

Ηλεκτροκίνητα οχήματα: Τρέχουσα κατάσταση και προοπτικές



Στο παρόν άρθρο καταγράφεται η παρούσα κατάσταση και οι προοπτικές χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων, ώστε να απαντηθεί το ερώτημα εάν αποτελεί λύση στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την ενεργειακή κρίση η ευρεία χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

Άρθρο των κ. Ε. Μητρονίκα και Ε. Τατάκη*

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και η ενεργειακή κρίση αποτελούν σήμερα δύο σημαντικά προβλήματα. Η ατμόσφαιρα μολύνεται κυρίως από ουσίες όπως είναι CO_2 , CO , NO_x , SO_2 και CH_4 , αλλά και από αιωρούμενα σωματίδια, προερχόμενα από φυσικές και τεχνητές πηγές. Η ποσότητα ουσιών που έχουν φυσική προέλευση είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Όμως οι εκπομπές από τεχνητές πηγές εντοπίζονται, κατά κύριο λόγο, στο βόρειο ημισφαίριο, όπου βρίσκονται οι περισσότερες από τις βιομηχανικά και τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες.

Αυτή η συγκέντρωση ρύπων είναι ακόμα μεγαλύτερη σε βιομηχανικές ζώνες και αστικές περιοχές, λόγω των πολυπληθών τεχνητών πηγών που εκπέμπουν μεγάλο αριθμό ρύπων, και συνδυάζεται με απουσία καλού φυσικού εξαερισμού. Τα συμβατικά οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές ρύπων. Η χρήση αμόλυβδης βενζίνης και καταλυτών επέφερε κάποια μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, χωρίς όμως να είναι ικανοποιητικό το αποτέλεσμα. Επίσης, η αλόγιστη κατανάλωση υδρογονανθράκων και ο κίνδυνος εξάντλησής τους μέσα στην επόμενη εκατονταετία, έχει στρέψει την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, οι οποίες συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά και στην επίλυση του ενεργειακού προβλήματος.

Εδώ λοιπόν μπορεί να τεθεί το ερώτημα: Αποτελεί λύση στα προαναφερθέντα προβλήματα η ευρεία χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων; Για να δοθεί μία απάντηση, ας δούμε ποια είναι η παρούσα κατάσταση και ποιες οι προοπτικές.

Τρέχουσα κατάσταση

Η ιστορία των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ξεκινά πριν από περίπου 150 χρόνια. Σταθμούς σε αυτή την πορεία, αποτελούν δύο σημαντικές ανακαλύψεις: του ηλεκτρικού κινητήρα και της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας.

Οι πρώιμες προσπάθειες κατασκευής ηλεκτρικών οχημάτων ξεκινούν μετά την εφεύρεση του πρώτου κινητήρα συνεχούς ρεύματος από τον William Sturgeon το 1832. Το 1859 ο Γάλλος φυσικός Gaston Plante ανακαλύπτει τις μπαταρίες οξέος - μολύβδου, που αποτελούν τις πρώτες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Προς το τέλος του 19ου αιώνα η εξέλιξη των ηλεκτρικών συσσωρευ-



τών και των ηλεκτρικών κινητήρων οδήγησε στην κατασκευή νέων πρωτοτύπων, με πιο αξιωματικό το ηλεκτρικό όχημα που κατασκεύασε ο Thomas Parker το 1884 και που ήταν το πρώτο που θα μπορούσε να παραχθεί μαζικά (εικόνα 1). Η περίοδος μεταξύ 1900 και 1912 αποτέλεσε τη χρυσή εποχή για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ωστόσο, η Ford με τη μαζική παραγωγή οχημάτων με μηχανή εσωτερικής καύσης (model T το 1908), που πωλούνταν σε χαμηλότερο κόστος, οδήγησε στην επικράτηση των βενζινοκίνητων οχημάτων. Αυτό είχε ως συνέπεια σημαντική ύφεση στην αγορά των ηλεκτροκίνητων οχημάτων, έως ότου η ενεργειακή κρίση στις δεκαετίες του 1970 και 1980 έστρεψε ξανά το ενδιαφέρον προς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Η έναρξη κατασκευής σύγχρονων ηλεκτρικών αυτοκινήτων έγινε το 1990, όταν ο οργανισμός California Air Resources Board (CARB) απαίτησε τη δημιουργία αυτοκινήτων με λιγότερους έως και μηδενικούς ρύπους, ενεργοποιώντας προς αυτή την κατεύθυνση αρκετούς κατασκευαστές. Το 2008 η κατασκευάστρια εταιρεία Tesla Motors, από την Καλιφόρνια (ΗΠΑ), λανσάρει το Tesla Roadster, που είναι το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο που χρησιμοποίησε μπαταρίες ιόντων λιθίου και παρέιχε αυτονομία 320km ανά φόρτιση. Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται ένα σύγχρονο μοντέλο ηλεκτρικού αυτοκινήτου μαζικής παραγωγής της εταιρείας Tesla.



ΕΙΚΟΝΑ 1 (ΠΑΝΩ ΔΕΞΙΑ):
Το πρώτο εμπορικό ηλεκτρικό όχημα του Thomas Parker (πηγή: Wikipedia).

ΕΙΚΟΝΑ 2 (ΚΑΤΩ ΔΕΞΙΑ):
Tesla Model 3, ένα σημερινό αμιγώς ηλεκτρικό όχημα (πηγή: Wikipedia).

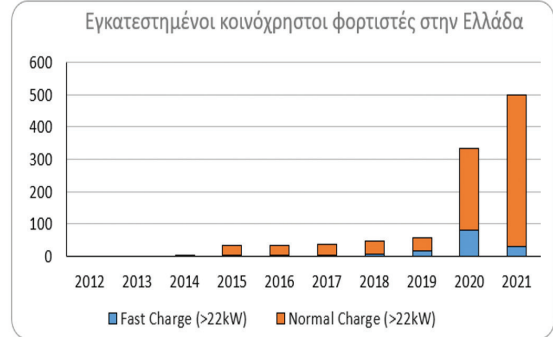
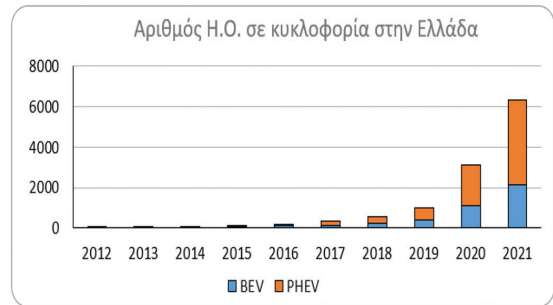
Η κίνηση ενός ηλεκτρικού οχήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός ηλεκτρικού κινητήρα τροφοδοτούμενου από ηλεκτροχημικό συσσωρευτή (μπαταρία), είτε αποκλειστικά (στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα) είτε επικουρικά (στα υβριδικά οχήματα). Ο ηλεκτρικός κινητήρας δίνει τη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας: μπορεί δηλαδή να γίνει γεννήτρια και να φορτίζει τους συσσωρευτές του οχήματος, όταν το όχημα επιβραδύνει ή κινείται σε κατωφέρεις. Βασικό χαρακτηριστικό ενός καθαρά ηλεκτρικού οχήματος είναι ο μεγάλος βαθμός ενεργειακής απόδοσης, δεδομένου ότι μετατρέπει το 80% της παρεχόμενης ενέργειας σε πρόωση, σε αντιδιαστολή με το 20% ενός συμβατικού οχήματος.

Για την κίνηση των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιούνται σήμερα τριφασικοί κινητήρες, ασύγχρονοι ή σύγχρονοι με μόνιμο μαγνήτη, ενώ οι σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίδρασης αποτελούν μια καλή εναλλακτική για το άμεσο μέλλον. Στον πίνακα 1 αναφέρονται συνοπτικά οι βαθμοί απόδοσης των κινητήρων αυτών, καθώς και των αντίστοιχων κινητηρίων συστημάτων. Τόσο οι ηλεκτρικοί κινητήρες όσο και οι αντιστροφείς ισχύος που τους οδηγούν, καθώς και οι μεθοδολογίες ελέγχου αυτών, αποτελούν σήμερα μια ώριμη τεχνολογία, και χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό απόδοσης, ελάχιστες ανάγκες για συντήρηση και υψηλή αξιοπιστία. Επιπλέον, χάρη στη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας, η καταπόνηση του συστήματος πέδησης μειώνεται σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα, έχοντας ως συνέπεια μειωμένη ανάγκη για τη συντήρησή του.

Οι συσσωρευτές Li-ion έχουν επικρατήσει σήμερα ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα. Η εξέλιξη αυτή από τη μια μεριά οφείλεται στα ιδιαίτερα καλά χαρακτηριστικά τους σε σχέση με τα υπόλοιπα διαθέσιμα είδη συσσωρευτών, από την άλλη πυροδοτήθηκε από τη δραστική μείωση των τιμών τους κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, ενώ και σήμερα ακολουθούν ελαφρά πτωτική τάση, αποτελεσμα κυρίως της μαζικής παραγωγής τους για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα. Η πυκνότητα ενέργειας των συσσωρευτών αυτών ανέρχεται σήμερα σε αποδεκτές τιμές (τυπικά 200-230 Wh/kg) όμως, παρά τη σημαντική εξέλιξη της τεχνολογίας τους τα τελευταία χρόνια, οι χρόνοι φόρτισης εξακολουθούν να είναι σχετι-

κά μεγάλοι. Για την ασφαλή λειτουργία των συσσωρευτών, τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής τους, την προστασία από βαθιά εκφόρτιση, υπερφόρτιση ή από υπερθέρμανση, τη μέτρηση της ενεργειακής τους κατάστασης και την εξισορρόπηση των τάσεων μεταξύ των κελιών μιας συστοιχίας, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός συστήματος επιτήρησης και διαχείρισης των συσσωρευτών (Battery Management System [BMS]).

Η πυκνότητα ενέργειας, ο χρόνος ζωής και το κόστος των συσσωρευτών βελτιώνονται σταδιακά με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Για δεδομένη τεχνολογία συσσωρευτών, η βελτιστοποίηση της διαδικασίας φόρτισης διατηρεί σε αποδεκτές τιμές το χρόνο φόρτισης και αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους, βελτιώνοντας τις συνθήκες για την ευρεία διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά. Το πρότυπο IEC 61851 καλύπτει το σύ-



Ένα καθαρά ηλεκτρικό όχημα μετατρέπει το 80% της παρεχόμενης ενέργειας σε πρόωση, σε αντιδιαστολή με το 20% ενός συμβατικού οχήματος

νολο του συστήματος φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με αγωγή επαφή. Περιλαμβάνει προδιαγραφές εξαρτημάτων για τυποποιημένες εναλλασσόμενες τάσεις μέχρι και 690V και για συνεχείς τάσεις μέχρι 1.000V. Είναι προφανές ότι υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ του χρόνου φόρτισης και της απαιτούμενης ισχύος των σταθμών φόρτισης. Η ισχύς των φορτιστών που βρίσκονται επί του οχήματος (on-board chargers) δεν ξεπερνά τα 7kW για μονοφασική παροχή και τα 22kW για τριφασική, ενώ οι χρόνοι φόρτισης κυμαίνονται από μία έως οκτώ ώρες, ανάλογα με τη χωρητικότητα των συσσωρευτών. Στα σύγχρονα ηλεκτροκίνητα οχήματα υπάρχει, επίσης, η δυνατότητα ταχείας φόρτισης

με απευθείας σύνδεση της συστοιχίας συσσωρευτών με φορτιστή που βρίσκεται εκτός οχήματος (off-board charging) και παρέχει συνεχή τάση και ρεύμα, παρακάμπτοντας τον εσωτερικό φορτιστή. Η ισχύς των φορτιστών αυτών κυμαίνεται από 40kW έως 120kW και οι χρόνοι φόρτισης είναι της τάξης των 20-40 λεπτών της ώρας.

Η εγκατάσταση κοινόχρηστων σταθμών φόρτισης σε μια χώρα περιστέλλει την ανησυχία των οδηγών ηλεκτροκίνητων οχημάτων για την εύρεση σταθμών φόρτισης (range anxiety) και βοηθάει στη διάδοση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων που κυκλοφορούν σε μια χώρα και η Ελλάδα δεν αποτελεί εξαίρεση, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.

ΕΙΚΟΝΑ 3 (ΠΑΝΩ): Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων και φορτιστών στην Ελλάδα ανά έτος (πηγή: EAF0).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Βαθμοί απόδοσης κινητηρίων συστημάτων

Τύπος κινητήρα	Απόδοση κινητήρα (%)	Απόδοση ηλεκτρονικού μετατροπέα (%)	Συνολική απόδοση (%)
Σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη	97	93	90
Σύγχρονος κινητήρας μαγνητικής αντίδρασης	94	90	85
Ασύγχρονος (επαγωγικός) κινητήρας	90	93	84

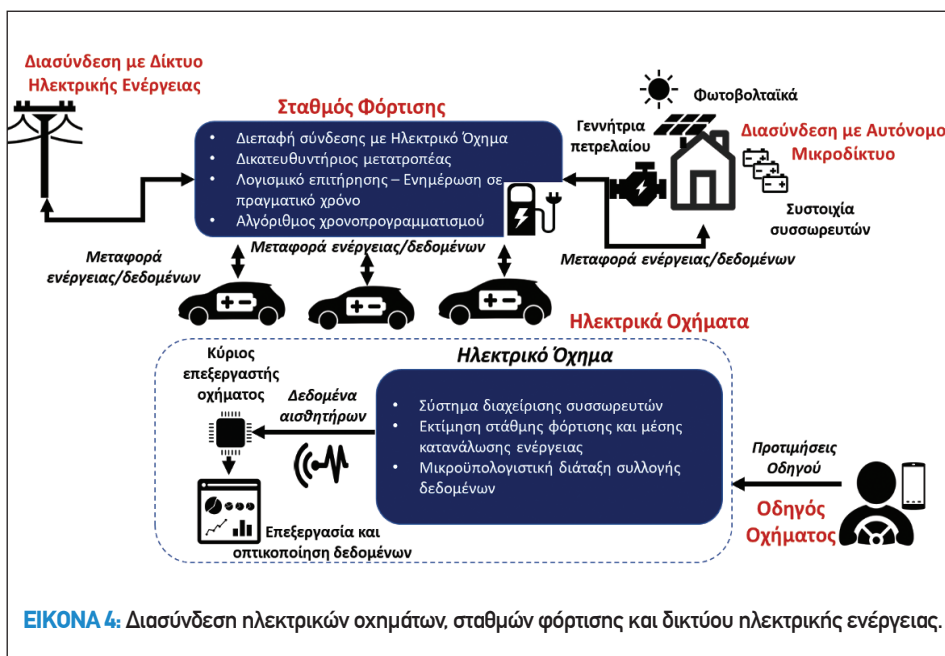
Προοπτικές

Η διαρκής προσπάθεια για νέους σχεδιασμούς με βελτιωμένα χαρακτηριστικά οδηγεί σήμερα την έρευνα σε αναζήτηση νέων σχεδιασμών κινητήρων, με υψηλότερο βαθμό απόδοσης, μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος, ελαχιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων μαγνητών, καλύτερα λειτουργικά χαρακτηριστικά και χαμηλότερο κόστος κατασκευής. Παράλληλα, ένα μέρος των ερευνητικών προσπαθειών κατευθύνεται στην αναζήτηση τρόπων για περαιτέρω αύξηση της αξιοπιστίας, συμπεριλαμβάνοντας τεχνικές για έγκαιρη πρόβλεψη, διάγνωση, εντοπισμό σφαλμάτων και λειτουργία ανενεργή σε σφάλματα.

Καθώς η τεχνολογία των συσσωρευτών εξελίσσεται, αναμένεται ότι εντός της επόμενης δεκαετίας θα χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα συσσωρευτές λιθίου 4ης και 5ης γενιάς (solid state lithium-sulphur, lithium-air), ενώ οι συσσωρευτές νατρίου που σήμερα βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο ανάπτυξης θ' αποτελέσουν ίσως μια καλή εναλλακτική, έχοντας το πλεονέκτημα της άφθονης πρώτης ύλης. Όσον αφορά το θέμα της φόρτισης των συσσωρευτών, η έρευνα επικεντρώνεται: **α)** στο θέμα της υπερταχείας φόρτισης (ήδη έχει ανακοινωθεί ταχυφορτιστής 350kW), ώστε να μειωθεί δραστικά ο χρόνος φόρτισης των συσσωρευτών και να αυξηθεί η αυτονομία των ηλεκτροκίνητων οχημάτων, και **β)** σε θέματα ασύρματης φόρτισης, για την οποία έχουν κατασκευαστεί πρωτότυπα διατάξεων ισχύος άνω των 6kW, ενώ διαφαίνεται τεχνικά εφικτό να ανέβει η ισχύς στα 12kW. Επίσης, με την ταχεία ανάπτυξη των «έξυπνων δικτύων», οι ερευνητικές προσπάθειες κατευθύνονται προς δύο άξονες, που είναι:

α) Η διασύνδεση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (Vehicle-to-Grid, V2G) και η διαχείριση της ανταλλασσόμενης ενέργειας, με στόχο και τη βελτίωση της ευστάθειας του δικτύου.

β) Η ανάπτυξη υλικού και λογισμικού που θα ενσωματώνει τεχνολογίες επικοινωνιών και IoT (βλ. εικόνα 4) για τη διαχείριση της ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ δικτύου και ηλεκτροκίνητων οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές και τους πε-



ΕΙΚΟΝΑ 4: Διασύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων, σταθμών φόρτισης και δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Εντός της επόμενης δεκαετίας αναμένεται να χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα συσσωρευτές λιθίου 4ης και 5ης γενιάς

ριορισμούς που τίθενται και από τις δύο πλευρές.

Συμπεράσματα

Με βάση τα προαναφερθέντα, τα ηλεκτροκίνητα οχήματα αποτελούν βιώσιμη λύση στο θέμα της μετακίνησης, καθότι:

- Έχουν μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων και μικροσωματιδίων.
- Έχουν πολύ υψηλότερο συντελεστή απόδοσης από τα συμβατικά οχήματα, παρέχοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας.
- Έχουν ελάχιστο θερμικό αποτύπωμα, συνέπεια του υψηλού βαθμού απόδοσης.
- Προκαλούν μηδενική ηχορύπανση, γεγονός που βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα ζωής, ιδιαίτερα στις μεγαλουπόλεις.

■ Η ενέργεια που απαιτείται για την ηλεκτρική κίνηση μπορεί εύκολα να παραχθεί και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και να διοχετευθεί μέσω του δικτύου διανομής.

■ Έχουν κόστος συντήρησης αισθητά χαμηλότερο από τα συμβατικά. Με τη δραστική ανάπτυξη των «έξυπνων δικτύων» και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ΑΠΕ, παρέχεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι συσσωρευτές των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ως μονάδες υποστήριξης του δικτύου και βελτίωσης της ευστάθειας αυτού. Στον αντίποδα, φλέγοντα ζητήματα όπως είναι η χαμηλή πυκνότητα ενέργειας και η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών, η αυτονομία, ο χρόνος φόρτισης και το υποτυπώδες δίκτυο φόρτισης, αποτελούν αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας τόσο στο βιομηχανικό όσο και στο πανεπιστημιακό περιβάλλον.

*Οι κ. Επαμεινώνδας Μπτρονίκας και Εμμανουήλ Τατάκης είναι επίκουρος καθηγητής ο πρώτος και καθηγητής ο δεύτερος στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών (Τομέας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας).

Μπορείτε να διαβάσετε το άρθρο και να δείτε όλη τη σχετική βιβλιογραφία στο website:

www.electrologos.gr