

Ηλεκτροκίνητα Οχήματα στην Ελλάδα: Δυνατότητες και Προοπτικές

Καθηγητής Dr. Κωνσταντίνος Ν. ΣΠΕΝΤΖΑΣ

Διευθυντής του Εργαστηρίου Οχημάτων Ε.Μ.Π.

Αντιπρόεδρος του ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο

Ορισμός του Ηλεκτροκίνητου οχήματος (EV = electric vehicles)

- Ηλεκτροκίνητο όχημα (ΗΟ) ονομάζεται το όχημα το οποίο διαθέτει ένα τουλάχιστον ηλεκτροκινητήρα για την κίνησή του

Ταξινόμηση των Ηλεκτροκινήτων Οχημάτων

- Οχήματα συνδεδεμένα με το επίγειο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Τρόλεϊ, Τραμ, Ηλεκτροκίνητα σιδηροδρομικά οχήματα, ...)
- Αυτόνομα ηλεκτροκίνητα οχήματα (διαθέτουν αποθήκη ηλεκτρικής ή/και άλλης μορφής ενέργειας)

Ταξινόμηση των αυτόνομων ΗΟ

- Οχήματα με ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές (BEV = Battery Electric Vehicles), με ηλεκτρικό υπερπυκνωτή ή με συνδυασμό των ανωτέρω συστημάτων αποθηκείσεως
- Ηλιακά οχήματα (SEV=Solar Electric Vehicles)
- Υβριδικά οχήματα (HEV=Hybrid Electric Vehicles)
- Οχήματα με ενεργειακή συστοιχία (FCEV=Fuel cell Electric Vehicles)

Ηλεκτρικά οχήματα (BEV=Battery Electric Vehicles)

- Χρησιμοποιούν για την κίνησή τους μόνον ηλεκτρική ενέργεια την οποία αποθηκεύουν σε επαναφορτιζόμενους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές ή/και σε υπερπυκνωτές
 - Οι υπερπυκνωτές έχουν το προτέρημα, έναντι των συσσωρευτών, της σταθερής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατά την εκφόρτισή τους

Ηλιακά οχήματα

- Διαθέτουν φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική και την αποθηκεύουν σε ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές για να κινούνται όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια

Υβριδικά Οχήματα (1)

- Χρησιμοποιούν για την κίνησή τους δύο τουλάχιστον μορφές ενέργειας εκ των ακολούθων:
 - Ηλεκτρική ενέργεια
 - Χημική ενέργεια (βενζίνη, diesel, φυσικό αέριο, υγραέριο, υδρογόνο μεθάνιο, αιθανόλη, βιοκαύσιμα κ.λ.π.)
 - Μηχανική ενέργεια (αποθηκευμένη σε σφόνδυλο ή σε συσπειρωμένα ελατήρια)
 - Ρευστομηχανική ενέργεια (αποθηκευμένη σε συμπιεσμένο ρευστό)
 - Ηλιακή ενέργεια
 - Αιολική ενέργεια
 - Μυϊκή ενέργεια του ανθρώπου (ποδήλατα κ.λ.π.)
 - ...

Υβριδικά Οχήματα (2)

- Η χρήση δύο πηγών ενέργειας συνεπάγεται:
 - Την επιλογή του ποσοστού συνεισφοράς κάθε καυσίμου στο μεταφορικό έργο (ποσοστό υβριδοποιήσεως)
 - Την χρήση, συνήθως, δύο τύπων κινητήρων: ηλεκτροκινητήρων και θερμικών κινητήρων μετατροπής της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια (π.χ. μέσω κινητήρων Otto ή Diesel)
 - Την επιλογή της παράλληλης ή σειριακής χρήσεως των κινητήρων
 - Την ενδεχόμενη χρήση των θερμικών κινητήρων για την κίνηση ηλεκτρογεννήτριας (H/Z=ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος).

Ηλεκτροκίνητα οχήματα με ενεργειακή συστοιχία (Fuel Cells Stacker) γνωστά ως FCEV=Fuel Cell Electric Vehicles

- Χρησιμοποιούν ενεργειακές συστοιχίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδρογόνο το οποίο ή είναι αποθηκευμένο σε κατάλληλο δοχείο, ή παράγεται επί του οχήματος από νερό ή από άλλο καύσιμο (μέσω αναμορφωτή = reformer)
- Διαθέτουν συσσωρευτές ή/και υπερπυκνωτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας

Αναδρομή στις νέες τεχνολογίες ηλεκτροκινητήρων

- Οι ηλεκτροκινητήρες αποτελούν σημαντικό υποσύστημα για κάθε ηλεκτροκίνητο όχημα
- Οι σημαντικότεροι τύποι ηλεκτροκινητήρων για ΗΟ είναι
 - Κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη
 - Επαγωγικοί τριφασικοί κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος
 - Επαγωγικοί πολυφασικοί κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος (chorus motors)

Ηλεκτροκινητήρες με μόνιμο μαγνήτη

- Έχουν ανάγκη δραστικής ψύξεως (συνήθως υδρόψηκτοι), άλλως μειώνεται η επίδοσή τους
- Επιτρέπουν την αποτελεσματική ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση
- Οι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευάζονται από σπάνιες γαίες \Rightarrow υψηλό κόστος

Επαγωγικοί τριφασικοί κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος

- Έχουν μικρότερη συγκέντρωση ισχύος από αυτούς με μόνιμο μαγνήτη
- Μικρότερες απαιτήσεις ψύξεως (αερόψυκτοι)
- Ανάγκη χρήσεως μειωτήρα (διότι δύνανται είτε να δίδουν υψηλή ροπή στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, είτε χαμηλή ροπή στις υψηλές ταχύτητες, όχι όμως και τα δύο)

Επαγωγικοί πολυφασικοί κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος (chorus motors)

- Έχουν την δυνατότητα ομαλής μεταβάσεως από συνθήκες λειτουργίας υψηλής ροπής σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, σε συνθήκες χαμηλής ροπής σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής \Rightarrow δεν απαιτείται η χρήση πολύπλοκου μειωτήρα, όπως στους τριφασικούς

Αναδρομή στους πιο ελπιδοφόρους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές

- Οι συσσωρευτές είναι το κλειδί κάθε επιτυχούς ΗΟ
- Οι πιο ελπιδοφόροι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές (βιομηχανικώς παραγόμενοι) είναι:
 - Συσσωρευτές μολύβδου-οξέως νέου τύπου (από την Firefly Energy στις ΗΠΑ)
 - Συσσωρευτές νικελίου-μεταλλικού υδριδίου
 - Συσσωρευτές λιθίου-ιόντων & λιθίου-πολυμερούς

Συσσωρευτές μολύβδου-οξέως

- Ώριμη τεχνολογία, με αρκετά μειονεκτήματα
- Μικρή συγκέντρωση ενεργείας (30-40 Wh/kg) \Rightarrow αποτελούν το 25-50% του βάρους του ηλεκτροκινήτου οχήματος \Rightarrow μέτρια αυτονομία κινήσεως
- Πτωχές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Εκπομπή υδρογόνου, οξυγόνου και θείου κατά την φόρτιση
- Νέοι συσσωρευτές της Firefly Energy στις ΗΠΑ με αρνητικό ηλεκτρόδιο από σπογγώδη άνθρακα
 - Δεν υφίστανται θειϊκοση
 - Σημαντική βελτίωση της διάρκειας ζωής και της συγκεντρώσεως ισχύος
 - Μικρή βελτίωση της συγκεντρώσεως ενεργείας

Συσσωρευτές νικελίου-μεταλλικού υδριδίου

- Συγκέντρωση ενέργειας (40-80 Wh/kg)
- Μεγάλη διάρκεια χρήσεως (>160 000 km)
- Πτωχές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Υψηλή αυτοεκφόρτιση
- Πολύπλοκος κύκλος φορτίσεως
- Χαμηλός βαθμός αποδόσεως
- Η GM κατέχει τα σημαντικότερα πατέντα βιομηχανικής κατασκευής των (άγνωστες οι διαθέσεις της)

Συσσωρευτές λιθίου-ιόντων & κ.λ.π.

- Οι συσσωρευτές κλασικού τύπου έχουν:
 - Κάθοδος (τοξική): λίθιο-οξειδίο του κοβαλτίου
 - Άνοδος: γραφίτης
- Υψηλή πυκνότητα ενεργείας: 160 Wh/kg
- Κύκλος φορτίσεως /εκφορτίσεως με ελάχιστες απώλειες
- Μικρή διάρκεια ζωής
- Κίνδυνος αναφλέξεως, κυρίως κατά την φόρτιση
- Πτώση των επιδόσεων με την γήρανση

Συσσωρευτές υπό εργαστηριακή έρευνα

- **Τεχνολογία A123:** κάθοδος λιθίου-φωσφορικού σιδήρου
 - Διάρκεια ζωής: 10 έτη ή >7000 κύκλων φορτίσεως
- **Τεχνολογία LG Chem:** κάθοδος Li-Mn
 - Διάρκεια ζωής: 40 έτη
- **Τεχνολογία λιθίου-οξειδίου του βαναδίου:** διπλασιασμός της πυκνότητας ενεργείας ($\approx 320 \text{ Wh/kg}$)
- **Τεχνολογία Li-S:** πυκνότητα ενεργείας $\approx 250 \text{ Wh/kg}$
- **Συσσωρευτές νατρίου-ιόντων:** υπόσχονται πυκνότητες ενεργείας $\approx 400 \text{ Wh/kg}$
- Τεχνολογίες (στο εργαστήριο) με κάθοδο από νανοσύρματα Si, από νανοσωματίδια Si ή Sn (επιτυγχάνουν πολλαπλασιασμό της πυκνότητας ενεργείας)

Αναδρομή στους επικρατέστερους τύπους ηλεκτροκινήτων οχημάτων

- Στην υπερεκατονταετή ιστορία των οχημάτων, έχουν δοκιμασθεί σχεδόν όλοι οι τύποι ΗΟ
- Έχουν ωριμάσει πλέον οι τεχνολογίες οι οποίες παρουσιάζουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα
- Ακολούθως θα γίνει αναδρομή στους επικρατέστερους τύπους ηλεκτροκινήτων οχημάτων τα οποία ήδη κυκλοφορούν στην Ελλάδα ή θα κυκλοφορήσουν λίαν προσεχώς

Υβριδικά οχήματα με παράλληλη χρήση ηλεκτροκινητήρα και βενζινοκινητήρα (1)

- Ο ηλεκτροκινητήρας ή οι ηλεκτροκινητήρες χρησιμοποιούνται για την κίνηση εντός πόλεως με μικρή ταχύτητα και όταν απαιτείται **μεγάλη ροπή** (εκκίνηση, ανωφέρειες)
- Ο βενζινοκινητήρας χρησιμοποιείται όταν απαιτείται **μεγάλη ισχύς** και για την κίνηση ηλεκτρογεννήτριας φορτίσεως των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών
- Ο κάθε τύπος κινητήρα χρησιμοποιείται εκεί που αποδίδει καλύτερα \Rightarrow μείωση της καταναλώσεως ενέργειας ως προς αντίστοιχο βενζινοκίνητο όχημα κατά 40-50%

Υβριδικά οχήματα με παράλληλη χρήση ηλεκτροκινητήρα και βενζινοκινητήρα (2)

- Ήδη κυκλοφορούν: *Toyota Prius, Lexus RX 400h, Lexus GS450h, Lexus LS600h*
- Αναμένεται να κυκλοφορήσουν: *Lexus RX 350h, Lexus RX 450h*
- Λίαν προσεχώς αναμένονται: υβριδικά οχήματα με συστοιχία συσσωρευτών λιθίου-ιόντων και δυνατότητα φορτίσεως των από το δίκτυο (**PHEV=Plug-in Hybrid Electric Vehicle**)
⇒ Περαιτέρω μείωση του κόστους εκμεταλλεύσεως (διότι αποφεύγουμε τους φόρους στην βενζίνη)
- Αναμένεται *Toyota Prius* τύπου **PHEV**

Toyota Prius



Υβριδικά οχήματα με μικρό ποσοστό υβριδοποιήσεως

- Ο ηλεκτροκινητήρας τους είναι συνήθως ενσωματωμένος στον μειωτήρα
- Ο ηλεκτροκινητήρας χρησιμοποιείται προς υποβοήθηση του βενζινοκινητήρα όταν υπάρχει ανάγκη **μεγάλης ροπής** (στην εκκίνηση και στις ανωφέρειες).
- Επιτυγχάνεται οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου 15-20%
- Ήδη κυκλοφορεί στην Ελλάδα: ***Honda Civic***
- Αναμένονται προσεχώς: ***Honda Insight, Mercedes S, BMW 7, Smart Hybrid, Porsche Panamera, ...***

Honda Insight



Ηλεκτροκίνητα οχήματα με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z) (E-REV=Extended Range EV)

- Το H/Z χρησιμεύει για:
 - Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τους ηλεκτροκινητήρες
 - Την φόρτιση των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών
 - Την φόρτιση υπερπυκνωτών (εάν υπάρχουν)
- Ο θερμικός κινητήρας του H/Z λειτουργεί υπό σταθερή ταχύτητα περιστροφής \Rightarrow μικρότερη ρύπανση λόγω αποτελεσματικότερης ρυθμίσεως
- Το 2010 αναμένεται στην αγορά των ΗΠΑ το **GM Chevrolet Volt (στην Ελλάδα ?)**

GM Chevrolet Volt



Ηλεκτροκίνητα οχήματα με συσσωρευτές BEV

- Η κυκλοφορία τους περιορισμένη λόγω μικρότερης αυτονομίας και ανυπαρξίας δικτύου φορτίσεως
- Εφικτή σήμερα η χρήση τους εντός πόλεως, συνδυασμένη με κατ' οίκον φόρτιση
- Κυκλοφορούν στην Ελλάδα: Fiat, Citroen, Peugeot, Reva, Piaggio (φορτηγάκι), Tesla Roadster, Smart,...
- Ελπίζουμε να κυκλοφορήσουν: Think (κυκλοφορεί ήδη στην Νορβηγία, Αγγλία...), Smart electric

Smart electric



Αντικειμενικές συνθήκες και διαπιστώσεις για την Ελλάδα

- Η Ελλάς δεν διαθέτει μεγάλη εθνική αυτοκινητοβιομηχανία
- Η Ελλάς έχει (περιορισμένες) δυνατότητες παρεμβάσεως στα όργανα της ΕΕ τα οποία αποφασίζουν τις ισχύουσες για τα κυκλοφορούντα οχήματα Ευρωπαϊκές Οδηγίες (1 εκ των 27 κρατών)
- Αν και οι μεταφορές απορροφούν άνω του 38% της πρωτογενούς ενεργείας και επίκειται η εξάπλωση των ΗΟ, δεν έχει γίνει καμία πρόβλεψη στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής για την κάλυψη της ενδεχόμενης ζήτησεως για φόρτιση των συσσωρευτών τους

Πόσα km/ημέρα διανύουν οι Έλληνες ;

- Το 71,6 % των Ελλήνων οδηγών διανύει συνήθως κατά μέσο όρο < 68 km/ημέρα
⇒ ένα ηλεκτρικό όχημα, έστω και περιορισμένης αυτονομίας, θα ικανοποιούσε τις ανάγκες τους τις περισσότερες ημέρες του έτους

Κίνητρα της ισχύουσας νομοθεσίας για την κυκλοφορία ηλεκτροκινήτων οχημάτων

- Νόμοι 2052/92, 2459/97, 2682/99, 2960/2001 &
- ΔΜΕΟ 1889/Φ.911 ΦΕΚ Β' 1140/11-8-2003
 - Απαλλαγή από το ειδικό τέλος ταξινόμησης οχημάτων
 - Απαλλαγή από τα τέλη κυκλοφορίας οχημάτων
 - Εξαίρεση από τους περιορισμούς κυκλοφορίας εντός πόλεως (δακτύλιος)

Δυνατότητες παραγωγής ελληνικών Η/Ο

- Η παραγωγή ελληνικών ηλεκτροκινήτων οχημάτων περιορίζεται από το πολύ υψηλό κόστος της λήψεως εγκρίσεως τύπου κατά του κανονισμούς της ΕΕ και του ΟΗΕ (crash tests κ.λ.π)
- Η μετασκευή σε ηλεκτροκίνητα, οχημάτων τα οποία έχουν ήδη έγκριση τύπου ως συμβατικά, απαιτεί επίσης την λήψη νέας εγκρίσεως τύπου κατόπιν λίαν δαπανηρών δοκιμών

Στόλος ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων στην Ελλάδα

- Κυκλοφορούν περισσότερα των 5000 ΗΟ, κυρίως υβριδικά
- Ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφόρησαν πειραματικά και έχουν ήδη παροπλισθεί

Ρυθμός εξαπλώσεως των Η/Ο στην Ελλάδα

- Είναι βραδύς (βραδύτερος άλλων κρατών), παρ' όλον ότι αντιμετωπίζουμε τεράστια προβλήματα ρυπάνσεως των πόλεων

Ανασταλτικοί παράγοντες στην εξάπλωση των Η/Ο στην Ελλάδα (1)

- Υψηλή τιμή κτήσεως
- Οι Έλληνες έχουν την δυνατότητα επιλογής οχήματος μόνο μεταξύ των εισαγομένων στην Ελλάδα οχημάτων
- Δεν υπάρχουν στην ελληνική αγορά ηλεκτροκίνητα οχήματα στις δημοφιλείς κατηγορίες των πολύ μικρών και μικρών αυτοκινήτων

Ανασταλτικοί παράγοντες στην εξάπλωση των Η/Ο στην Ελλάδα (2)

- Δεν υπάρχουν σημεία φορτίσεως ηλεκτροχημικών συσσωρευτών
- Οι καταναλωτές αναβάλουν την αγορά νέου οχήματος λόγω του αβέβαιου οικονομικού περιβάλλοντος
- Οι καταναλωτές διστάζουν να αγοράσουν ηλεκτροκίνητα οχήματα θεωρώντας (αδίκως) τις νέες τεχνολογίες ανώριμες

Αναγκαίοι επιβοηθητικοί παράγοντες στην εξάπλωση των Η/Ο στην Ελλάδα

- Επιδότηση της αποσύρσεως / αντικαταστάσεως ρυπογόνων οχημάτων υπό την προϋπόθεση να αντικατασταθούν με ηλεκτροκίνητα / υβριδικά
- Δημιουργία, από τις δημοτικές αρχές, στο κέντρο των πόλεων (ιδίως σε αυτές που μαστίζονται από την ρύπανση), **προνομιακών θέσεων δωρεάν σταθμεύσεως, εφοδιασμένων με φορτιστή για ηλεκτρικά οχήματα**

Τελικές διαπιστώσεις και συμπεράσματα

- Στην γη κυκλοφορούν περισσότερα των 650 εκατομμυρίων οχημάτων τα οποία καταναλώνουν το 38% της πρωτογενούς ενέργειας υπό μορφή καυσίμων
- Η αντιμετώπιση των προβλημάτων του περιβάλλοντος εξαρτάται από τον ρυθμό αντικατάστασης των ρυπογόνων οχημάτων με καθαρά οχήματα
- Το δύσκολο οικονομικό περιβάλλον αναμένεται να επιβραδύνει τον ρυθμό ανάπτυξης και παραγωγής καθαρών οχημάτων από τις αυτοκινητοβιομηχανίες