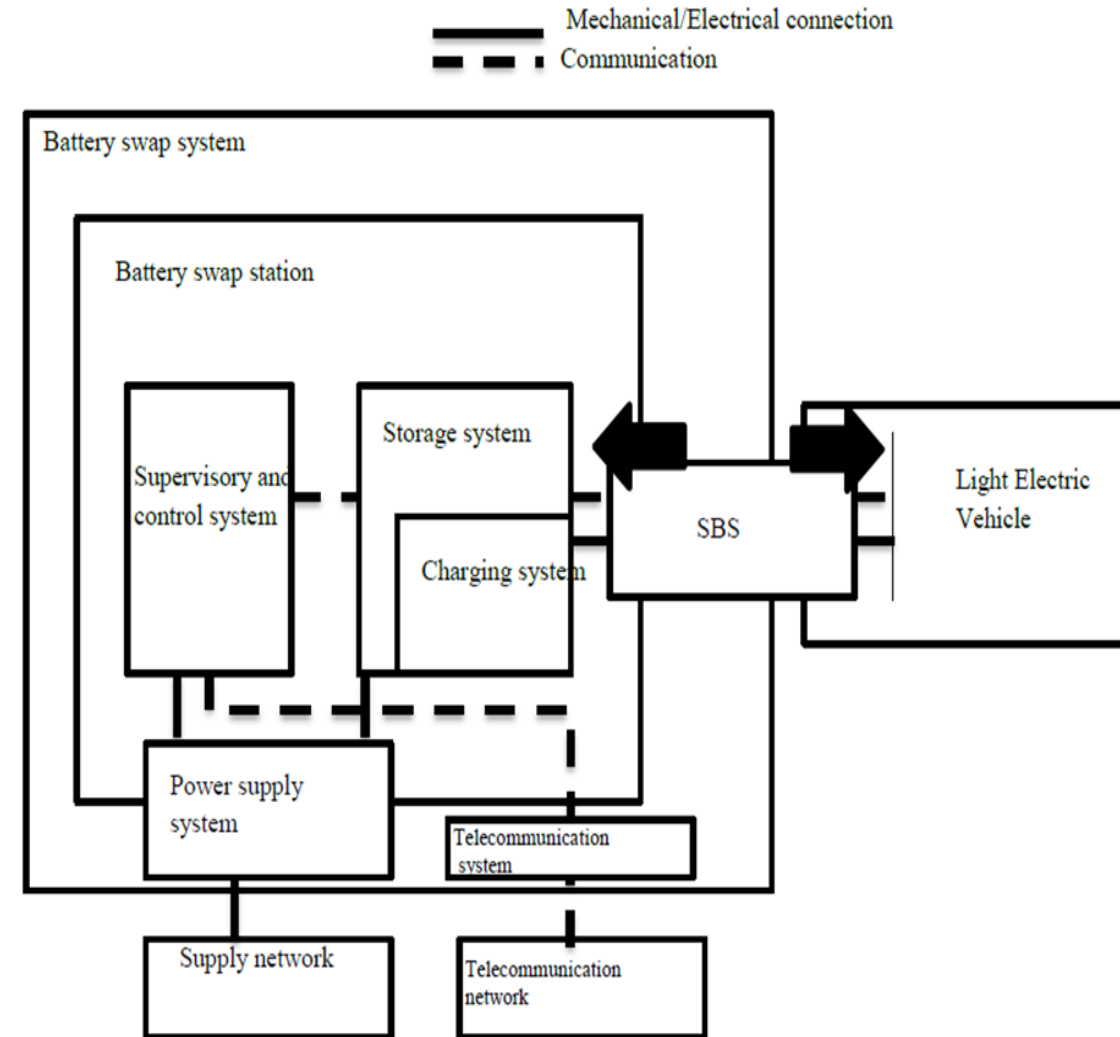
- Σύστημα αποθήκευσης (**Energy storage system**)
- Σύστημα φόρτισης (**Battery charging system**)
- Σύστημα επίβλεψης και ελέγχου (**Supervisory and control system**).



Δομή των BSS

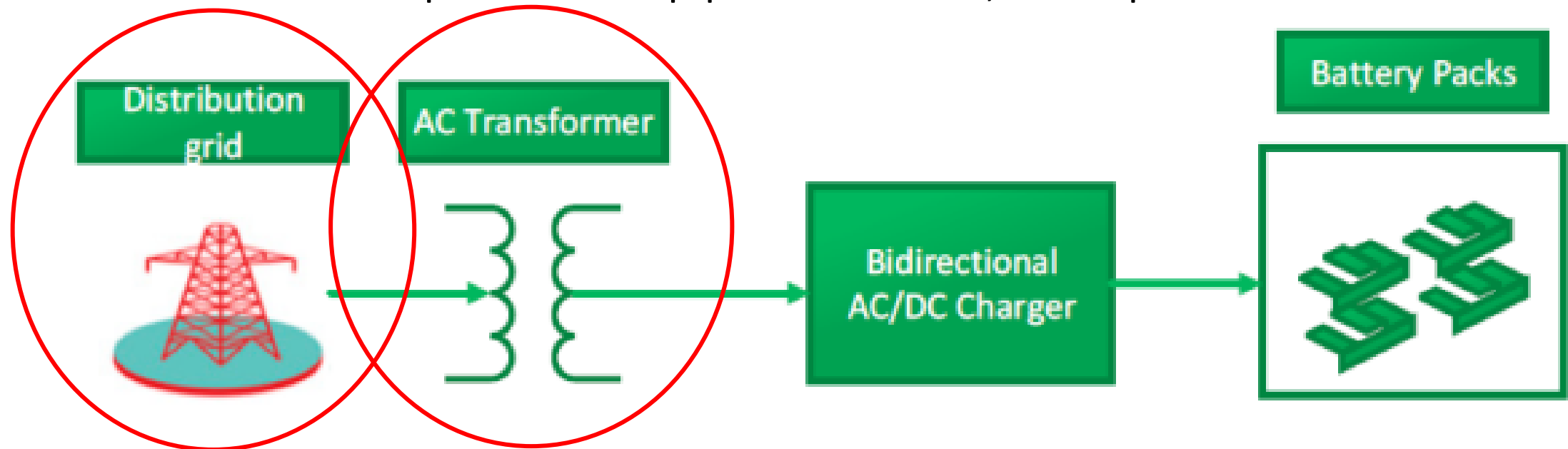
Το σύστημα υποστήριξης (**Support system**) περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- το σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (**Power supply system**)
- το σύστημα τηλεπικοινωνιών (**Telecommunication system**).



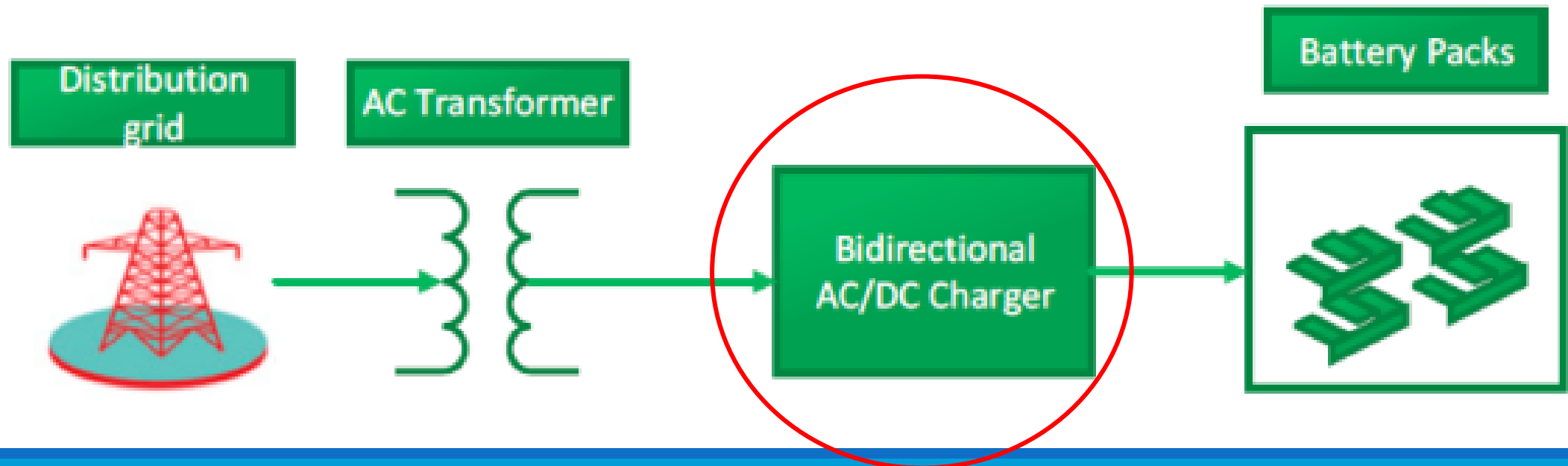
Δομή των BSS

Μετασχηματιστές διανομής (Distribution Transformer): Μετατρέπει (υποβιβάζει) την τάση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας στο σημείο σύνδεσης με το λιμάνι στην ονομαστική τάση εισόδου του φορτιστή του σταθμού. Για παράδειγμα, η τάση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας στη MT είναι μεταξύ 15kV και 20kV και πρέπει να υποβιβαστεί σε 120V, 240V ή 400V.



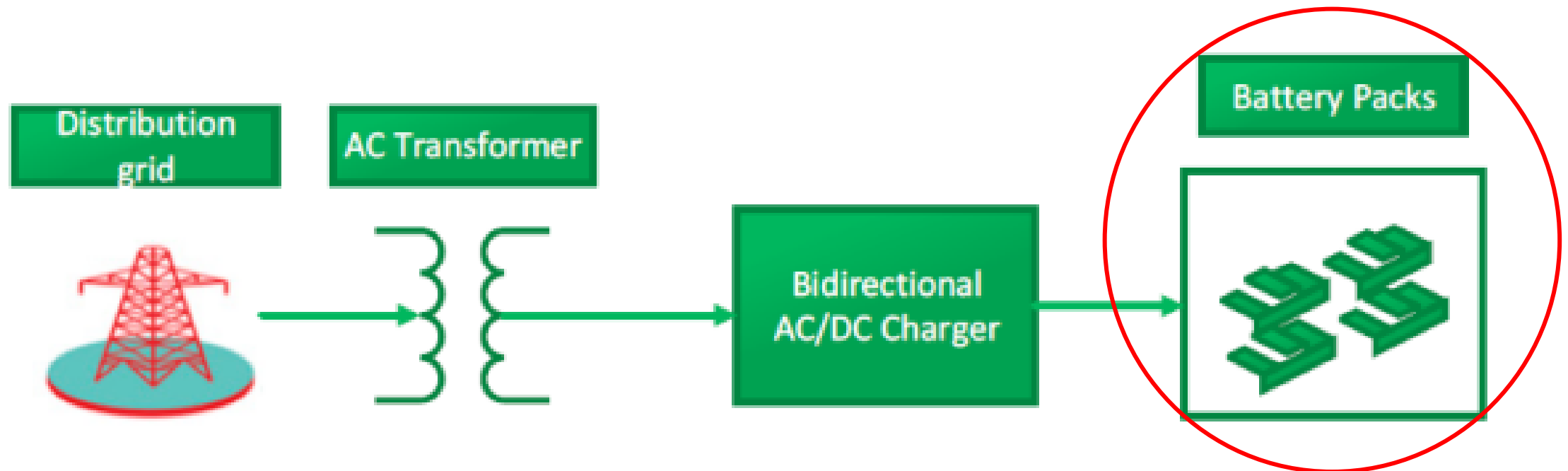
Δομή των BSS

Σταθμός φόρτισης (Charging Station): Ο σταθμός φόρτισης μετατρέπει την AC ισχύ του δικτύου σε DC (AC-DC converters), για να φορτίσει τις μπαταρίες.



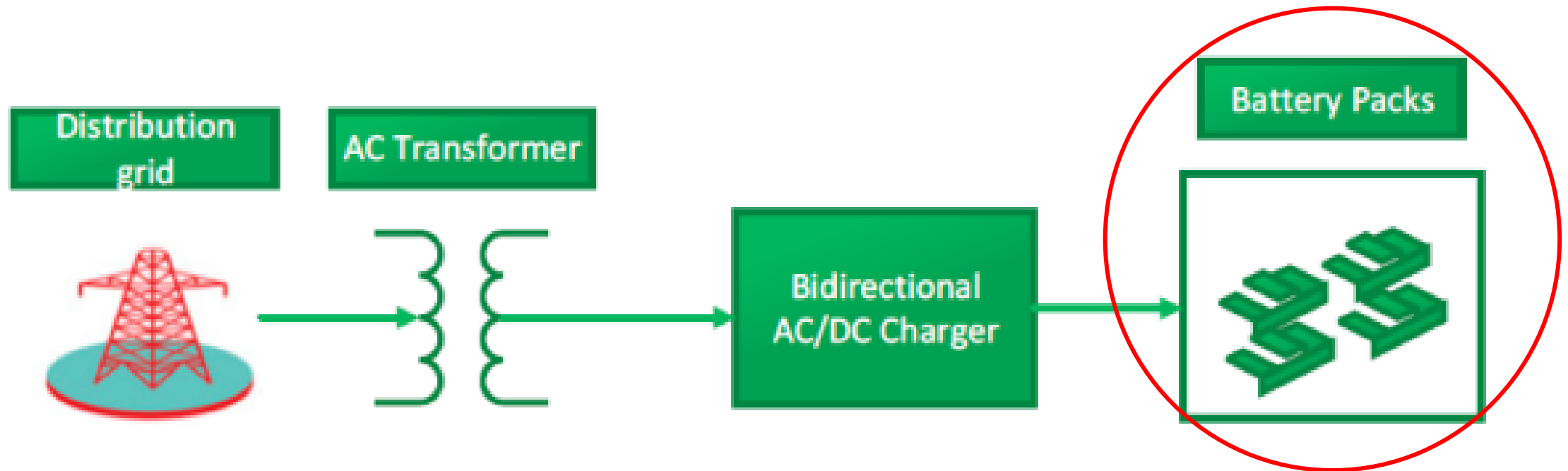
Δομή των BSS

Battery swapping station: Ο σταθμός battery swapping χρειάζεται για την αντικατάσταση των εκφορτισμένων μπαταριών με πλήρως φορτισμένες. Η αλλαγή των μπαταριών μπορεί να γίνει είτε με γερανό, κάποιο ρομποτικό σύστημα ή κάποιο ειδικό όχημα (κλαρκ).



Δομή των BSS

Επιπρόσθετος εξοπλισμός: Ο σταθμός battery swapping μπορεί να διαθέτει επιπλέον διαθέσιμες μπαταρίες για περίπτωση έκτακτης ανάγκης, οι οποίες μπορούν να αποθηκεύονται όσο περιμένουν στον σταθμό φόρτισης. Τέλος, πρέπει να υπάρχει και εξοπλισμός μεταφοράς των μπαταριών.

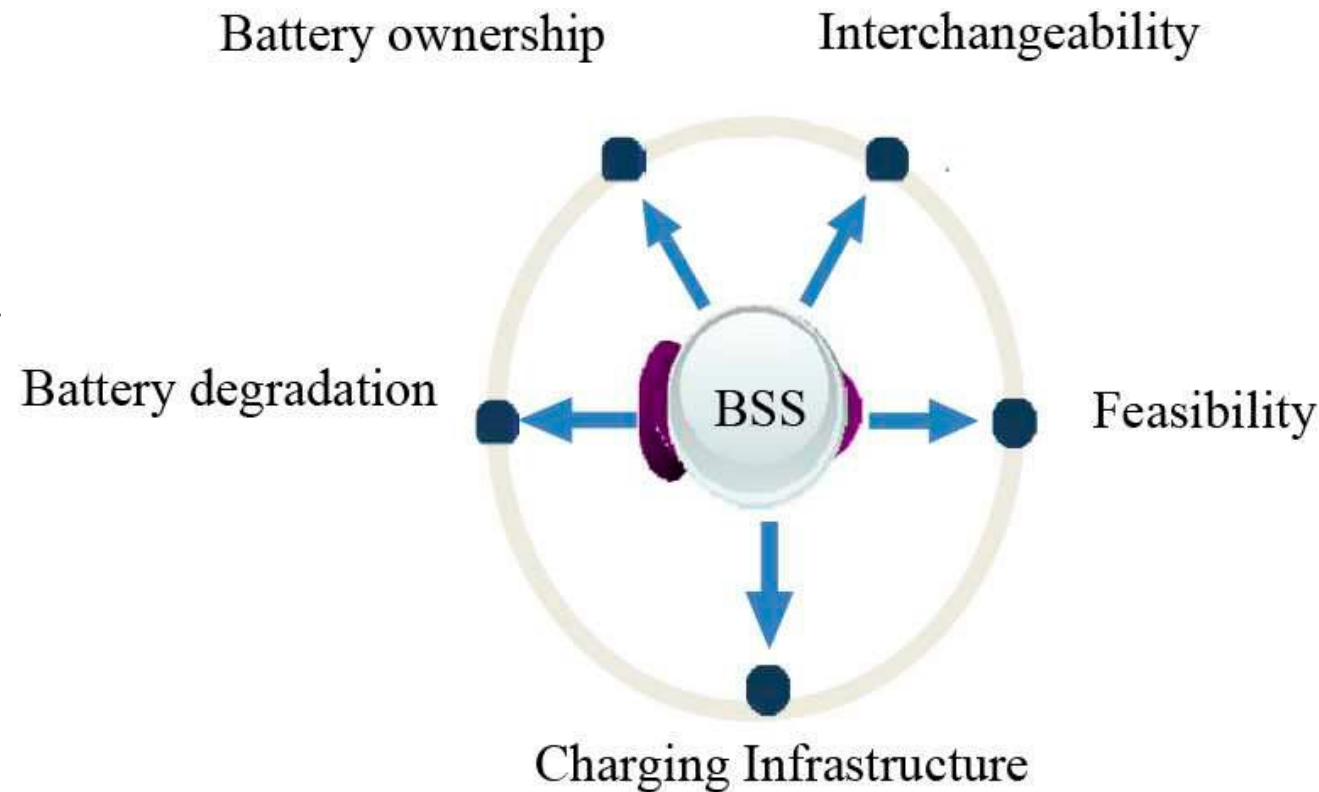


Pros and cons

- *Εξοικονόμηση χρόνου.*
- *Αύξηση της αυτονομίας της οδήγησης.*
- *Εξοικονόμηση κόστους για τους χρήστες.*
- *Διατήρηση της υγείας της μπαταρίας.*
- *Ευρεία διαθεσιμότητα σταθμών αντικατάστασης.*
- *Κεφαλαιοποίηση για εταιρείες ηλεκτρικών οχημάτων και πλοίων.*
- *Ασυμβατότητα των μπαταριών με ηλεκτρικά οχήματα και πλοία.*

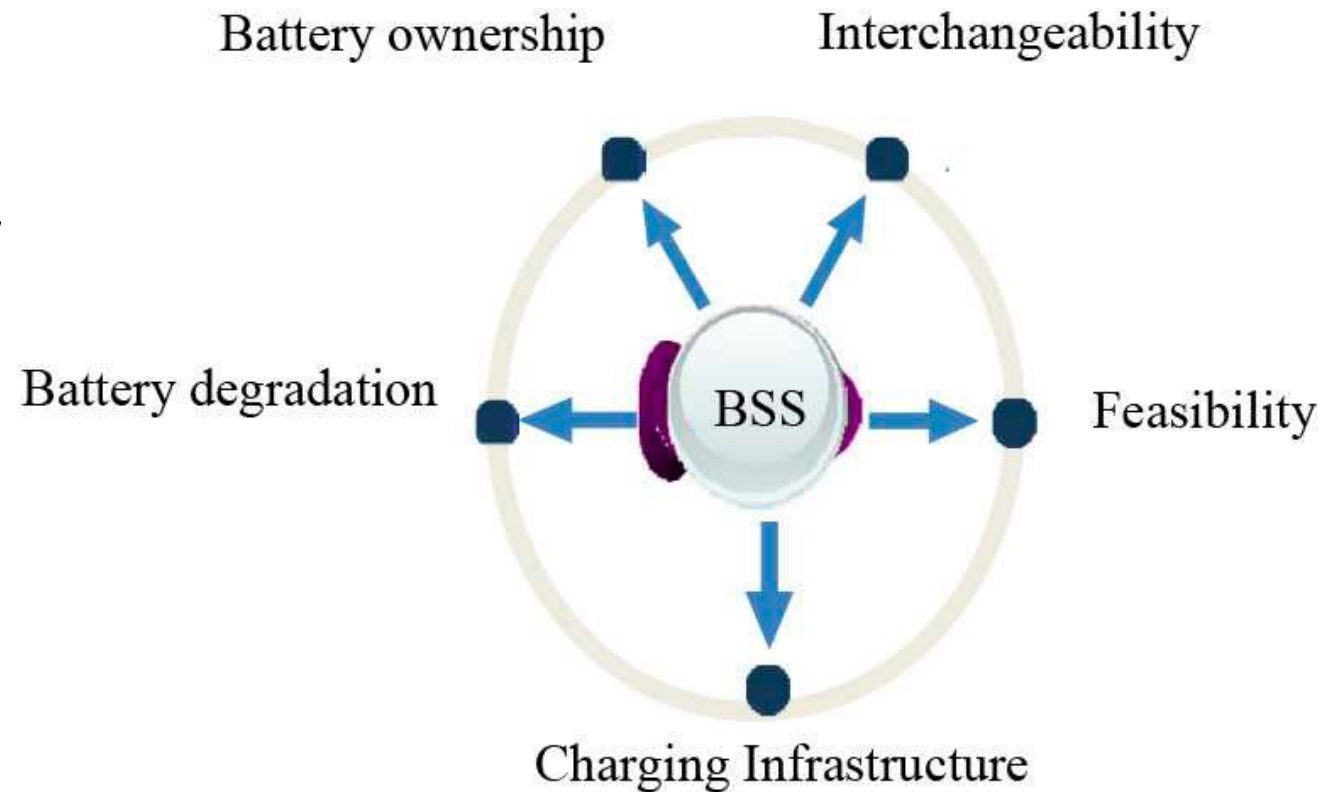
Battery swapping challenges

1. **Μη ομοιομορφία** και **κακή αξιοπιστία** της σύνδεσης των σταθμών battery swapping με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
2. **Δυσκολία** όσον αφορά **στον ενιαίο σχεδιασμό** και τη δομή των μπαταριών για να επιτευχθεί κοινή χρήση για διαφορετικά μοντέλα.



Battery swapping challenges

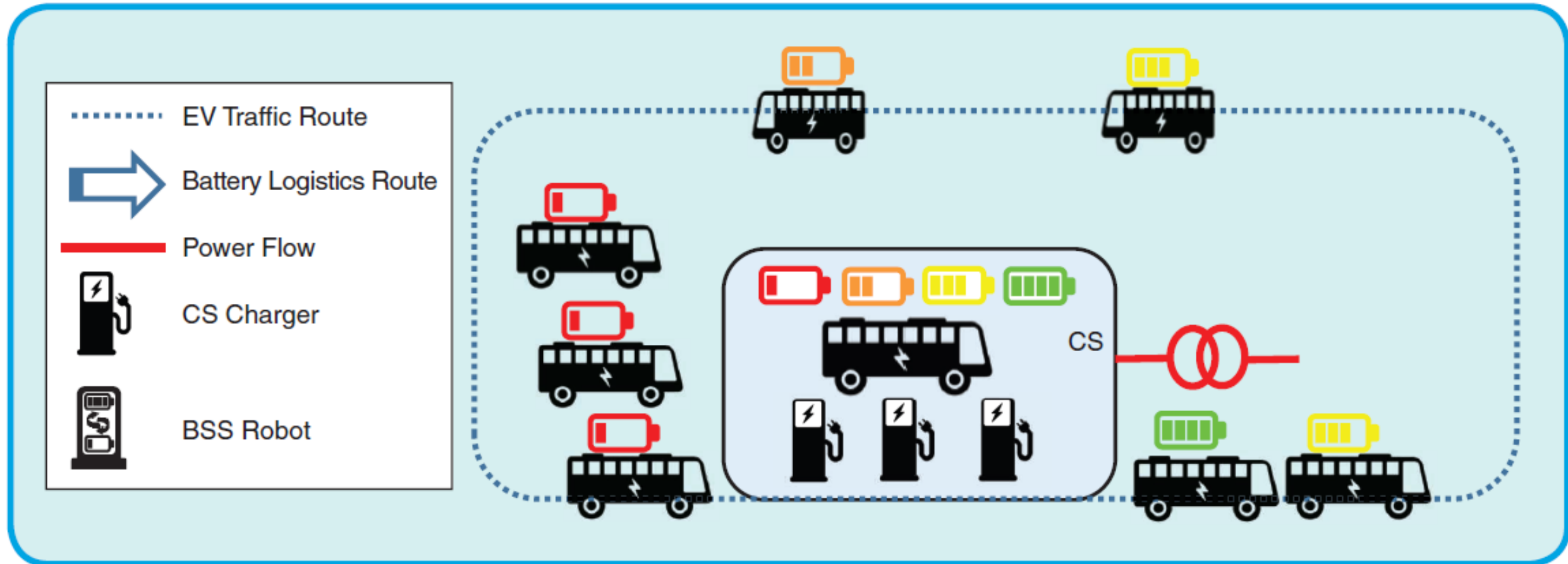
- 3. Μη ώριμη τεχνολογία και υψηλό κόστος κατασκευής των σταθμών battery swapping.**
- 4. Ανεπαρκής αξιοποίηση πόρων** λόγω έλλειψης μεθόδου για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας των σταθμών και του αριθμού των μπαταριών, όπως και του χρόνου φόρτισής τους.



BSS για ηλεκτρικά οχήματα

Battery swapping σε ηλεκτρικά οχήματα

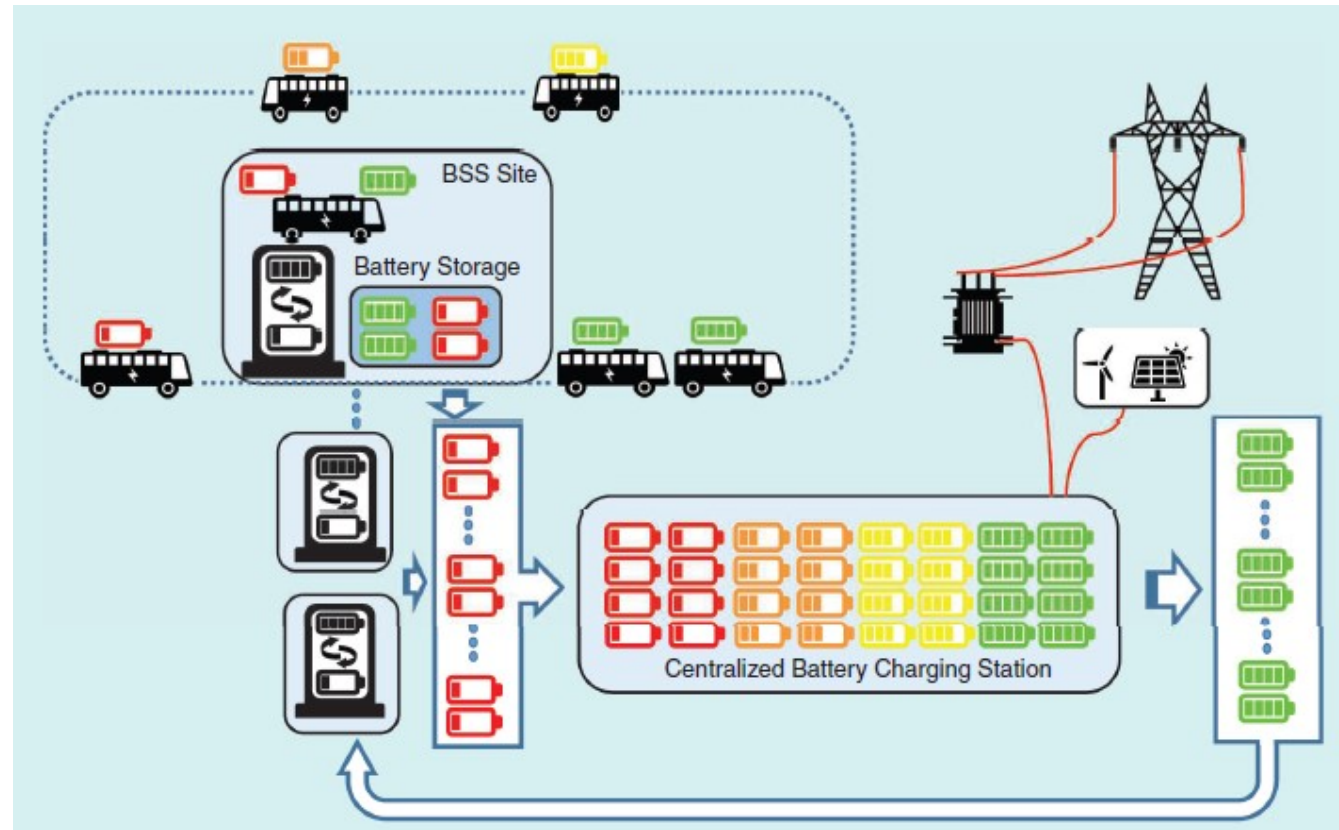
Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων



Battery swapping σε ηλεκτρικά οχήματα

Κεντριοποιημένο σύστημα *Battery swapping*

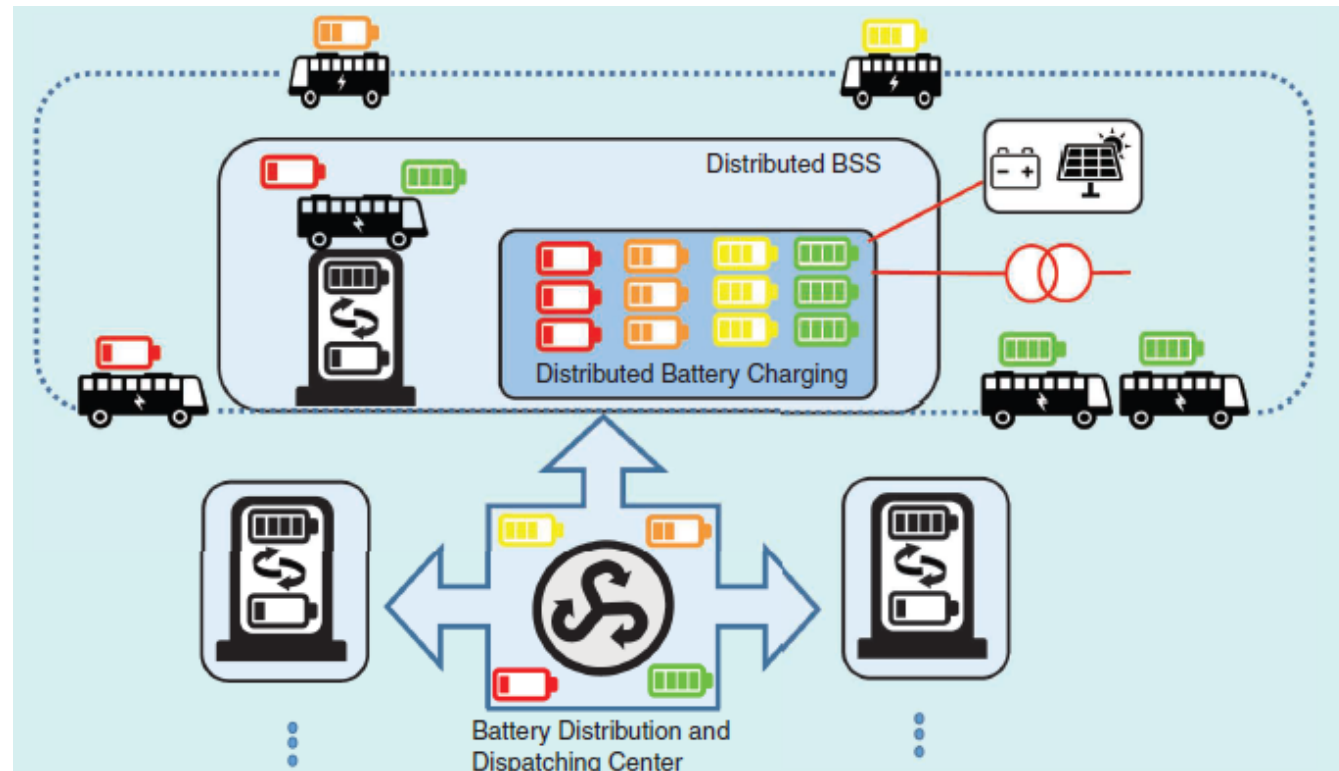
- Οι υπηρεσίες φόρτισης και αντικατάστασης μπαταριών πραγματοποιούνται σε δύο διαφορετικές εγκαταστάσεις.
- **BSS**: η άδεια μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος αντικαθίσταται με μια πλήρως φορτισμένη και στη συνέχεια αποθηκεύεται στο ράφι αποθήκευσης μπαταριών.
- **CBCS**: οι άδειες μπαταρίες συγκεντρώνονται και μεταφέρονται στον σταθμό φόρτισης.



Battery swapping σε ηλεκτρικά οχήματα

Διεσπαρμένο σύστημα *Battery swapping*

- Η μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος αντικαθίσταται και φορτίζεται στην ίδια τοποθεσία.



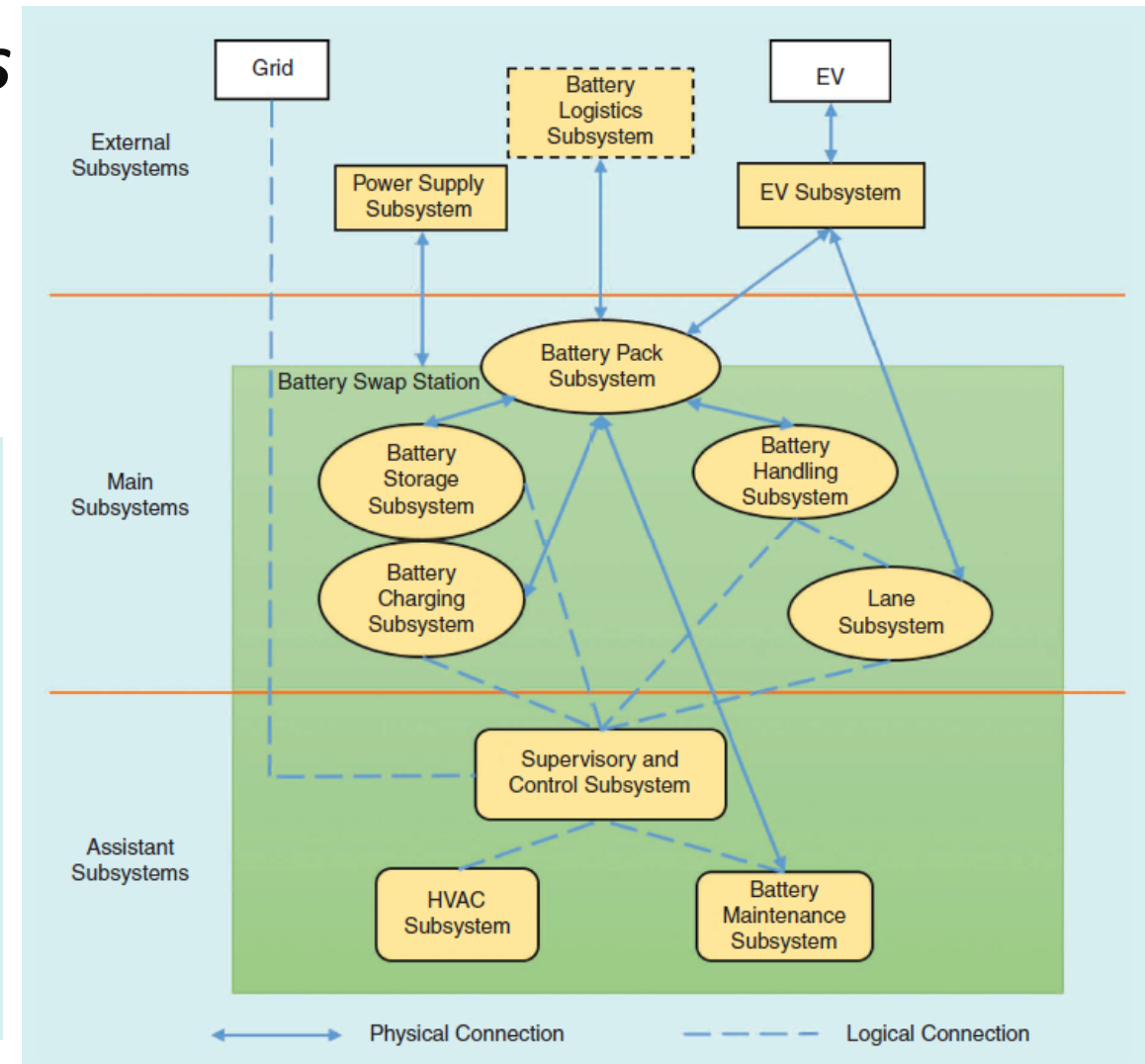
Battery swapping σε ηλεκτρικά οχήματα

	Fast CS	Centralized BSS	Distributed BSS
Compatibility of EV	High	Medium Low	Medium Low
Freedom of Site Location Selection	High	High	Low
Service Capacity/Unit Cite Area	Low	Very High	High
Initial Construction Cost	Low	High	Medium
Station Operational Cost	Low	High	Medium
Battery Logistics Requirements	None	High	Low
Battery Storage Requirements	None	High	Medium
Power Grids' Impact Concern	High	Low	Medium

Battery swapping σε ηλεκτρικά οχήματα

Η τυπική αρχιτεκτονική συστήματος ενός BSS

Subsystem Name	Subsystem Function
Lane Subsystem	Transfer and/or Position EVs to the Designed Location to Get Ready for Battery Handling
Battery Handling Subsystem	Transfer the Battery Packs Between the Battery Storage Zone and the EV, Also Known as <i>BSS Robot</i>
Battery Storage Subsystem	Store Batteries, With a Series of Equipment That Can Monitor the Status of Battery Packs and Ambient Conditions
Battery Charging Subsystem	Recharge the Battery Packs
Battery Pack Subsystem	Intersection of the BSS and EV



Battery swapping σε ηλεκτρικά οχήματα

According to Automation Level

Automatic Mode	Fully Operated by the Automatic Electrical/Mechanical Systems, Without Any Human Labor
Semiautomatic Mode	Initiated and Controlled by Human Operator While Assisted by the Electrical/Mechanical Systems, Equipped With Sensors Other Automatic Devices
Manual Mode	By Manual Tools, Which Are Operated and Controlled by Human Operators

According to Battery Pack Unmounting Direction

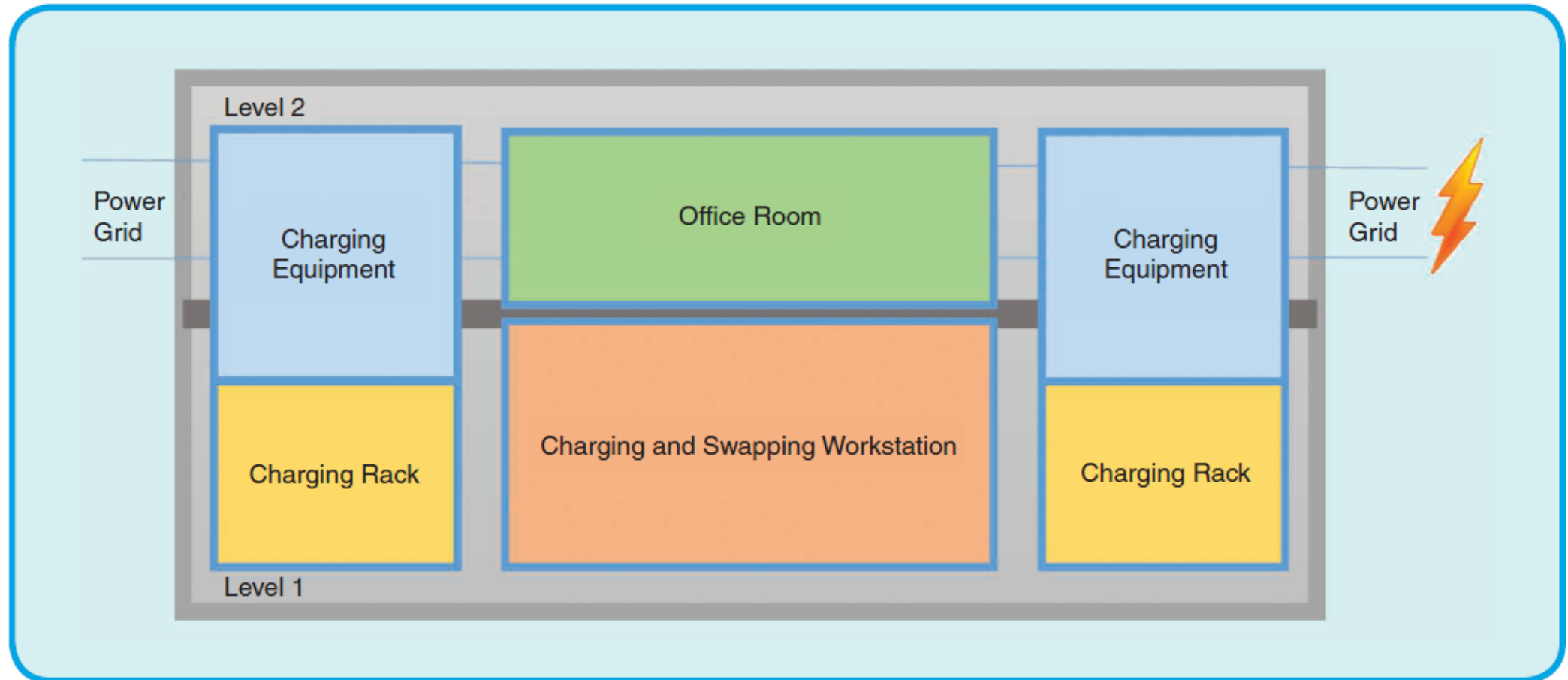
Side-Swapping	Commercial EVs, Which Have Battery Packs Installed in Both Sides of the Vehicle's Body
Bottom-Swapping	Passenger Vehicles With Battery Packs Installed in the Chassis of the Vehicle's Body
Top-Swapping	Commercial Electric Buses, Which Have Battery Mounting With Sliding Door
Front/Rear-Swapping	Passenger Vehicles With Battery Packs Installed in the Trunk of the Vehicle's Body

According to Swappable Electric Vehicle Type

For Passenger Cars	Such as Private Cars and Taxis
For Commercial Vehicles	Such as Buses and Sanitation Trucks

Battery swapping σε ηλεκτρικά οχήματα

Εφαρμογή και κατασκευή των σταθμών Battery swapping – Συνολικός σχεδιασμός



Battery swapping σε ηλεκτρικά οχήματα

Κλειστό σύστημα φόρτισης / αποθήκευσης μπαταριών - Enclosed battery charging and Storage Design

- Ο χώρος αποθήκευσης μπαταριών, ο εξοπλισμός φόρτισης και τα ρομπότ BSS τοποθετούνται σε έναν κλειστό χώρο.
- Αυτός ο σχεδιασμός μπορεί να μεγιστοποιήσει την προστασία των εγκαταστάσεων φόρτισης και την ασφάλεια του προσωπικού και των χρηστών.
- Οι μπαταρίες μπορούν να αποθηκευτούν χρησιμοποιώντας το αυτοματοποιημένο σύστημα αποθήκευσης και ανάκτησης.
- Συστήματα ψύξης, θέρμανσης, εξαερισμού, συλλογής σκόνης και πυρόσβεσης συνεργάζονται για να παρέχουν το επιθυμητό περιβάλλον για την αποτελεσματική και ασφαλή φόρτιση των μπαταριών.

Τοποθεσία εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

- 1. Ακτίνα εξυπηρέτησης - *Service radius*:** Η μέγιστη απόσταση της περιοχής εξυπηρέτησης που μπορεί να καλύψει ένας σταθμός φόρτισης / battery swapping. Ένα καλά οργανωμένο δίκτυο σταθμού φόρτισης / battery swapping θα πρέπει να καλύπτει όλες τις διαδρομές εντός των περιοχών εξυπηρέτησής του, δηλαδή κάθε σημείο στο δίκτυο θα πρέπει να βρίσκεται εντός της ακτίνας εξυπηρέτησης τουλάχιστον ενός σταθμού φόρτισης / battery swapping.
- 2. Απαιτήσεις ασφαλείας – *Safety requirements*:** Ο κυριότερος τύπος μπαταριών Η/Ο σήμερα είναι οι μπαταρίες ιόντων-λιθίου. Οι σταθμοί battery swapping συνήθως απαιτούν έναν αριθμό εφεδρικών μπαταριών. Λαμβάνοντας υπόψη τον ασταθές χαρακτήρα των μπαταριών ιόντων-λιθίου, η ασφάλεια είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό των σταθμών battery swapping.

Τοποθεσία εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

- 3. Κόστος θέσης εγκατάστασης – Land price and city planning:** Οι δαπάνες γης θα μπορούσαν να αποτελέσουν τη μεγαλύτερη επένδυση ενός σταθμού battery swapping στις πόλεις. Με βάση την ακτίνα εξυπηρέτησης ενός σταθμού battery swapping, πρέπει να διατηρείται ισορροπία μεταξύ της τιμής της γης και της εύκολης πρόσβασης.
- 4. Επικουρικές εγκαταστάσεις – Supporting facilities:** Ένας σταθμός battery swapping χρειάζεται υποστηρικτικές εγκαταστάσεις όπως εγκαταστάσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, παροχής νερού και υποδομές θέρμανσης. Ειδικά για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, στους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, μια αξιόπιστη εγκατάσταση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι όχι μόνο η βάση για την ποιότητα των υπηρεσιών φόρτισης ενός σταθμού, αλλά μπορεί επίσης να μειώσει τις απώλειες ενέργειας, το κόστος ηλεκτρισμού και, κατά συνέπεια, τα λειτουργικά κόστη των σταθμών.

Τοποθεσία εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

- 5. Πηγές ενέργειας – Power sources:** Εκτός από την ενέργεια που εισάγεται από το δίκτυο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και διεσπαρμένη παραγωγή από συστήματα ΑΠΕ για την υποστήριξη της λειτουργίας του σταθμού. Με αυτόν τον τρόπο, ακόμα και σε περίπτωση διακοπής της παροχής ρεύματος, ο σταθμός μπορεί να λειτουργήσει σε κάποιο βαθμό. Επιπρόσθετα υπάρχει η δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με τα οχήματα (V2G). Οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας αποθηκεύουν επιπλέον ενέργεια, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ισορρόπηση του φορτίου ενέργειας του σταθμού και του δικτύου ενέργειας.

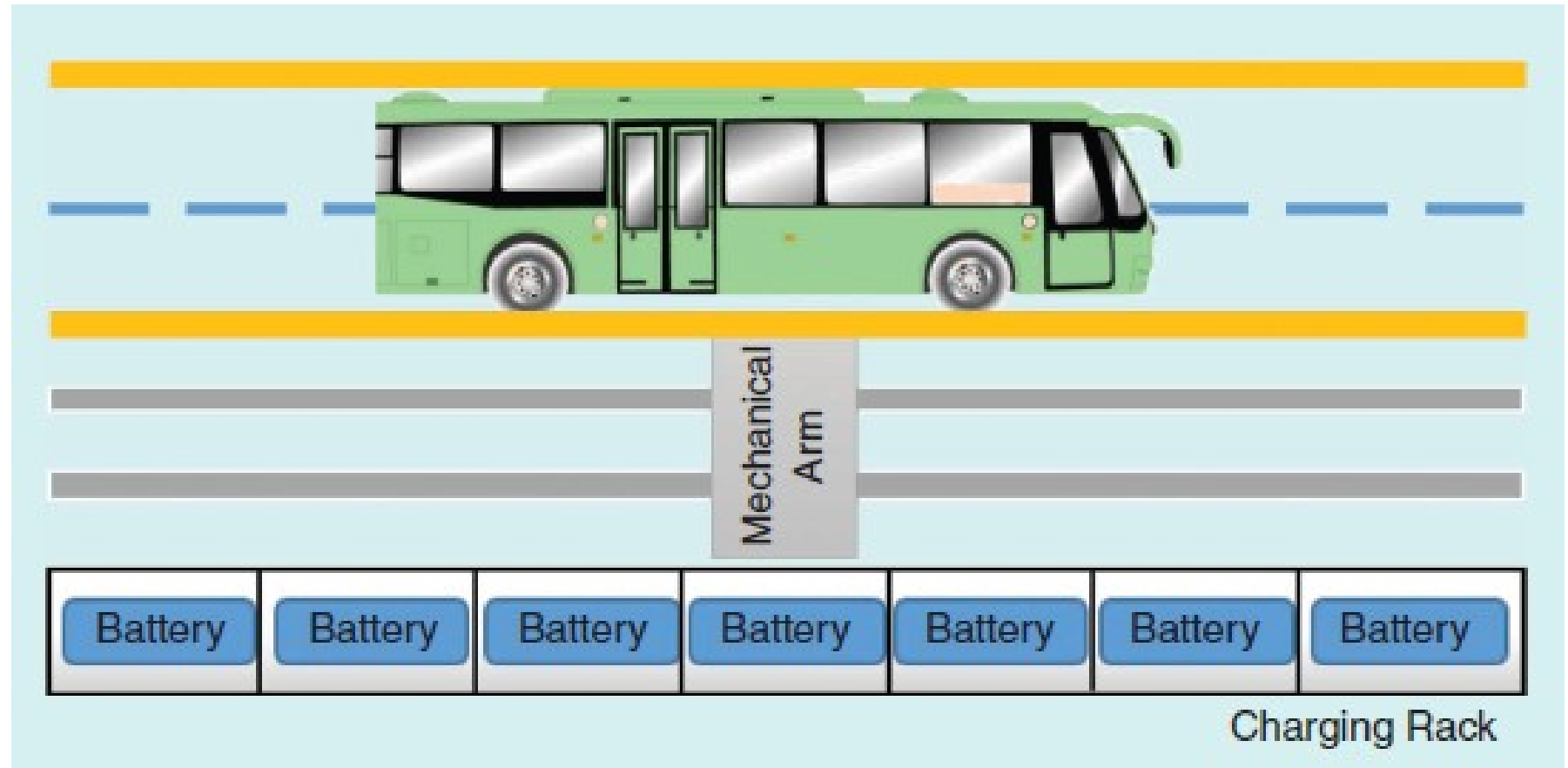
Τοποθεσία εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

- 6. Άλλοι παράγοντες:** Παράγοντες όπως ο πληθυσμός της περιοχής, το μέγεθος της πόλης, διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων κλπ. Τέλος, οι λειτουργικοί παράγοντες αφορούν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των σταθμών battery swapping και τον τύπο και τον σκοπό των ηλεκτρικών οχημάτων που χρησιμοποιούν τους σταθμούς.

Σχεδιασμός εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

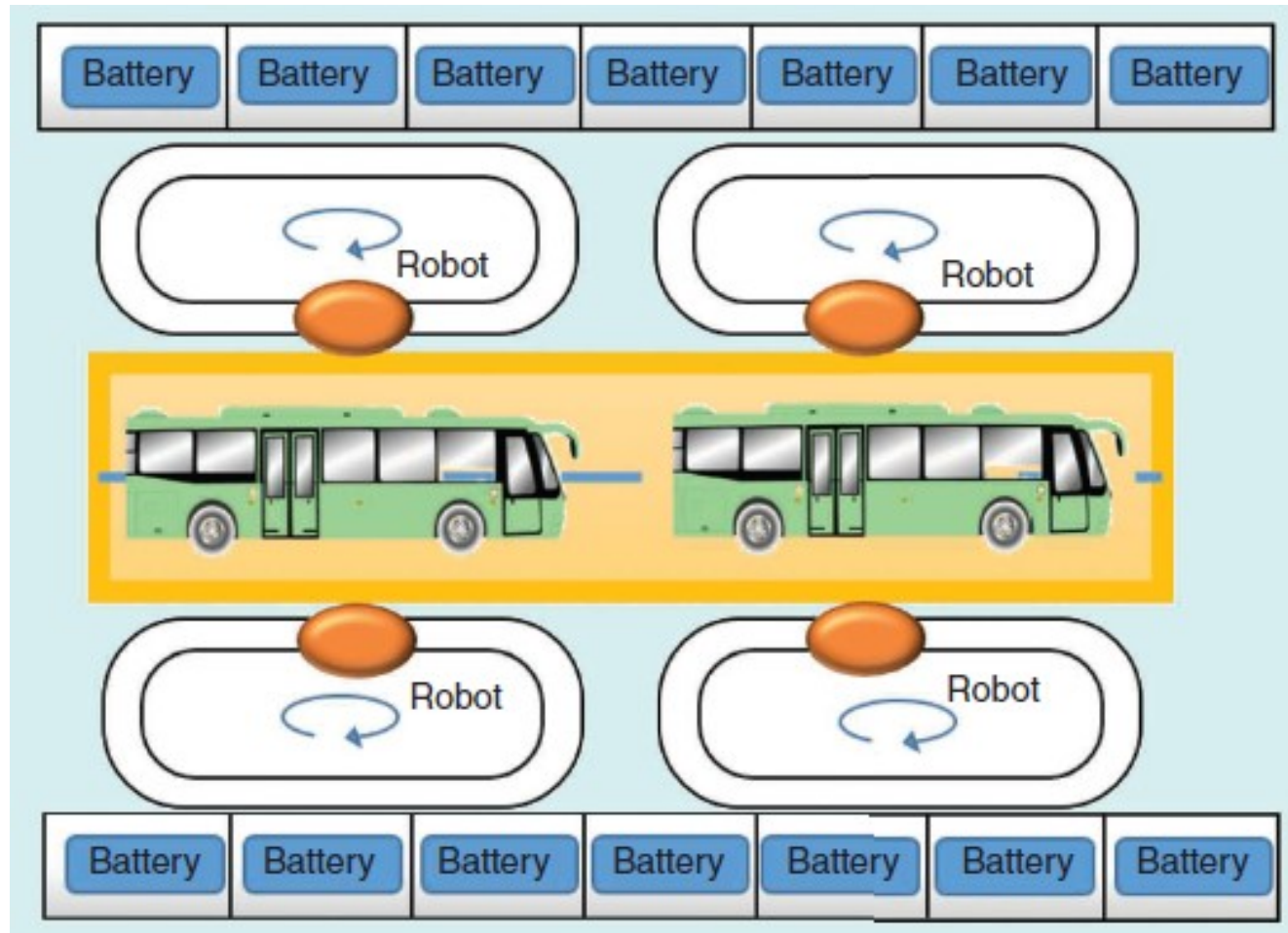
1. Μέθοδος συστήματος αντικατάστασης ενός βήματος – One-step BSS

Commercial EVs



Σχεδιασμός εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

2. Μέθοδος βελτιωμένου συστήματος αντικατάστασης ενός βήματος – *Improved One-step BSS*

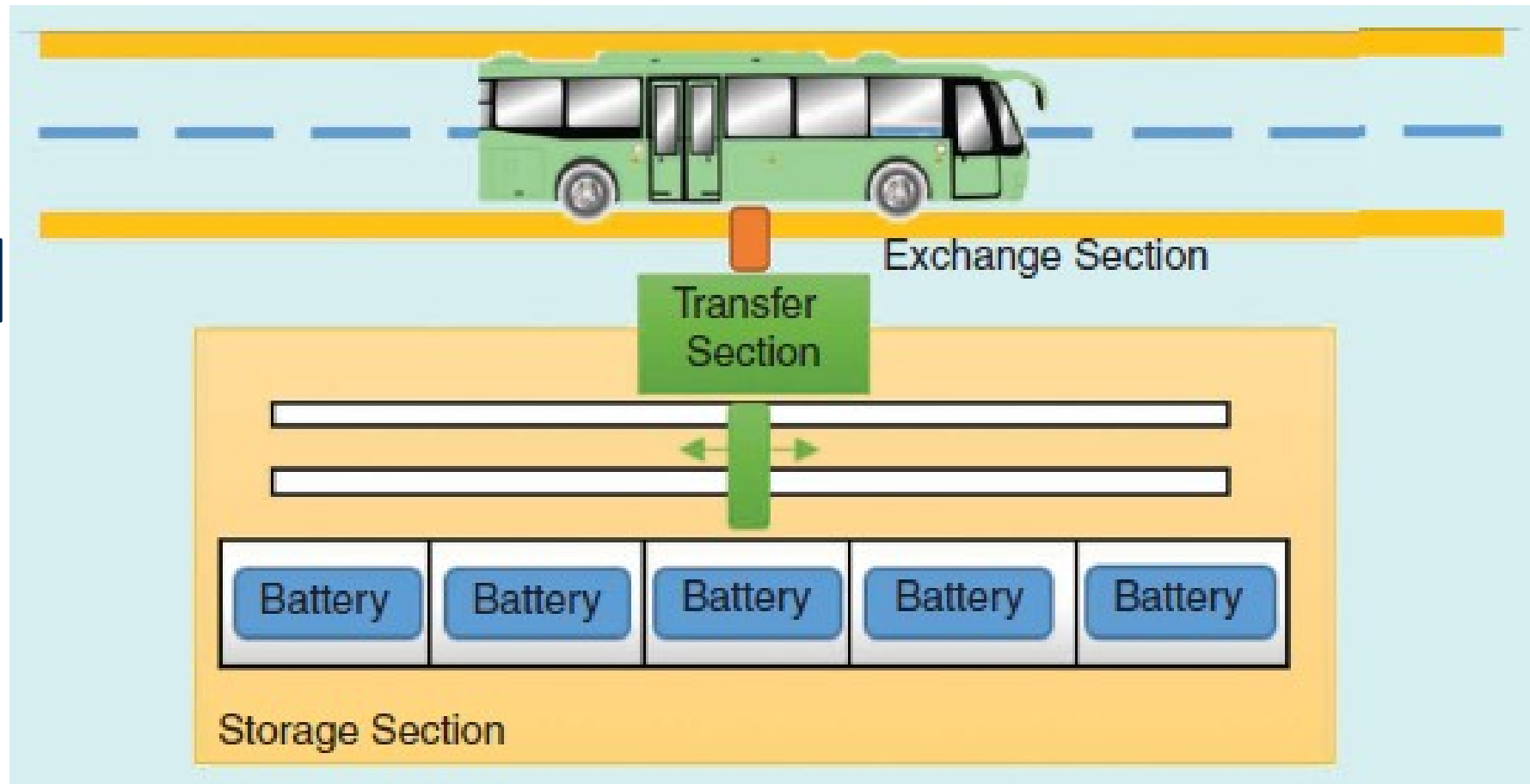


Commercial EVs

Σχεδιασμός εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

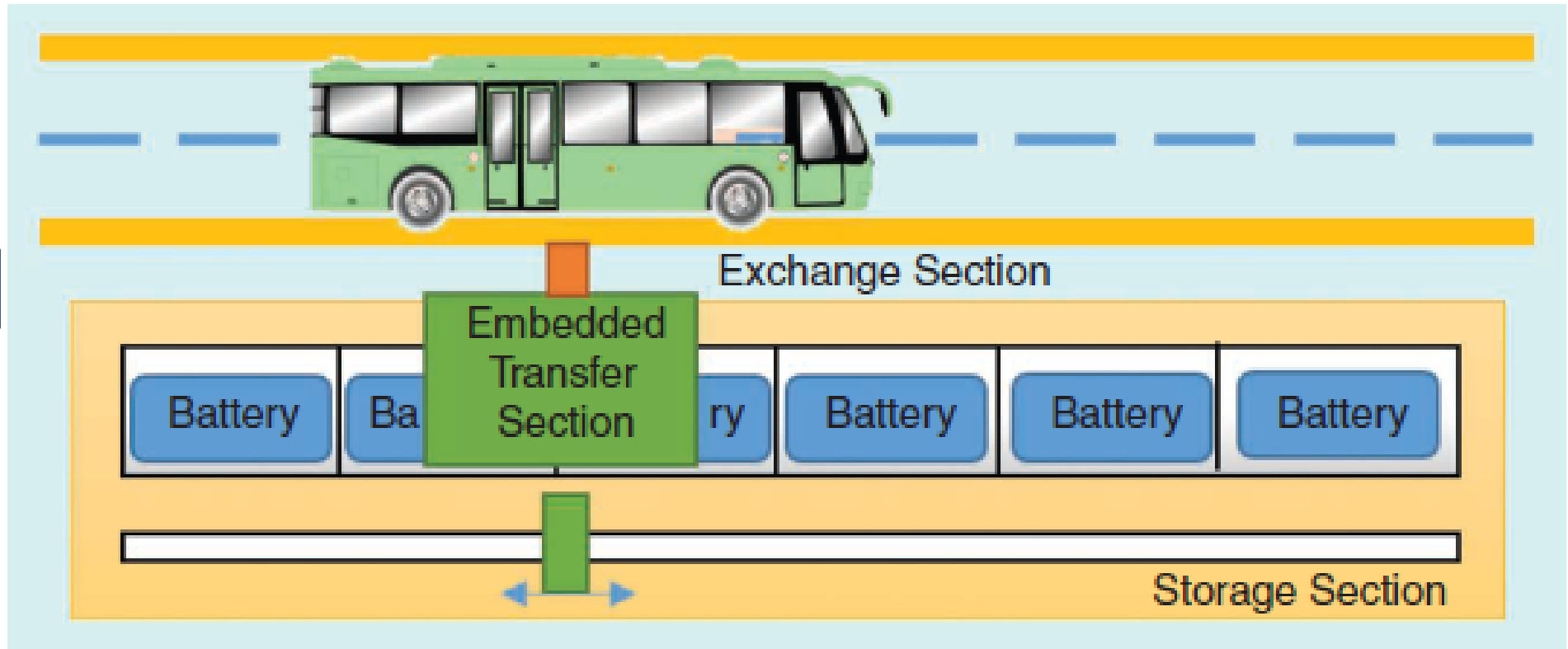
3. Μέθοδος τυπικού συστήματος αντικατάστασης δύο βήματος – *Standard two-step BSS*

Commercial EVs



Σχεδιασμός εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

4. Μέθοδος τυπικού συστήματος αντικατάστασης δύο βήματος – Compact two-step BSS

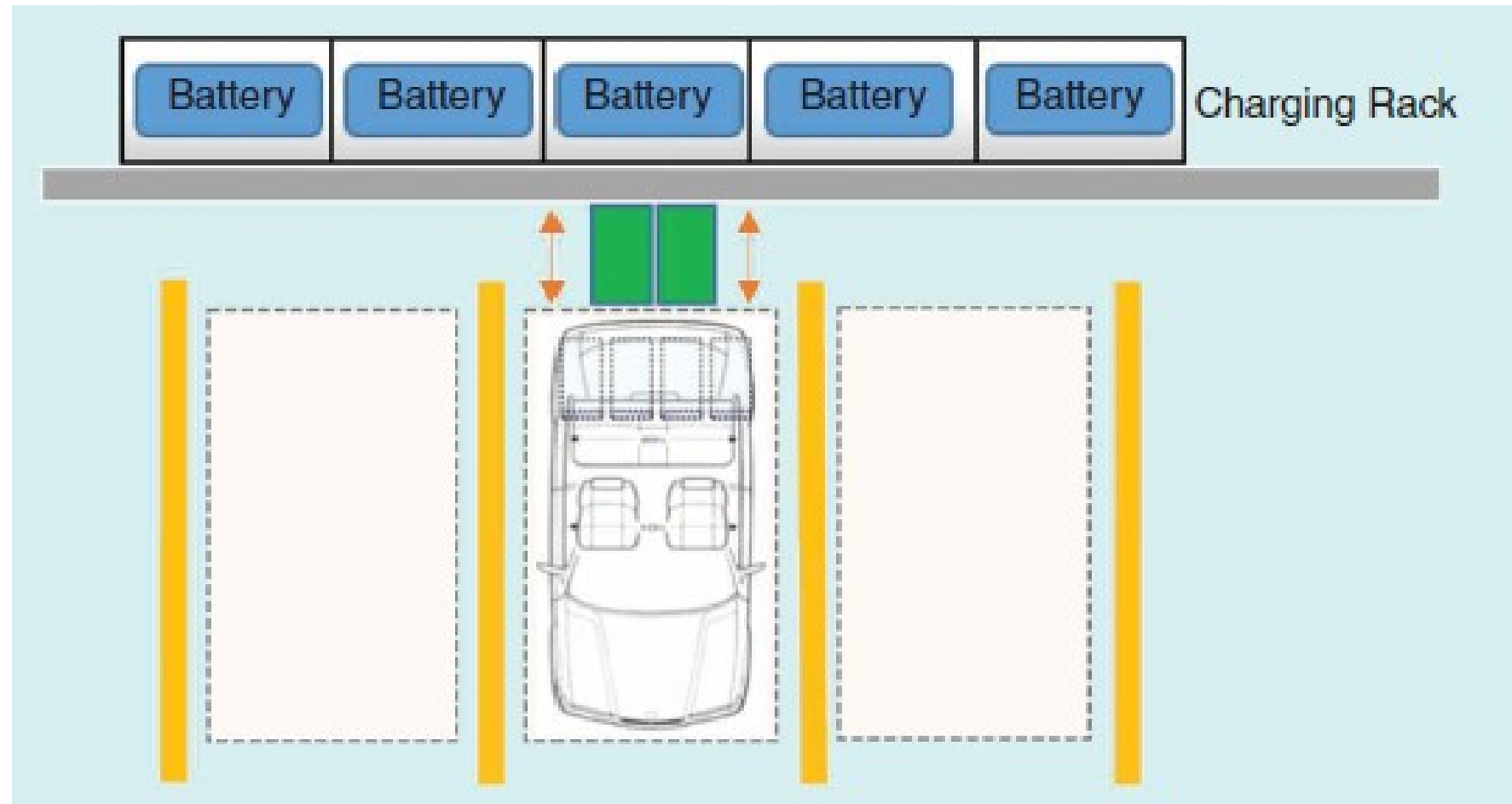


Commercial EVs

5. Μέθοδος πλήρως αυτοματοποιημένου συστήματος αντικατάστασης – Fully automatic BSS

Σχεδιασμός εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

1. Μπαταρίες στο πορτ-μπαγκάζ του οχήματος – *Battery in truck*

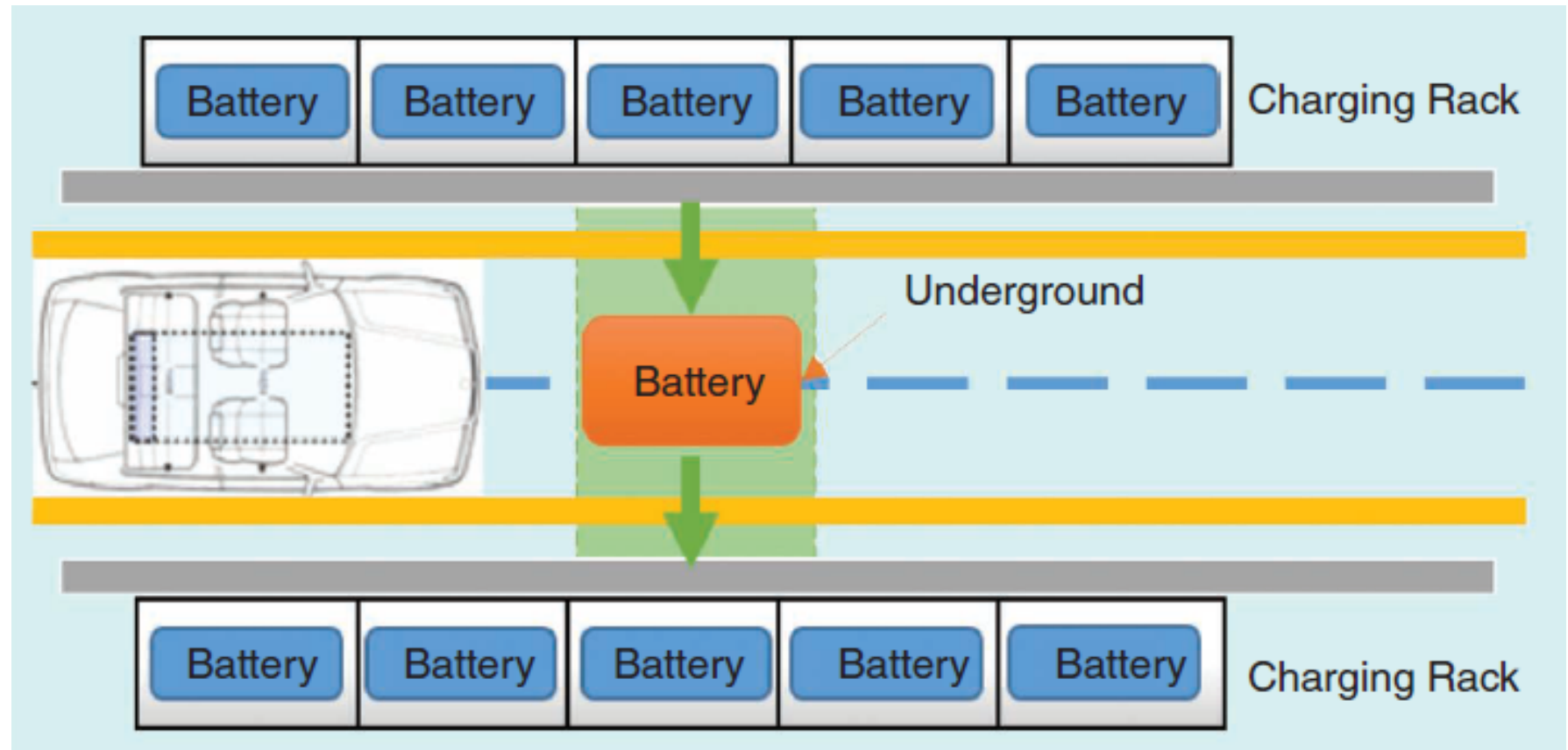


Passenger EVs

Σχεδιασμός εγκατάστασης σταθμών Battery swapping

2. Μπαταρίες στο δάπεδο του οχήματος– *Battery under the chassis*

Passenger EVs



Διαχείριση της λειτουργίας σταθμών Battery swapping

- Για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας, της ασφάλειας και της σταθερότητας, ένας σταθμός χρειάζεται ένα σύστημα παρακολούθησης, ελέγχου και διαχείρισης της λειτουργίας του. Αυτό το σύστημα παρακολουθεί όλα τα είδη γεγονότων στον σταθμό, συμπεριλαμβανομένης της φόρτισης των και της ανταλλαγής των μπαταριών, της αποθήκευσης και της διέλευσης των οχημάτων.
- Κάθε υποσύστημα του σταθμού συνδέεται μέσω δικτύου τοπικού ελέγχου σε ένα κεντρικό δωμάτιο ελέγχου. Σε αυτό το κεντρικό δωμάτιο ελέγχου, όλα τα δεδομένα συλλέγονται και αναλύονται από τον διαχειριστή του σταθμού.
- Ένα σύστημα διαχείρισης λειτουργίας είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των υπηρεσιών προς τους πελάτες, τη μέτρηση και χρέωση της ενέργειας, τη διαχείριση της απόδοσης, τη διαχείριση αποθεμάτων μπαταριών, τον κεντρικό έλεγχο και άλλα.

Πιλοτικοί σταθμοί Battery swapping

Σταθμός *battery swapping* ηλεκτρικών λεωφορείων

Τεχνολογία one-step BSS και έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει περίπου 1.000 Η/Ο καθημερινά.



Πιλοτικοί σταθμοί Battery swapping

Σταθμός *battery swapping* ηλεκτρικών ταξί

Τεχνολογία ημι-αυτόματου συστήματος αλλαγής μπαταριών με τη χρήση μηχανών αντικατάστασης από τους χειριστές του σταθμού.

Χρόνος αντικατάστασης της μπαταρίας: 60-90 δευτερόλεπτα



Πιλοτικοί σταθμοί Battery swapping

Σταθμός *battery swapping* ηλεκτρικών απορριμματοφόρων

Τεχνολογία Compact two-step BSS.

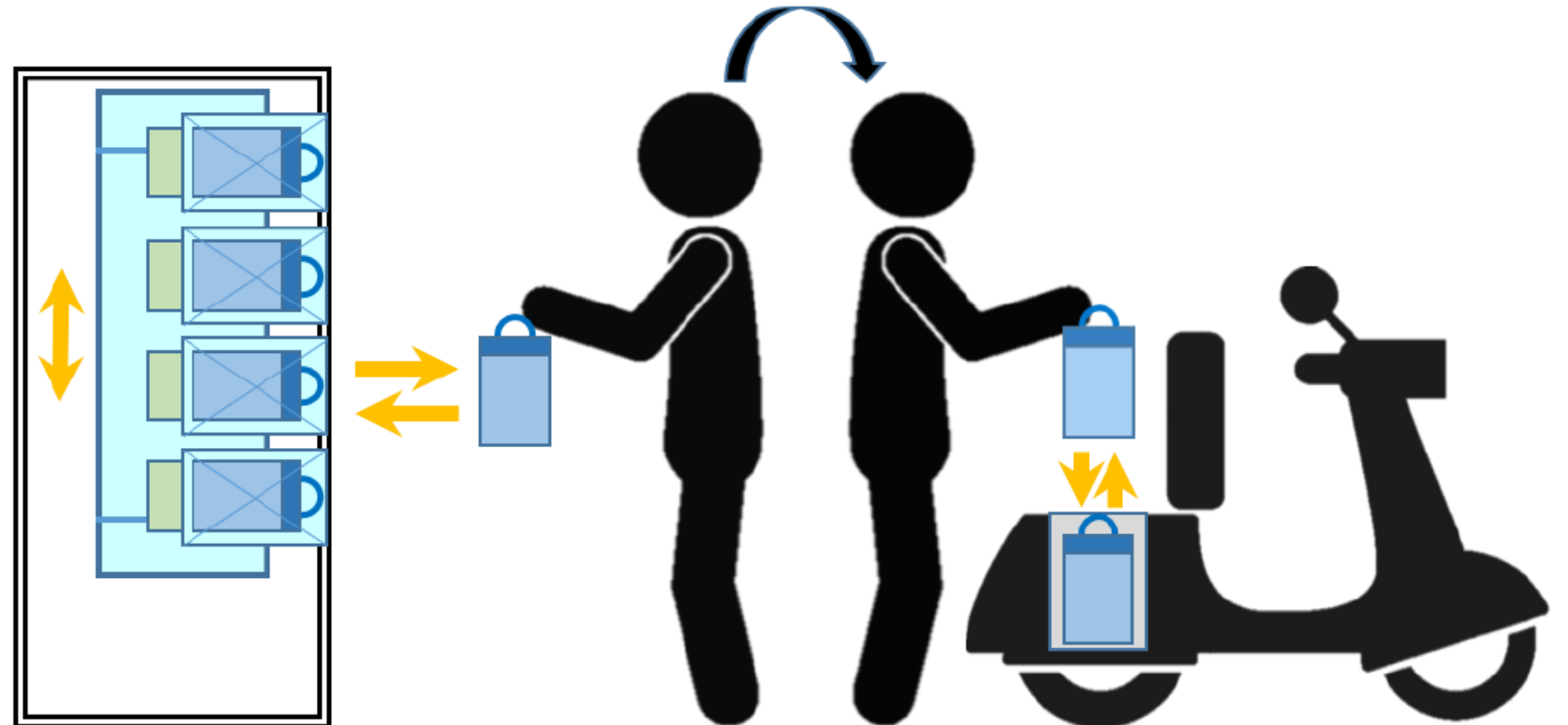
Μπορεί να παρέχει υπηρεσίες αντικατάστασης για οκτώ ηλεκτρικά οχήματα ταυτόχρονα. Αντικατάσταση μπαταρίας σε 6-8 λεπτά.



BSS για ηλεκτρικά μηχανάκια

Battery swapping σε ηλεκτρικά μηχανάκια

- Χειροκίνητη αλλαγή μπαταρίας – ο χρήστης κάνει την αντικατάσταση της μπαταρίας μόνος του.
- Γρήγορη διαδικασία.



Gogoro

Χειροκίνητο *Battery swapping* σε ηλεκτρικά scooter και μοτοσικλετών – Τελ Αβίβ

- Το μηχανάκι φτάνει τον σταθμό ανταλλαγής, ο χρήστης αφαιρεί τις χρησιμοποιημένες μπαταρίες και τις τοποθετεί στην υποδοχή.
- Η συσκευή εκτοξεύει δύο πλήρως φορτισμένες μπαταρίες.
- Ο χρήστης τοποθετεί τις γεμάτες μπαταρίες πάλι στο σκούτερ μου Gogoro S2 ABS και φεύγει.



Gogoro

Χειροκίνητο *Battery swapping* σε ηλεκτρικά scooter και μοτοσικλετών – Τελ Αβίβ

- Ολόκληρη η διαδικασία διαρκεί περίπου 45 δευτερόλεπτα, συμπεριλαμβανομένου του παρκαρίσματος και της αναχώρησης.
- Είναι τόσο απλό επειδή οι μπαταρίες είναι εξοπλισμένες με έξυπνο σύστημα κατά το οποίο «ξέρουν» σε ποιο σκούτερ ήταν και επικοινωνούν όλες αυτές τις πληροφορίες με το κέντρο της Gogoro.



Gogoro

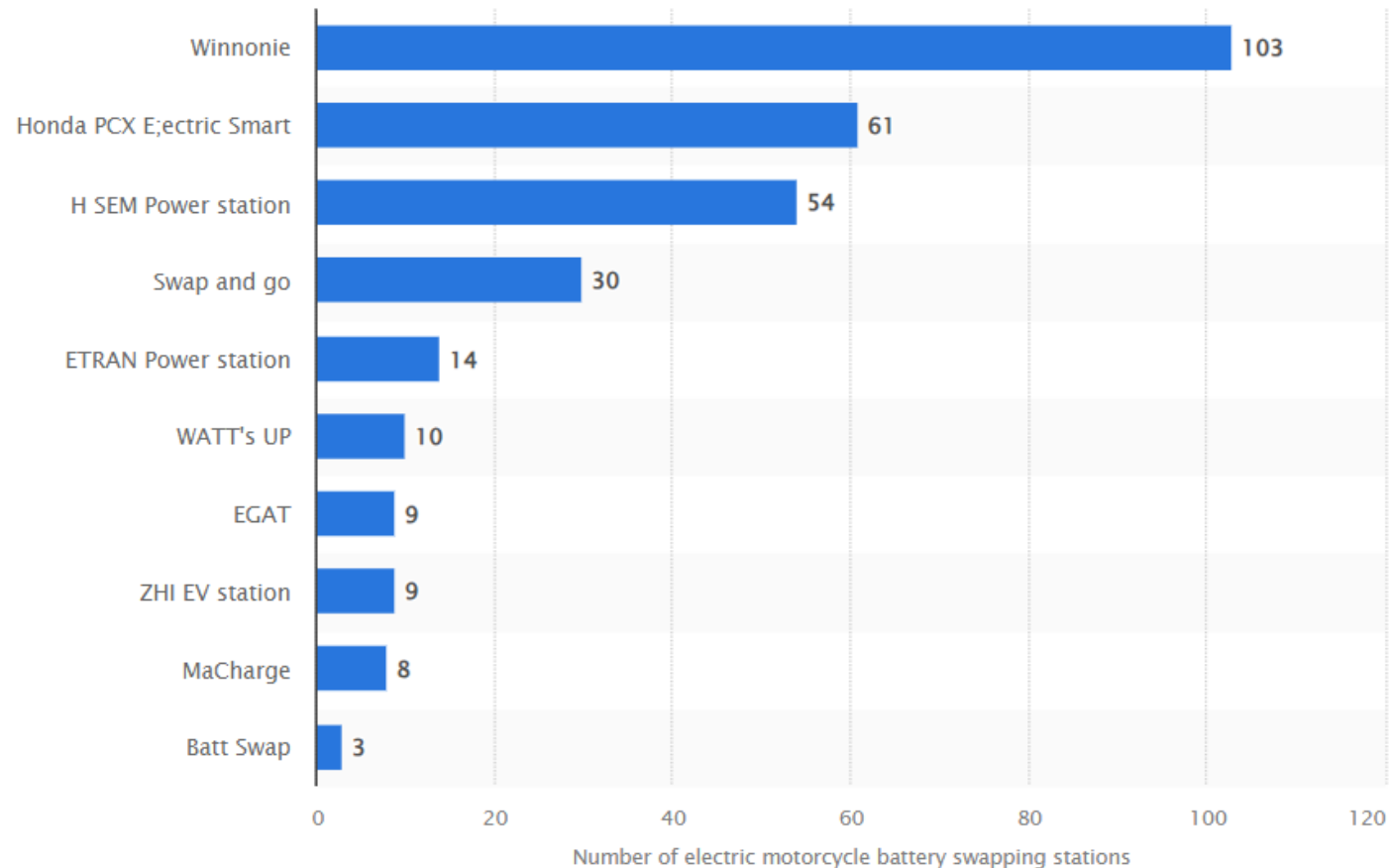
Χειροκίνητο Battery swapping σε ηλεκτρικά scooter και μοτοσικλετών – Τελ Αβίβ

- Σε όλη την πόλη είναι διανεμημένοι οι σταθμοί battery swapping σε απόσταση 3-5 χιλιόμετρα μεταξύ τους.
- Αυτονομία 45 μίλια (72 χιλιόμετρα) με ταχύτητα 59 mph (95 χλμ/ώρα).



Battery swapping σε ηλεκτρικά μηχανάκια

Number of electric motorcycle battery swapping stations in Thailand as of September 2023, by provider



BSS για ηλεκτρικά πλοία

Battery swapping σε ηλεκτρικά πλοία

- Τα περισσότερα ηλεκτρικά πλοία προς το παρόν λειτουργούν με λειτουργία φόρτισης της μπαταρίας. Με την εγκατάσταση περισσότερων μπαταριών στο πλοίο στο μέλλον, ο **αυξημένος χρόνος φόρτισης** της μπαταρίας **θα μειώσει σημαντικά την αποδοτικότητα λειτουργίας του πλοίου**.
- Επιπλέον, λόγω του περιορισμένου χώρου και του **κόστους επένδυσης**, ο αριθμός των εγκατεστημένων μπαταριών στο πλοίο είναι περιορισμένος και δεν μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση του εσωτερικού πλοίου για πλοήγηση μεγάλων αποστάσεων, έτσι η παροχή επιπλέον ενέργειας στη μέση της διαδρομής είναι αναπόφευκτη.

Battery swapping σε ηλεκτρικά πλοία

- Επιπλέον, το πρόβλημα της ακανόνιστης φόρτισης των μπαταριών από τους ιδιοκτήτες των πλοίων θα αυξήσει την **αρνητική επίδραση** της διαδικασίας φόρτισης **στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας** και θα **επηρεάσει την ποιότητα ισχύος στο σημείο σύνδεσης**.
- Τα παραπάνω προβλήματα μπορούν να εξαλειφθούν μέσω της εφαρμογής **battery swapping στα ηλεκτρικά πλοία**.
- Προκειμένου να επιτευχθεί η λειτουργία πλοίων με μεγάλες αποστάσεις με τη λειτουργία battery swapping, θα κατασκευαστούν αρκετοί σταθμοί αντικατάστασης μπαταριών κατά μήκος της διαδρομής πλοήγησης.

Battery swapping σε ηλεκτρικά πλοία

- Όταν το πλοίο φτάνει στους σταθμούς battery swapping, οι άδειες μπαταρίες θα αντικαθίστανται από πλήρως φορτισμένες μπαταρίες, στη συνέχεια οι άδειες μπαταρίες θα φορτίζονται στην περιοχή φόρτισης της μπαταρίας και το πλοίο θα αναχωρεί από τον σταθμό BS προς τον επόμενο σταθμό.
- Σε αυτήν τη διαδικασία, **ο χρόνος αντικατάστασης της μπαταρίας είναι πολύ μικρότερος από τον αντίστοιχο χρόνο φόρτισης της μπαταρίας**, και έτσι προωθείται η αποδοτικότητα λειτουργίας για τα πλοία.

Battery swapping σε ηλεκτρικά πλοία

- Επιπλέον, η μπαταρία μπορεί να φορτίζεται κεντρικά από τον λειτουργό του BSS. Όταν το τοπικό τμήμα υιοθετεί την χρονικά μεταβαλλόμενη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, ο λειτουργός μπορεί να φορτίζει την μπαταρία σε χαμηλή τιμή για να μειώσει το κόστος λειτουργίας για το BSS.



Battery swapping σε πλοία

Απαιτούμενος εξοπλισμός:

- **Γερανός ή ρομποτικό σύστημα ή ειδικά οχήματα** για την αντικατάσταση των μπαταριών.
- **Σταθμός φόρτισης των μπαταριών.**
- **Κτήριο αποθήκευσης των μπαταριών.**
- **Ειδικά διαμορφωμένος χώρος** στο λιμάνι (προβλήτα) για την προσέλευση των πλοίων και τη διεξαγωγή της διαδικασίας αντικατάστασης των μπαταριών.
- **Εγκατάσταση σύνδεσης του σταθμού battery swapping με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (μετασχηματιστές κλπ).**
- **Εγκατάσταση συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.**

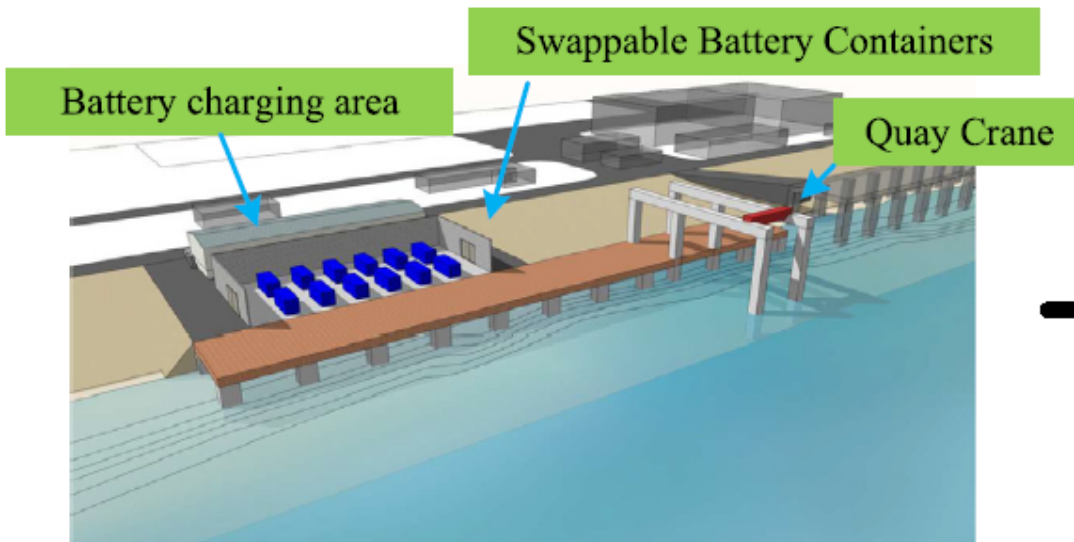
Battery swapping σε πλοία

- Το κόστος λειτουργίας του πλήρως ηλεκτρικού πλοίου μέσω του battery swapping κυρίως αποτελείται από το **κόστος αντικατάστασης της μπαταρίας**, το οποίο μπορεί να υπολογιστεί με τον πολλαπλασιασμό της κατανάλωσης ενέργειας με την τιμή αντικατάστασης της μπαταρίας.
- Προκειμένου να **μειωθεί το κόστος αντικατάστασης** της μπαταρίας, το πλοίο πρέπει να **μειώσει την κατανάλωση ενέργειας** και να φτάσει στο λιμάνι με χαμηλή τιμή αντικατάστασης μπαταριών.

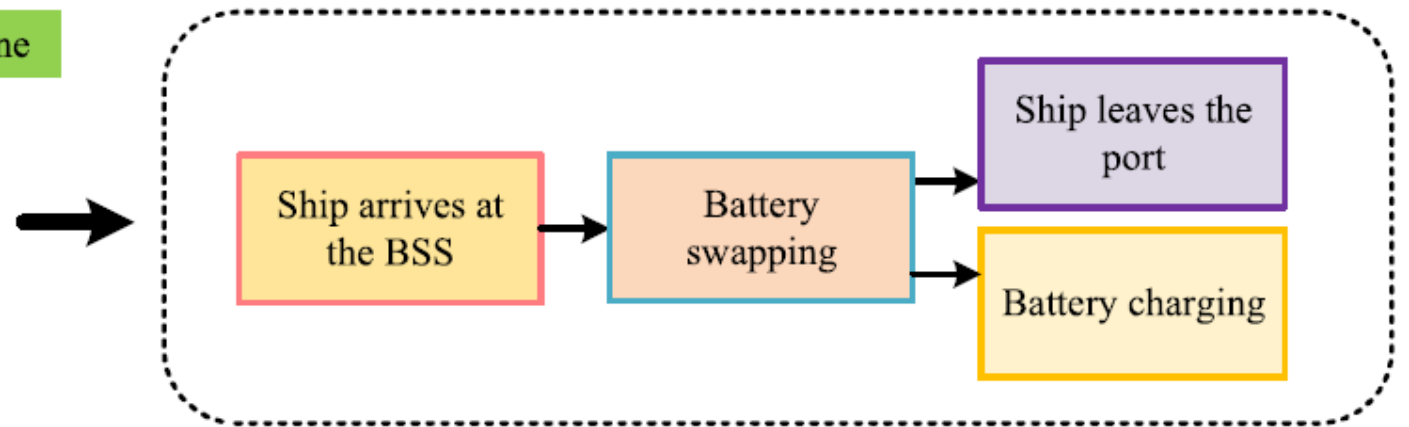
Battery swapping σε πλοία

- Παρόλο που η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί με τη μείωση της ταχύτητας, η **μείωση της ταχύτητας θα αυξήσει τον χρόνο πλοήγησης** και θα προκαλέσει την καθυστέρηση του πλοίου στις περιόδους με χαμηλή τιμή αντικατάστασης μπαταριών στον σταθμό battery swapping και μπορεί ακόμη και να μην ολοκληρώσει τις μεταφορικές του εργασίες εγκαίρως.
- Συνεπώς, η **βελτιστοποίηση της ταχύτητας** χρησιμοποιείται για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα.
- Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη ότι η διαχείριση της ενέργειας και το πρόγραμμα πλοήγησης συνδέονται για το πλήρως ηλεκτρικό πλοίο, το οποίο δεν μπορεί να επιλυθεί ξεχωριστά, προτείνεται η **μέθοδος βελτιστοποίησης της ταχύτητας και της ενέργειας για το πλήρως ηλεκτρικό πλοίο σε λειτουργία αντικατάστασης μπαταριών για την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας**.

Battery swapping σε ηλεκτρικά πλοία

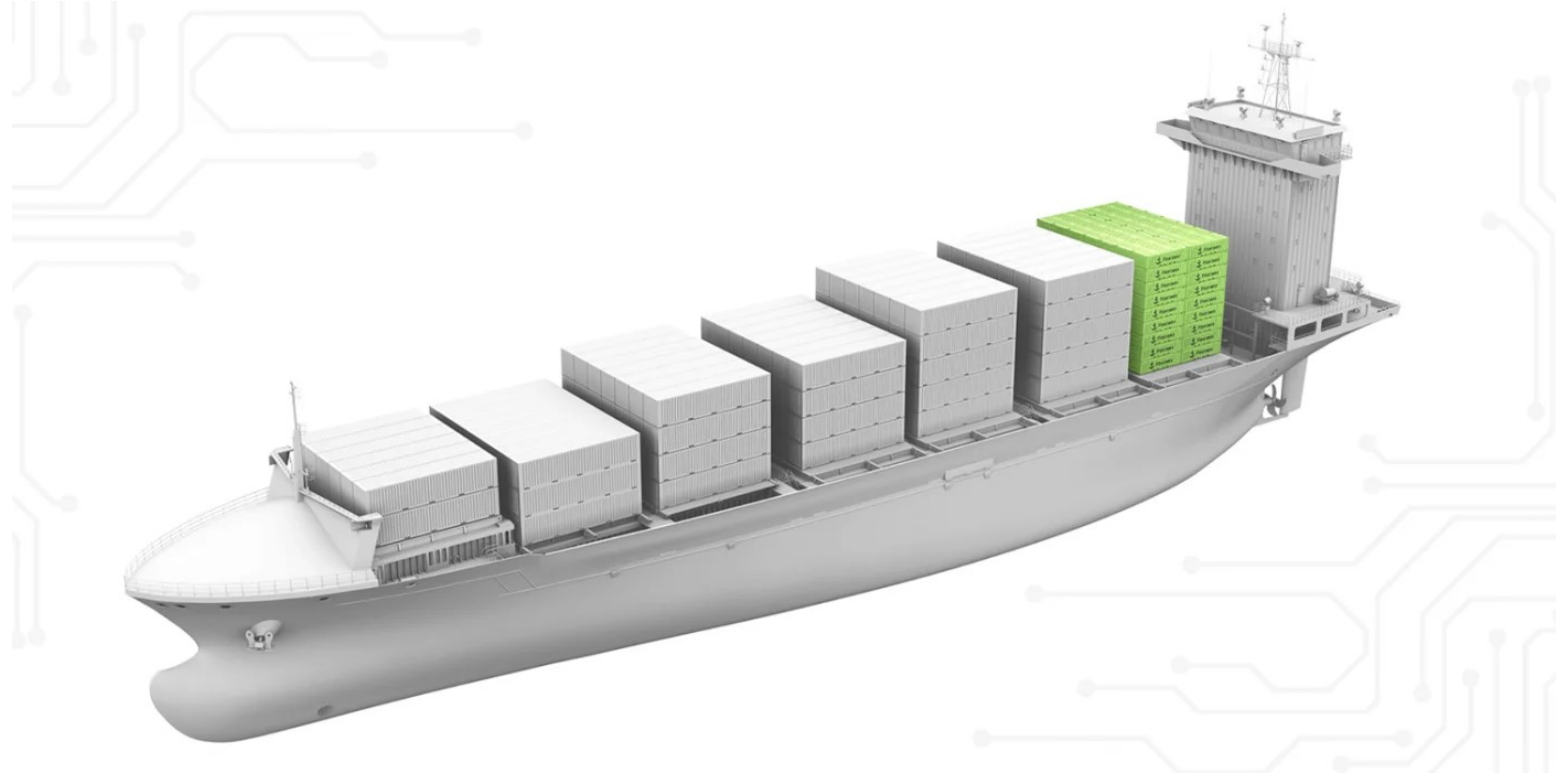


Battery swapping station

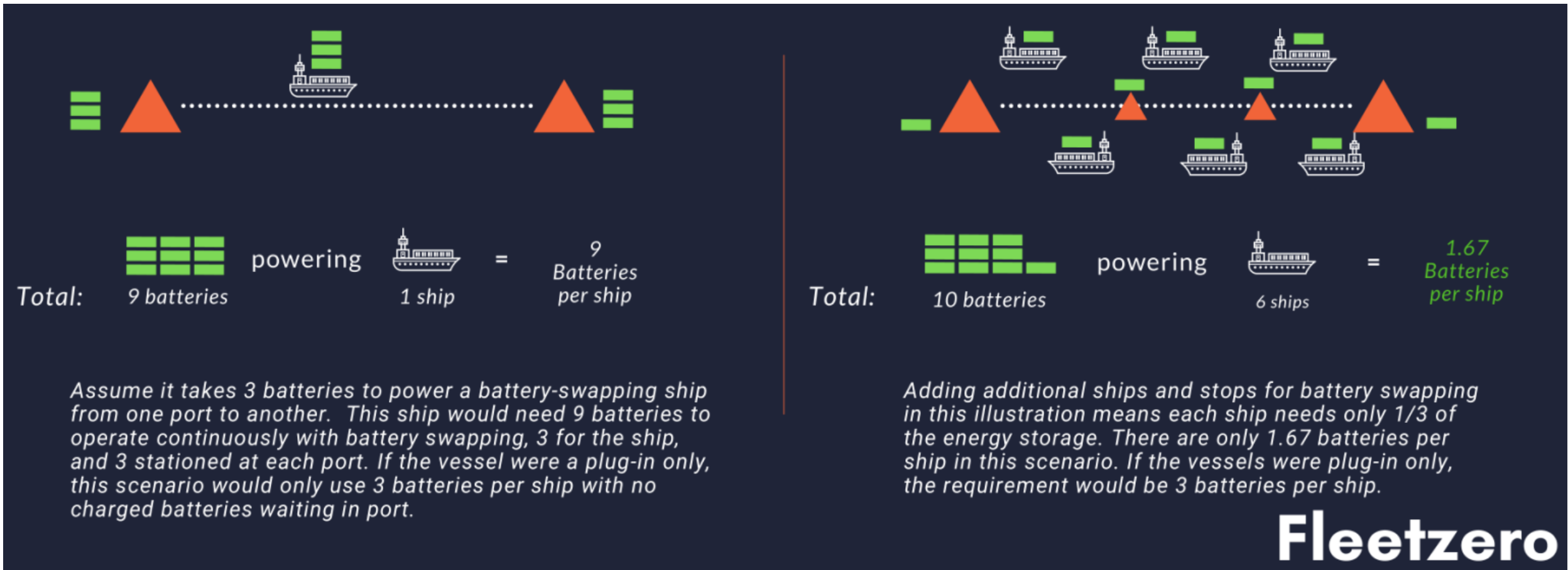


Fleetzero

- Battery swapping σε **εμπορικά πλοία**.
- Στάση σε μικρότερα λιμάνια και εσωτερικά ύδατα, στα οποία θα υπάρχουν σταθμοί φόρτισης και battery swapping.

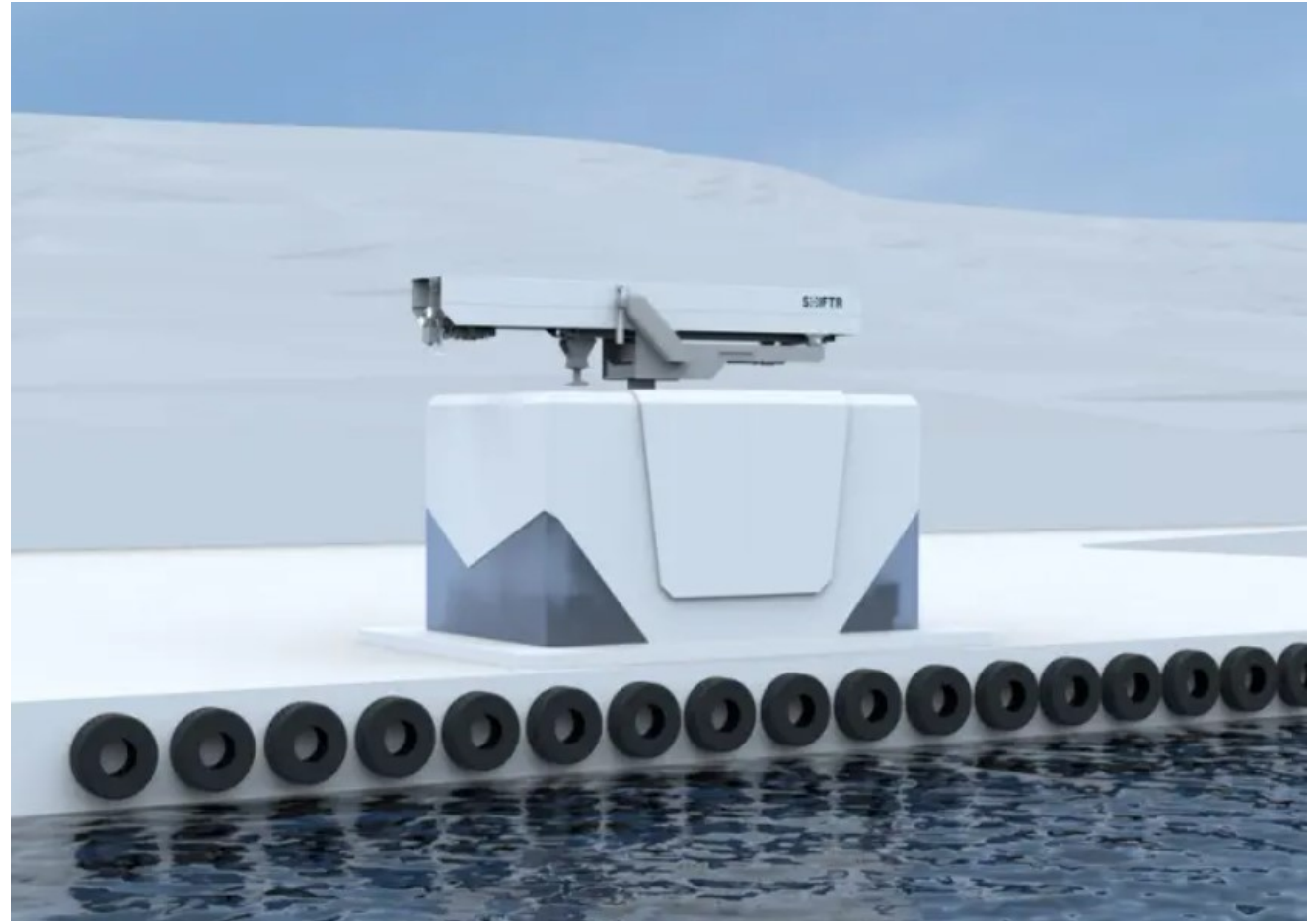


Fleetzero



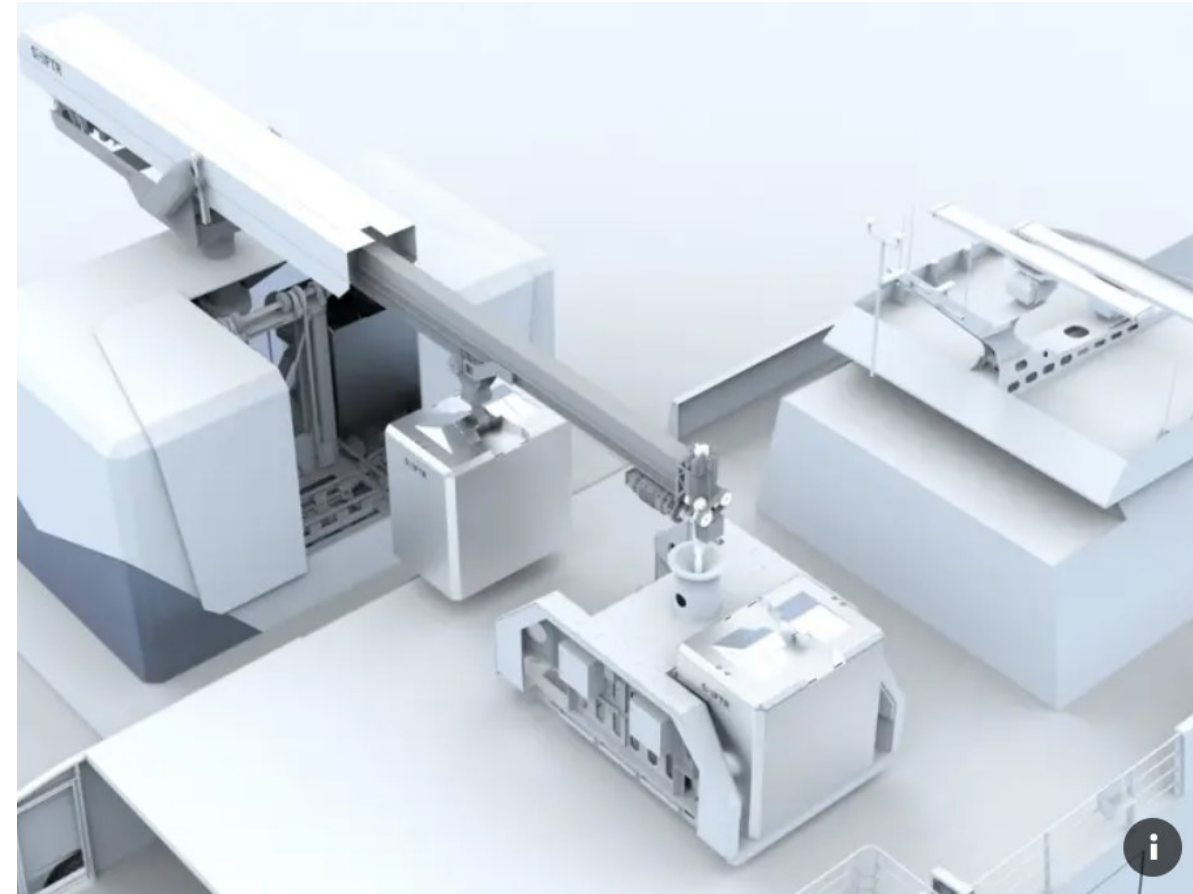
SHIFTR – Autonomous BSS

Αυτόματη εναλλαγή των μπαταριών με ρομπότ αντικαθιστά γρήγορα έως και τέσσερις μπαταρίες στο λιμάνι.



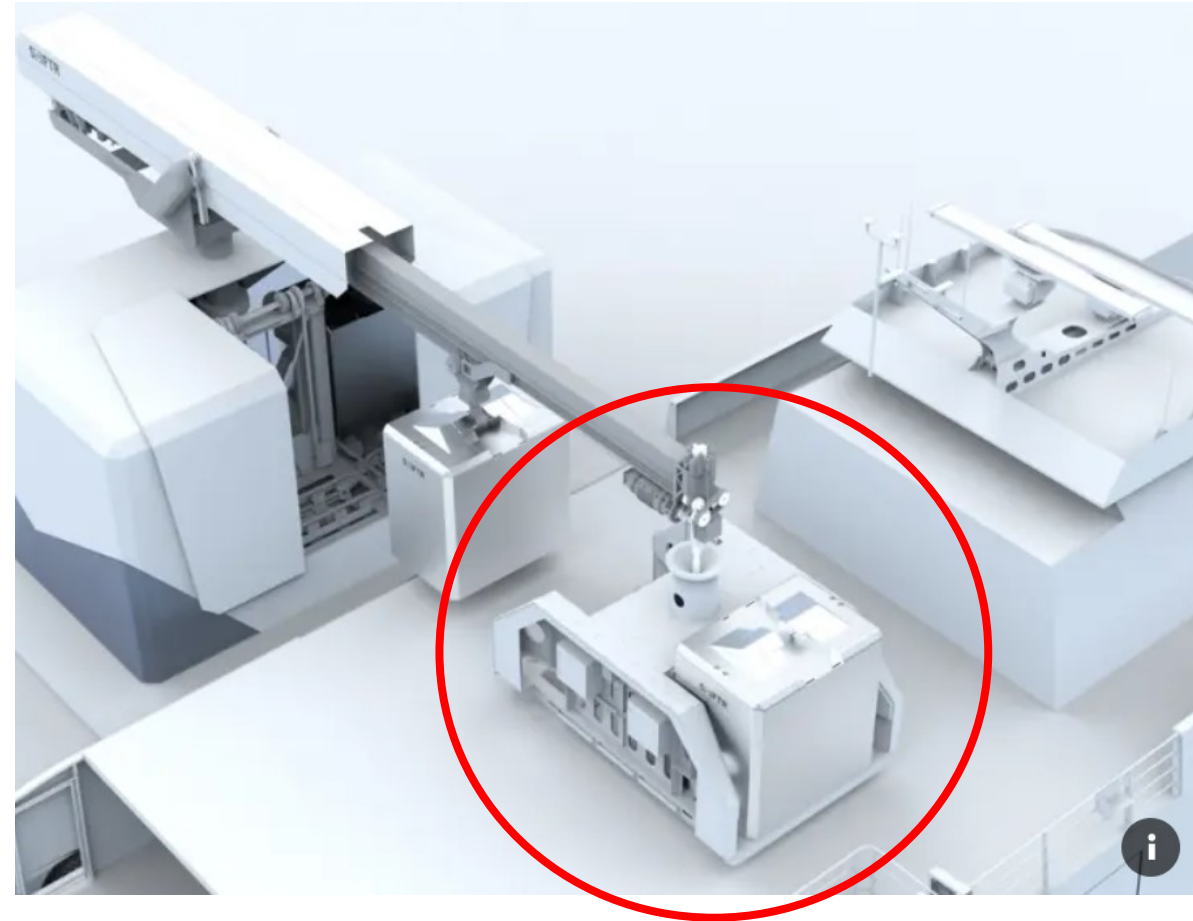
SHIFTR – Autonomous BSS

- Χειριστήριο
- Ανελκυστήρας / ανυψωτικό μηχάνημα
- Ρομπότ μετακίνησης των μπαταριών
- Χώρος αποθήκευσης των μπαταριών
- Τροχήλατος μάντας τοποθέτησης των μπαταριών με σκοπό τη μεταφορά των πλήρως φορτισμένων μπαταριών μπροστά



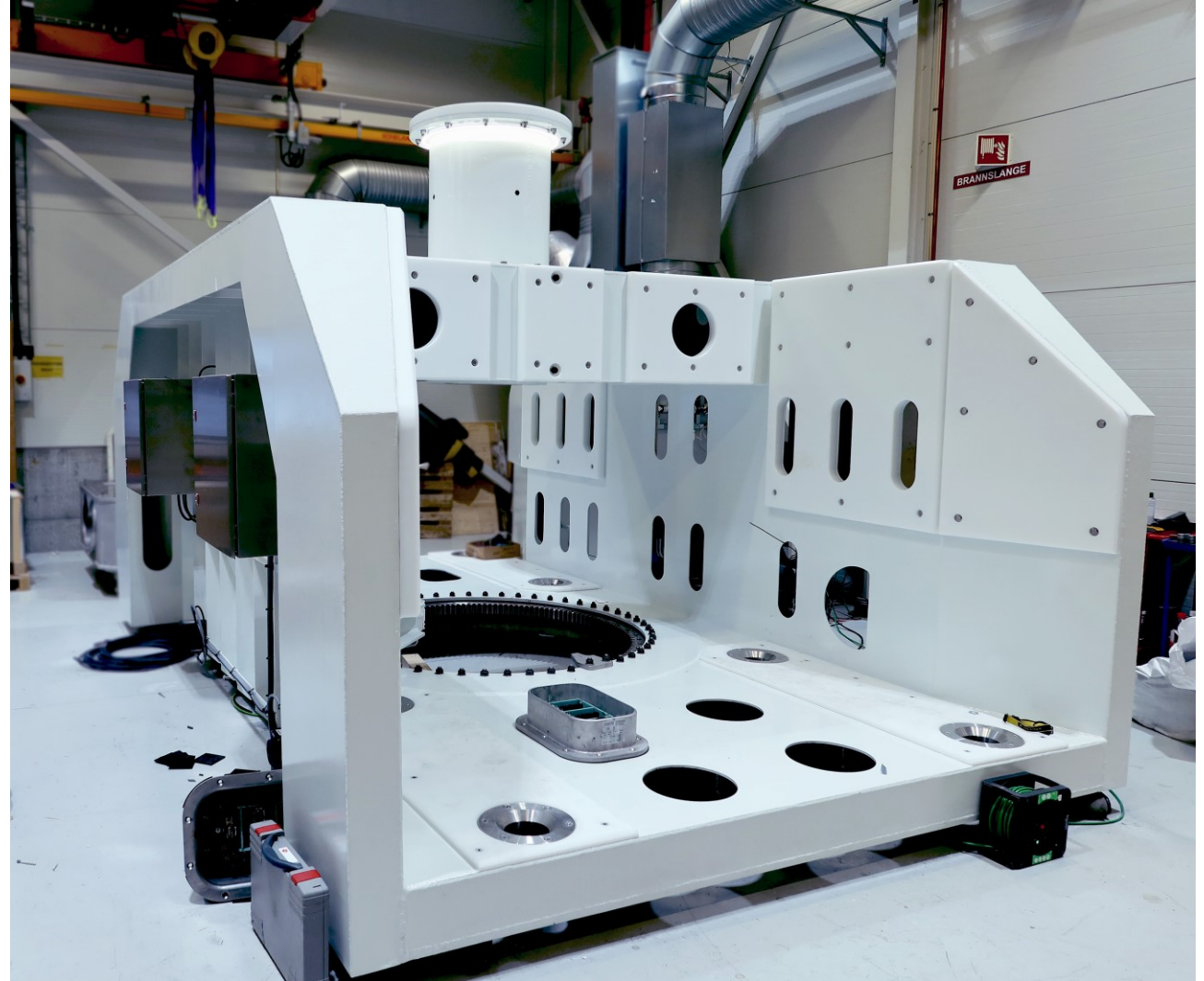
SHIFTR – Autonomous BSS

- Χειριστήριο
- Ανελκυστήρας / ανυψωτικό μηχάνημα
- Ρομπότ μετακίνησης των μπαταριών
- Χώρος αποθήκευσης των μπαταριών
- Τροχήλατος μάντας τοποθέτησης των μπαταριών με σκοπό τη μεταφορά των πλήρως φορτισμένων μπαταριών μπροστά



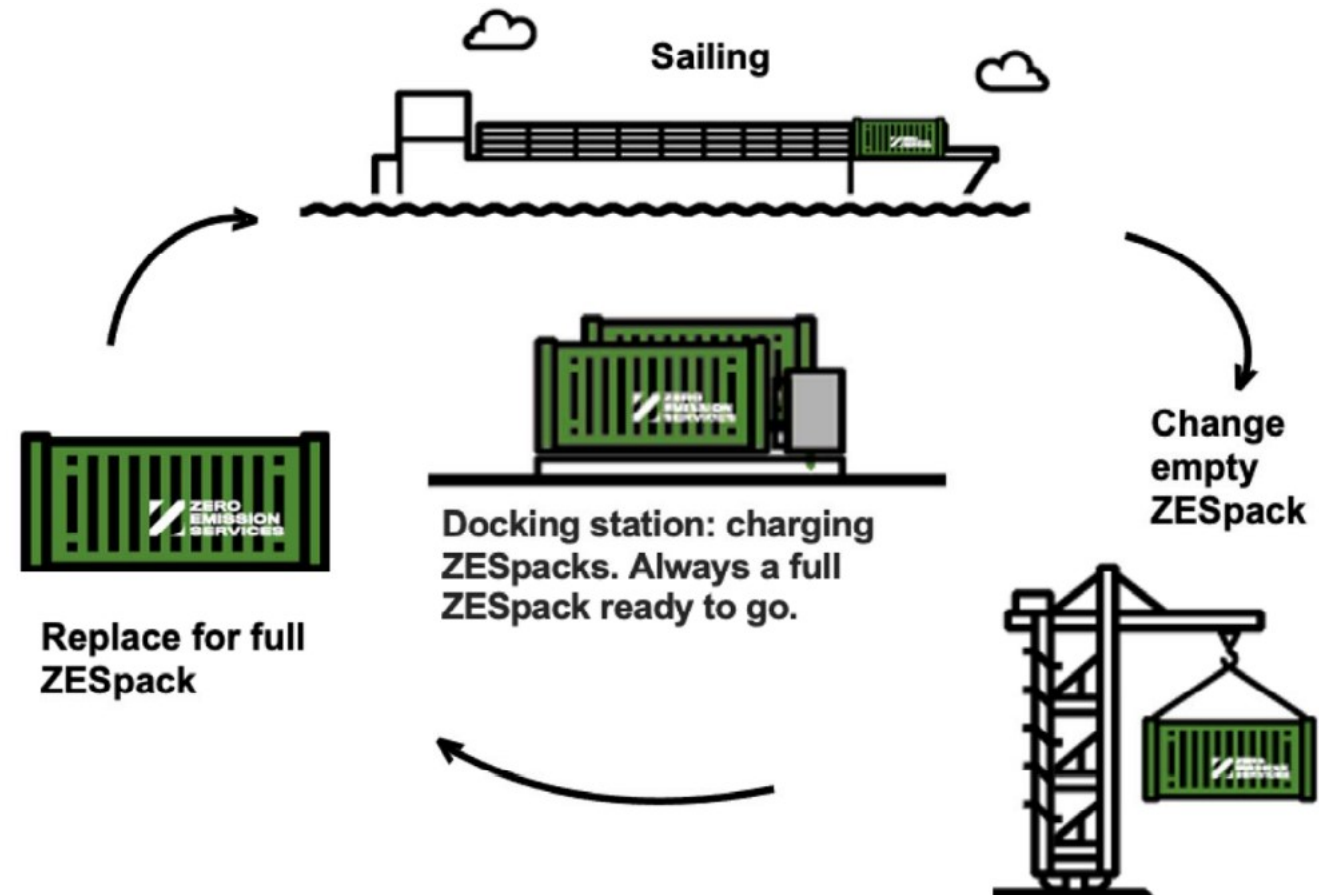
SHIFTR – Autonomous BSS

- Καρουζέλ το οποίο θα φέρει πάνω του τις μπαταρίες και θα είναι τοποθετημένο πάνω στο πλοίο



ZESpack – battery swapping

Οι μπαταρίες **ZESpack** λειτουργούν ως συστήματα μπαταριών τα οποία χρησιμοποιούνται για την παροχή ενέργειας σε εμπορικά πλοία (**container ships**) και μπορούν να αποσπώνται και να αλλάζουν με άλλα συστήματα μπαταριών, τα οποία είναι πλήρως φορτισμένα, σε λιγότερο από 15 λεπτά.



ZESpack – battery swapping

- Τα ηλεκτρικά φορτηγά πλοία έχουν απαίτηση σε ηλεκτρική ισχύ ίση με 500 – 1000 kW.
- Έχουν εξοπλιστεί με 2 συστήματα μπαταριών ZES των 2 MWh για να έχουν αυτονομία έως 60 – 120 km.



ZESpack – battery swapping



Electric ship – Deep blue

Deep blue 40T

- Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου του γκαζιού
- Ηλεκτρικός κινητήρας υψηλής ισχύος
- Σύστημα πληροφοριών
- Σύστημα διαχείρισης
- Σύστημα μπαταριών Deep blue ιόντων-λιθίου
- Σύστημα μπαταριών τάσης 12 V
- Υποδοχή φορτιστή



Electric ship – Deep blue

	Speed in km/h (knots)*	Range in km (nm)*	Running time in hours: minutes
Slow	7.5 (4.0)	37-60 (20-32)	05:00 - 08:00
Full throttle	32-44 (17-24)	16-22 (9-12)	00:30



Electric ship – Deep blue

Deep Blue System	Deep Blue 40 RL / RXL
Input power (peak) in kW	33
Input power (continuous) in kW	25
Propulsive power in kW	16.2
Comparable petrol outboards (shaft power)	40 HP
Maximum overall efficiency in %	54
Integrated battery: usable energy in kWh	12.8
Nominal voltage	345
Final charging voltage	389
Motor weight without battery, including electronics in kg	139 (L) / 145 (XL)
Weight of 1 battery in kg	149
Total system weight example in kg (long shaft version, 1 charger, including connection box, display, throttle and cabling)	313 (with 1 battery)
Shaft length	20" / 51 cm (L) 25" / 63.5 cm (XL)
Standard propeller v = speed in km/h at p = power in watts	v50/p50k
Maximum propeller speed in rpm	2,400
control	Remote throttle
Tilting device	Electric trim and tilt
Trim device	Electric trim and tilt
Integrated on-board computer with touchscreen display	Yes



Electric ship – Deep blue

Frauscher 740 Mirage electric boat

Motor kW	Battery	Range at 10 km/h
60 kW Torqeedo	40 kWh BMW i3 Battery	71 km
110 kW Torqeedo	2x 40 kWh BMW i3 Battery	110 km

Max km/h	Range at V-max
26 km	19 km
48 km	32 km



Electric ship – Deep blue

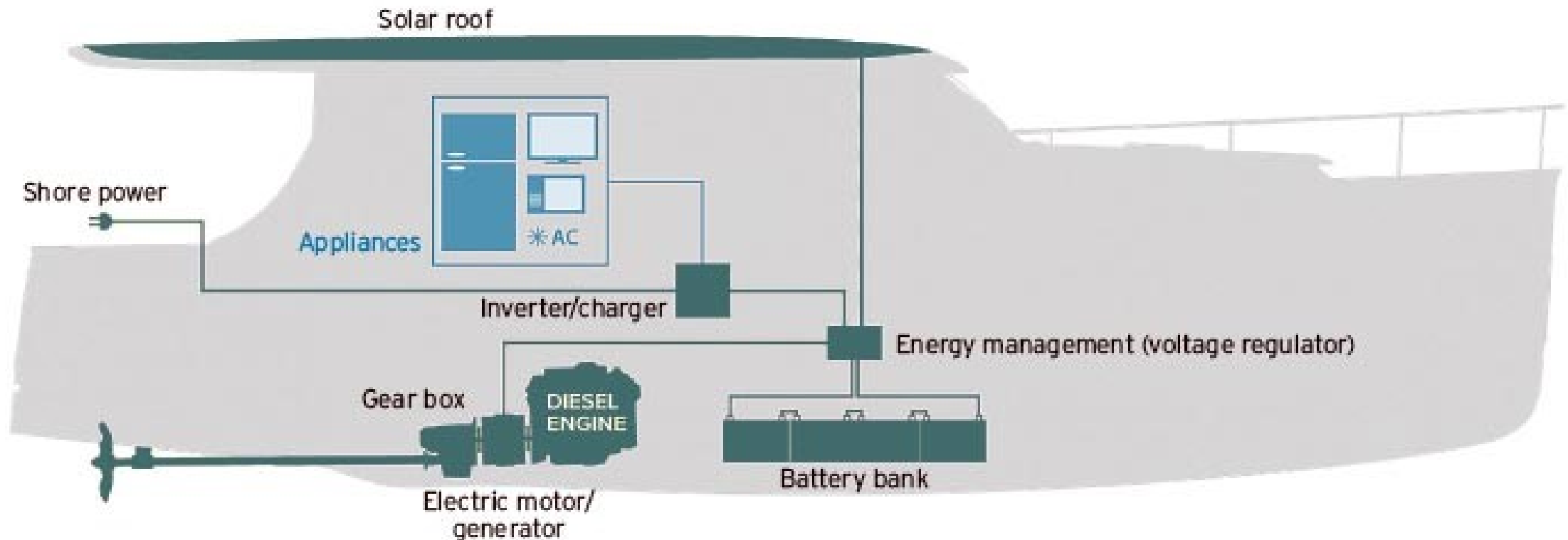
Σύστημα μπαταρίας *Deep blue* ιόντων-λιθίου χωρητικότητας 40 kWh

- 30% αύξηση της συνολικής χωρητικότητας του συστήματος, χωρίς να αυξηθεί το μέγεθος της μπαταρίας



Electric ship – Greenline Yachts

Greenline Yachts - κατασκευάζονται είτε με σύστημα E-Drive (πλήρως ηλεκτρικό) είτε με το υβριδικό σύστημα H-Drive.



Εισαγωγή/1

Hydramover



Ships-port-grid coordination

- Κατά την έννοια της συντονισμένης λειτουργίας πλοίου-λιμένα-δικτύου (***ships-port-grid coordination***) τα πλοία μπορούν να φορτίζουν / αντικαθιστούν το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε σταθμούς φόρτισης πλοίων (Battery Charging Stations) ή σταθμούς Battery swapping με κάποιο κόστος.
- Αντίστροφα, μπορούν επίσης να "πουλήσουν" την ηλεκτρική ενέργεια που διαθέτουν αποθηκευμένη στο δίκτυο μέσω των φορτιστών στους σταθμούς, συμβάλλοντας έτσι στην παροχή επικουρικών υπηρεσιών (ρύθμιση συχνότητας, τάσης).

Ships-port-grid coordination

- Κατά συνέπεια, οι ίδιοι οι σταθμοί φόρτισης κι οι σταθμοί battery swapping θα μπορούσαν να παρέχουν υπηρεσίες φόρτισης/αντικατάστασης μπαταριών στα πλοία ή και να πωλούν ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να καλύψουν τις απαιτήσεις διατήρησης της σταθερότητας τάσης, να εξομαλύνουν τα φορτία αιχμής του δικτύου ή και να παρέχουν συμπληρωματική ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό χρειάζεται.
- Τα δίκτυα ενέργειας επηρεάζουν τη συμπεριφορά και τις αποφάσεις των πλοίων και των σταθμών με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα, η ποικιλία της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας θα επηρέαζε άμεσα το κόστος φόρτισης των πλοίων. Ωστόσο, το κόστος αντικατάστασης των μπαταριών είναι συνήθως πιο σταθερό και δεν επηρεάζεται από την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.

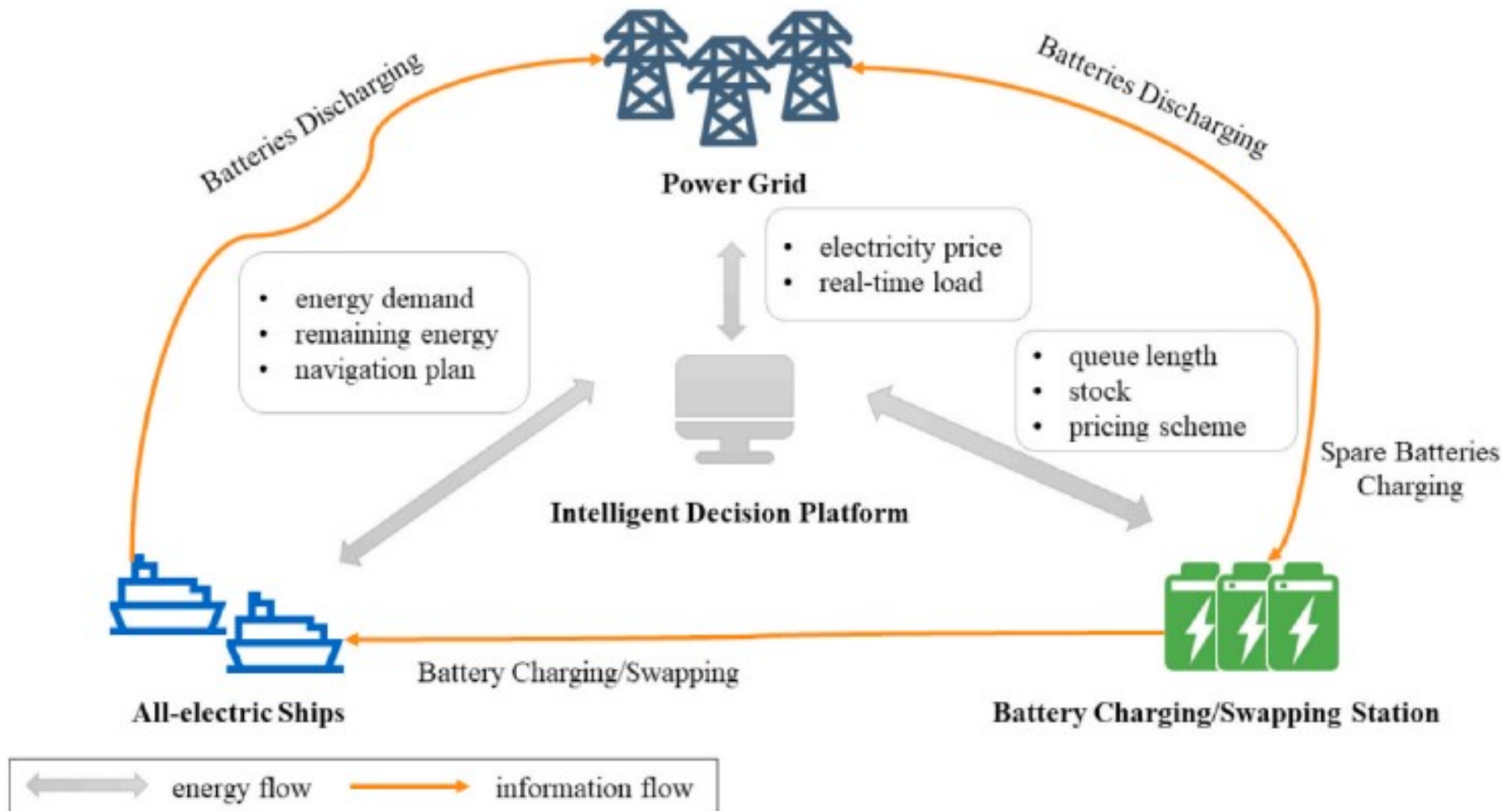
Ships-port-grid coordination

- Από την άλλη πλευρά, οι σταθμοί Battery swapping πρέπει να καθορίσουν ένα πρόγραμμα φόρτισης για τις αντικαταστάσεις μπαταριών που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πλοίων με **λιγότερο κόστος φόρτισης**. Ο κατάλληλος προγραμματισμός φόρτισης/αντικατάστασης είναι ένα άλλο ουσιώδες στοιχείο.
- Οι σταθμοί φόρτισης ενδιαφέρονται περισσότερο για τον τακτοποιημένο προγραμματισμό προκειμένου να ελαττωθεί η αρνητική επίδραση των φορτίων τους στην αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου, ενώ οι σταθμοί Battery swapping ενδιαφέρονται περισσότερο για την **ποιότητα της υπηρεσίας** και τη **μεγιστοποίηση του κέρδους**.

Ships-port-grid coordination

- Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων, των σταθμών φόρτισης / battery swapping στους λιμένες και των δικτύων ηλεκτρικής είναι πολύπλοκες, καθιστώντας δύσκολη την επιτυχή επίτευξη της βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος.
- Είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν έξυπνες πλατφόρμες λήψης αποφάσεων με δυνατότητες μαζικής αποθήκευσης δεδομένων και υψηλής ταχύτητας παράλληλου υπολογισμού για τη συλλογή των πληροφοριών προσφοράς και ζήτησης από διάφορους παράγοντες και την ανάλυση του βέλτιστου σχήματος από την οπτική γωνία ολόκληρου του συστήματος.

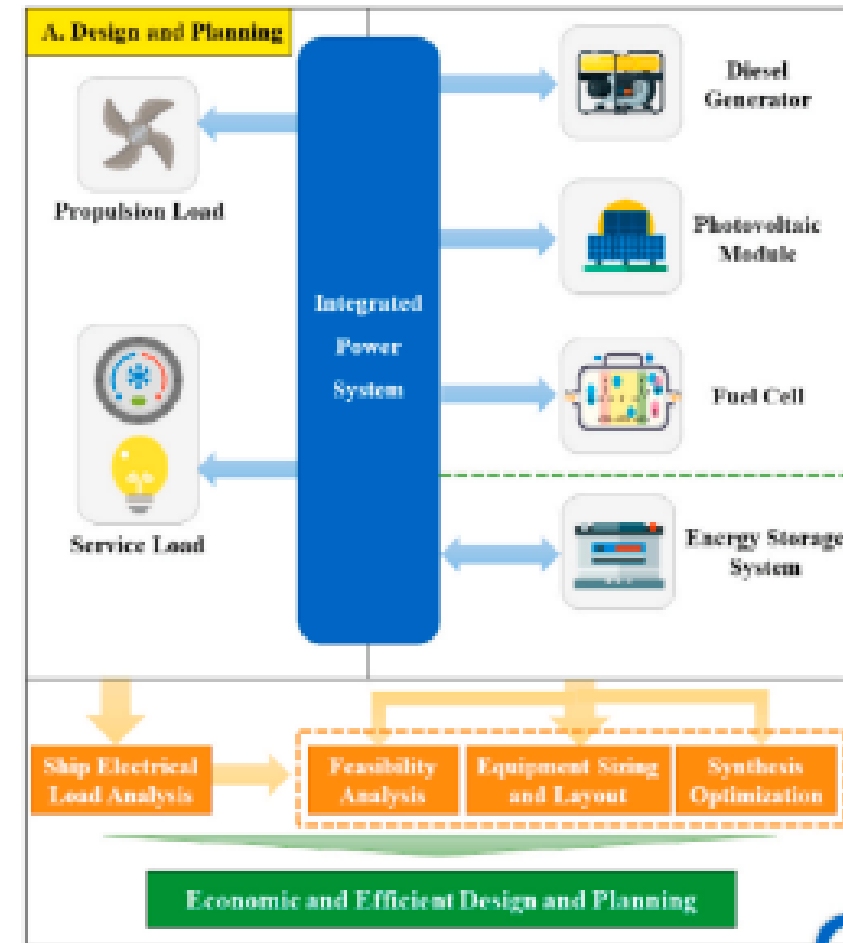
Ships-port-grid coordination



All electric ships operation and management problems

1. Design and planning

Ένα περίπλοκο EPS που αποτελείται από γεννήτριες, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ESSs), κυψέλες καυσίμου (FCs), παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και άλλα στοιχεία είναι ένα σημαντικό σημείο στον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων. Τα ESSs, FCs και τα φωτοβολταϊκά είναι μονάδες υψηλού κόστους και επομένως δύο σημαντικοί οικονομικοί παράγοντες αξίζουν προσοχής: η **δυνατότητα της εγκατάστασης** και το **μέγεθος του συστήματος**.



All electric ships operation and management problems

2. Navigation

Κατά τη διάρκεια της φάσης της ναυσιπλοΐας, η **διαχείριση της ενέργειας** και ο **προγραμματισμός του ταξιδιού** είναι οι κύριες εργασίες λειτουργίας και διαχείρισης για την επίτευξη ασφαλούς, οικονομικής και "πράσινης" ναυσιπλοΐας. Για τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία η διαχείριση ενέργειας του συστήματος ισχύος του πλοίου μπορεί να καθορίσει τις συνολικές οικονομικές και περιβαλλοντικές επιδόσεις.



All electric ships operation and management problems

2. Navigation

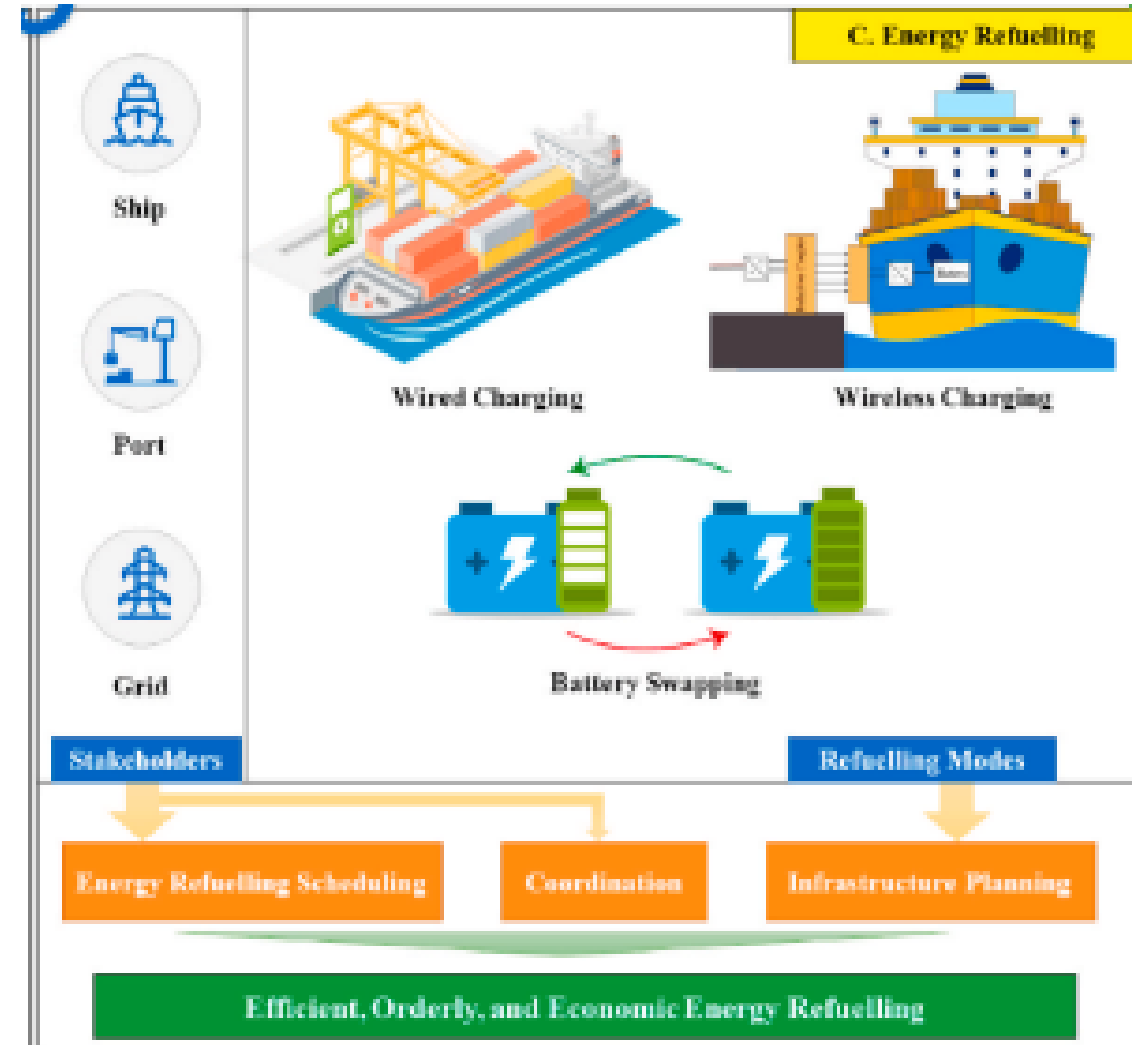
Κατάλληλες **στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας** μπορούν επίσης να οδηγήσουν στη βελτίωση της ποιότητας ισχύος και της αποκατάστασης βλαβών. Εκτός από τη διαχείριση της ενέργειας, ο **κατάλληλος προγραμματισμός** του ταξιδιού είναι ένα άλλο κρίσιμο σημείο, το οποίο μπορεί να συμβάλει στην επίτευξη της βέλτιστης διαδρομής, της εγκαίρου άφιξης, της ασφαλούς ταχύτητας λειτουργίας και της ρύθμισης της κίνησης του πλοίου.



All electric ships operation and management problems

3. Energy refueling

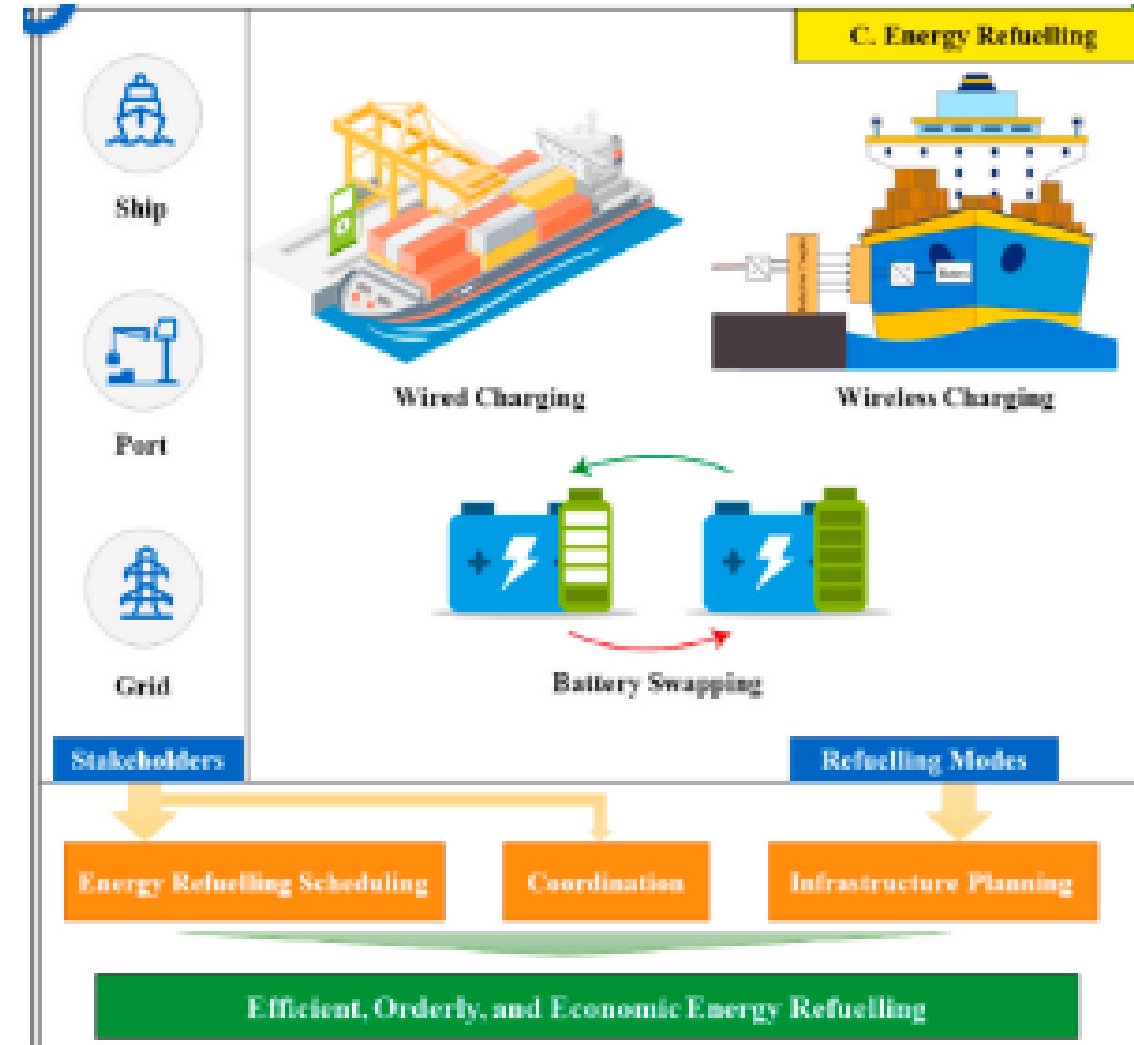
Οι αλλαγές στον ανεφοδιασμό ενέργειας των εξηλεκτρισμένων πλοίων έχουν φέρει νέες προκλήσεις σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, συμπεριλαμβανομένων των πλοίων, των λιμένων και των δικτύων.



All electric ships operation and management problems

3. Energy refueling

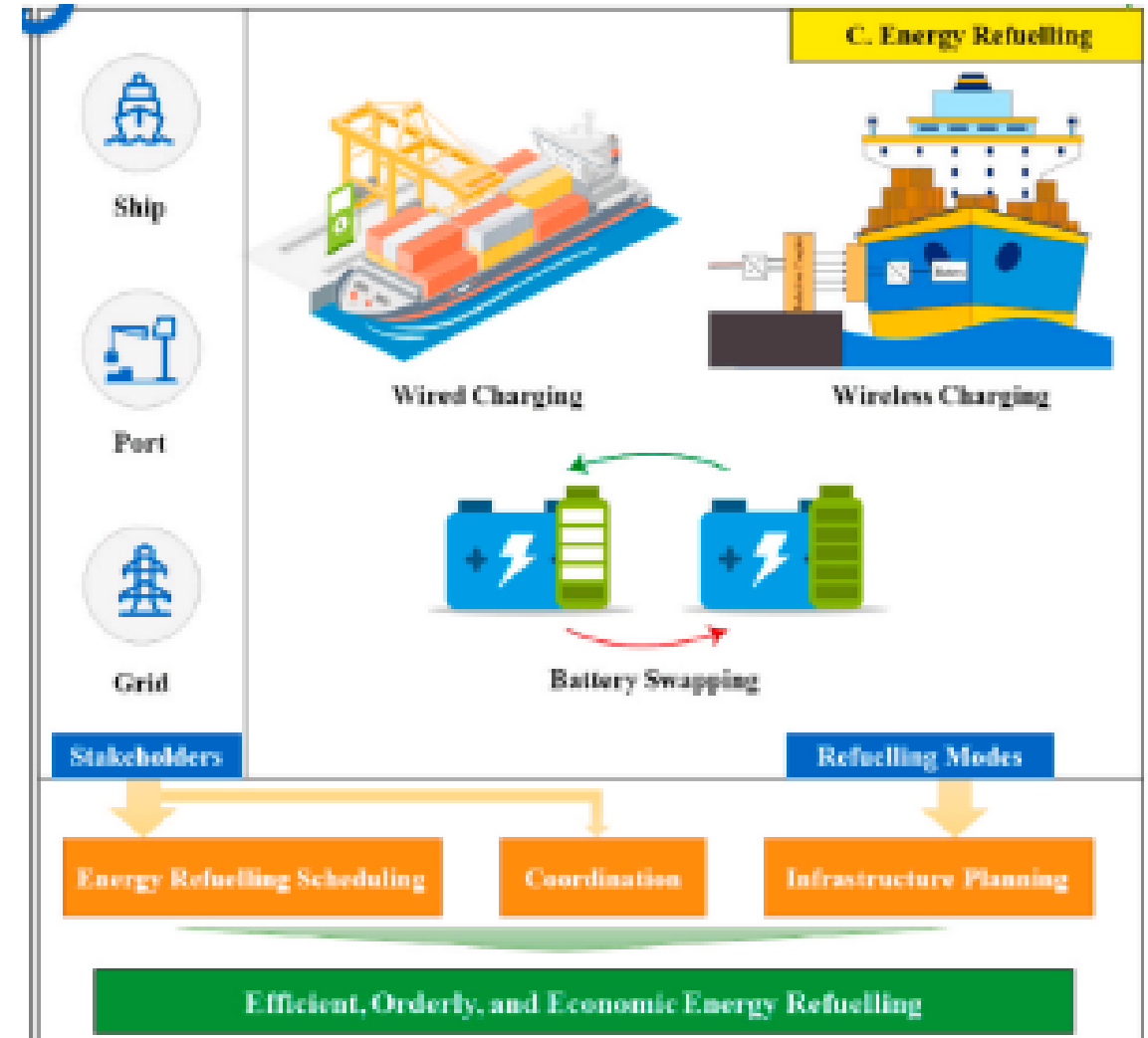
Λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στο πλοίο και της τεράστιας ζήτησης ισχύος κατά την πλοήγηση, τα ηλεκτρικά πλοία, ιδιαίτερα τα πλήρως εξηλεκτρισμένα και τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά πλοία, συνήθως πρέπει να πραγματοποιούν επιχειρήσεις ανεφοδιασμού ενέργειας σε ενδιάμεσους λιμένες για να υποστηρίξουν την επόμενη πλοήγηση.



All electric ships operation and management problems

3. Energy refueling

- Ενσύρματη φόρτιση
- Ασύρματη φόρτιση
- Αντικατάσταση μπαταριών



All electric ships operation and management problems

3. Energy refueling

Η υποδομή για τον ανεφοδιασμό ενέργειας των ηλεκτρικών πλοίων εξακολουθεί να είναι ανεπαρκής, επιδεινώνοντας το "άγχος της αυτονομίας" των πλοίων. Επομένως, η υποδομή για τον ανεφοδιασμό ενέργειας των ηλεκτρικών πλοίων πρέπει να υιοθετείται ευρέως και να λειτουργεί άψογα κατά μήκος των ακτοπλοϊκών διαδρομών.



Πρότυπα

<i>IS No</i>	<i>Title</i>
IS 16504(Part 1):2019	Safety of Machinery — Electrical Equipment of Machines Part 1 General Requirements (First Revision)
IS 17017 (Part 1) : 2018	Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 1 General Requirements
IS 17017 (Part 21/Section 2) : 2019	Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 21 Electromagnetic Compatibility (EMC) Requirements – Section 2 Off-board Chargers
IS 17017 (Part 23) :2021	Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 23 DC electric vehicle supply equipment
IS 17896(Part 1):2022/ IEC TS 62840-1:2016	Electric vehicle battery swap system - Part 1 General and Guidance
IS 17896(Part 1):2022/ IEC 62840-2:2016	Electric vehicle battery swap system - Part 2 Safety requirements

Πρότυπα

IS 17896 (Part 3)	Electric Vehicle Battery Swap System – Part 3 Central Management System for Interoperable Battery Packs (<i>under development</i>)
IS 17896 (Part 4/Sec 2)	Electric Vehicle Battery Swap System – Part 4 Light Electric Vehicle- Sec 2 Connection System (<i>under development</i>)
IS 17896 (Part 4/Sec 3)	Electric Vehicle Battery Swap System – Part 4 Light Electric Vehicle- Sec 3 Communication Protocol (<i>under development</i>)
IS/IEC 60529 : 2001	Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
IEC 60364-4-41:2005	Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock
IEC 60364-5-54:2011	Low-voltage electrical installations - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment - Earthing arrangements and protective conductors
IEC 61140:2016	Protection against electric shock - Common aspects for installation and equipment
ISO 11898-1:2015	Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 1: Data link layer and physical signalling
AIS-004(Part 3):2009	Automotive Vehicles –Requirements for Electromagnetic Compatibility
AIS-156:2020	Specific Requirements for L Category Electric Power Train Vehicles
CISPR 11:2015 +AMD1:2016 +AMD2:2019	Industrial, Scientific and Medical Equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and Methods of Measurement



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS
UNIVERSITY
OF THRACE

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΟΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ– ΟΜΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

Ερωτήσεις?

Δρ.-Μηχ. Ν. Παπανικολάου, Καθηγητής, ΔΠΘ
(npapanik@ee.duth.gr)

