

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ



Δρ. Ευ. Τζιράκης
Ε.ΔΙ.Π. Μηχ, Μηχ.

Περιεχόμενα Μαθήματος:

- ▶ Διδάσκοντες: - Τζιράκης Ευ. - Πομποδάκης Ευ.
- ▶ Διαλέξεις
 - ▶ Δευτέρα 09:15 – 11:00
- ▶ Ασκήσεις
- ▶ Προσομοίωση μέσω προγράμματος H/Y (Εργαστήριο)
- ▶ Πρόοδος (τέλη Νοεμβρίου)
- ▶ Βιβλιογραφία
 - ▶ Σημειώσεις, Eclass
 - ▶ Iqbal Husain, “Electric and Hybrid Vehicles - Design Fundamentals”, Third Edition, CRC Press, 2021

Περιεχόμενα Μαθήματος:

► Ύλη (Ευ. Τζιράκης):

1. Εισαγωγή στα Εξηλεκτρισμένα οχήματα,
 - Ηλεκτρικά-BEV και Υβριδικά Οχήματα-HEV & PHEV
2. Μηχανική Οχημάτων,
 - “Vehicle Dynamics & Κινητική
3. Σχεδίαση & Αρχιτεκτονική Εξηλεκτρισμένων Οχημάτων
 - BEV
 - HEV
 - PHEV
4. Αυτόνομα Οχήματα ΟΧΙ
 - Επίπεδα Αυτονομίας Οχημάτων
 - Αρχιτεκτονική Λειτουργίας αυτόνομου Οχήματος
 - Λογισμικό Αυτόνομης κίνησης: Προοπτική, Θέση – GPS, Ορισμός Διαδρομής και Έλεγχος Οχήματος
 - Αυτόματος Πιλότος και Ενεργοποιητές
 - Βελτίωση ασφάλειας οδήγησης (αυτονομία) επιπέδου 1.

Περιεχόμενα Μαθήματος:

► Ύλη (Ευ. Τζιράκης):

5. Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

- Σύνοπτικά η λειτουργία 4X ΜΕΚ
- Κύκλος Λειτουργίας Μίλλερ/Ατκινσον για υβριδικές διατάξεις
- Επικουρικά
- Ως Γεννήτρια

6. Μετάδοση κίνησης, Φρένα και Ψύξη Συστημάτων Ισχύος

- Μέρη Μετάδοσης ισχύος
- Οδοντωτοί τροχοί στη μετάδοση
- Σύμπλεξη κιβωτίου ταχυτήτων
- Διαφορικό αυτοκινήτου

7. Hybrid Vehicle Control Strategy +ΕΜΕΚ

- VEHICLE SUPERVISORY CONTROLLER
- Mode selection Strategy
- Modal Control Strategies

Μηχανές για Εξηλεκτρισμένα οχήματα

Κινητήρια μηχανή ονομάζεται γενικά κάθε μηχανή που παράγει κινητήριο ωφέλιμο Μηχανικό Έργο

- Ηλεκτρικοί κινητήρες
 - BEV
 - FC
- Θερμικοί κινητήρες
 - Otto για HEV, PHEV
 - Diesel - Σπάνια
 - MILLER (Atkinson) για HEV, PHEV πιο συχνή χρήση τελευταία.

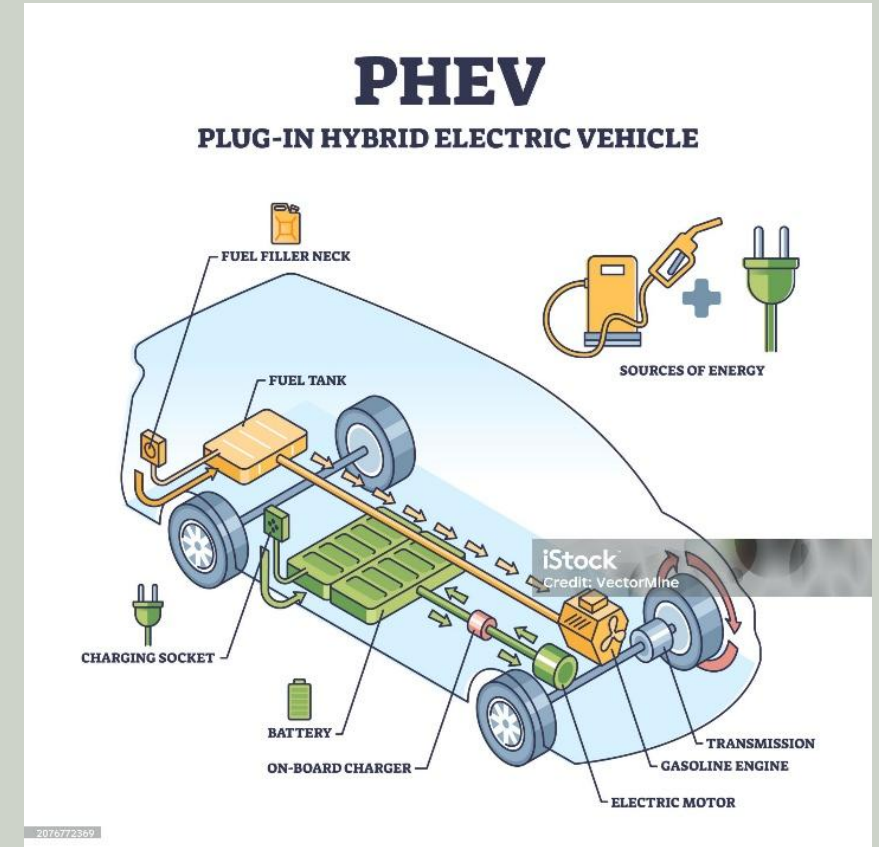
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

➤ Κάθε όχημα αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συστήματος που μπορεί να μας διδάξει περί:

- Ηλεκτρικής/ηλεκτρονικής,
- Επιστήμης υπολογιστών,
- Μηχανολογίας και
- Χημικής Μηχανικής.

➤ Σκοπός του Μαθήματος είναι να:

Περιγράψει και να παρουσιάσει την μηχανολογική «κάτοψη» των οχημάτων μέσω των σύγχρονων και **συνεχώς εξελισσόμενων ηλεκτρικών και εξηλεκτρισμένων υβριδικών οχημάτων.**



ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΕΥ – ΗΕΥ - ΡΗΕΥ

Παγκόσμιες Τάσεις:

- ▶ Το 2019 οι Πωλήσεις ΒΕΥ ξεπέρασαν τα 5 εκ.
- ▶ 5 χρόνια για το 1^ο εκατομμύριο πωλήσεις
- ▶ 6 μήνες για το 2^ο!!
- ▶ 1.4 Δισ αυτοκίνητα (υπολογισμένη τιμή 2021)
- ▶ Μέσα 19^{ου} αιώνα ξεκίνησε το ενδιαφέρον για τα ΕΥ's πολύ πριν τα βενζινοκίνητα.
- ▶ Το 1900 πωλήθηκαν: 4200 οχήματα
 - ▶ 40% ατμοκίνητα
 - ▶ 38% ΕΥ's – (γρήγορα έχασαν έδαφος λόγω δυσκολιών στη φόρτιση κλπ) – (άφθονα ορυκτά καύσιμα)
 - ▶ 22% Βενζινοκίνητα (κέρδισαν έδαφος λόγω της ανακάλυψης του εκκινητήρα – μίζας και της προόδου της μαζικής παραγωγής)

Η μετάβαση στις τεχνολογίες ηλεκτρικών οδικών μεταφορών έχει αποκτήσει σημαντική δυναμική την τελευταία δεκαετία:

- ▶ τεχνολογικές εξελίξεις τελευταίων ετών – Μπαταρίες Ταχεία φόρτιση
- ▶ αυξανόμενο ενδιαφέρον των καταναλωτών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΕΝ – ΗΕΝ - ΡΗΕΝ

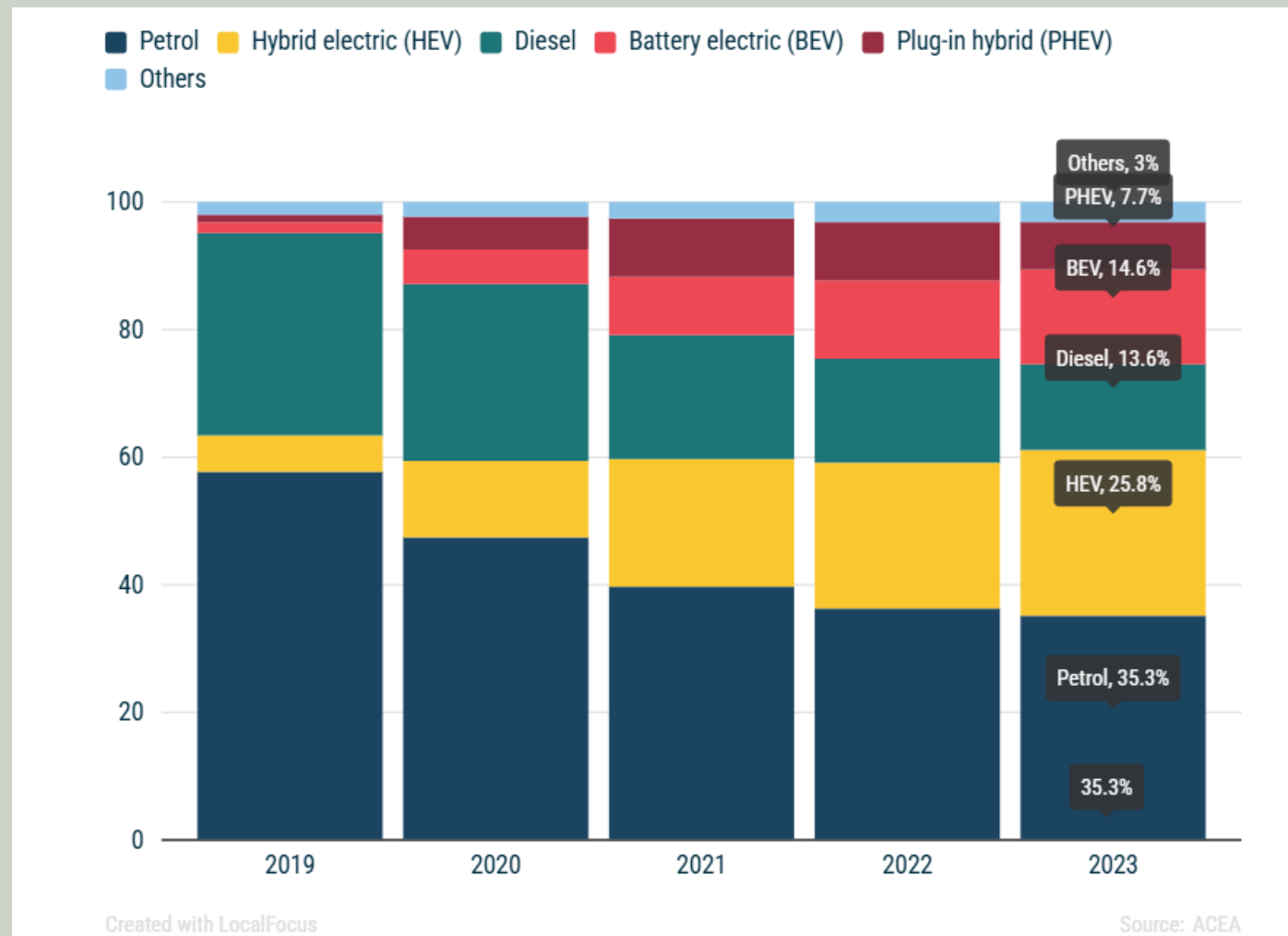
Παγκόσμιες Τάσεις:

- ▶ Ενδιαφέρον και έρευνα αυξάνεται μέσα στη δεκαετία του 60.
 - ▶ Περιβαλλοντικά θέματα,
 - ▶ Εξάρτηση από το πετρέλαιο
- ▶ Το ενδιαφέρον στις επόμενες δεκαετίες αυξήθηκε λόγω:
 - ▶ Εξαρτώμενες των ηλεκτρικών οχημάτων τεχνολογίες
 - ▶ Έρευνα και ανάπτυξη για EV's
 - ▶ Τεχνολογία μπαταριών
 - ▶ Δίκτυο φορτιστών/ταχυφορτιστών και υποδομές.
- ▶ Όπως όλοι έχουμε διαπιστώσει, ηλεκτρικά οχήματα και συσκευές με ηλεκτρονικητήρες υπάρχουν ασταμάτητα από καταβολής του Η/Κ.
- ▶ ΕΔΨ **Μιλάμε περισσότερο για αυτοκίνητα (όταν λέμε οχήματα)**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΕΝ – ΗΕΝ - ΡΗΕΝ

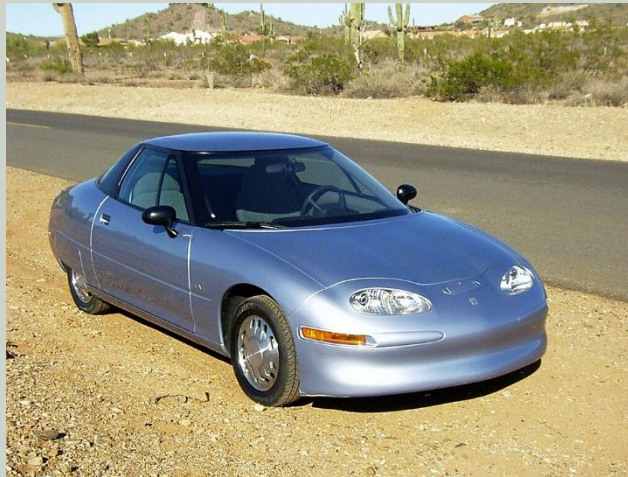
Η μετάβαση στις τεχνολογίες ηλεκτρικών οδικών μεταφορών έχει αποκτήσει σημαντική δυναμική την τελευταία δεκαετία:

- ▶ τεχνολογικές εξελίξεις τελευταίων ετών
- ▶ αυξανόμενο ενδιαφέρον των καταναλωτών.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΕΝ – ΗΕΝ - ΡΗΕΝ

- Το **ενδιαφέρον και η έρευνα** για τα ηλεκτρικά οχήματα εκτοξεύτηκαν στα ύψη τη **δεκαετία του 1990**.
- **Παρουσίαση Σχεδίων** των αυτοκινητοβιομηχανιών για την εισαγωγή των δικών τους ηλεκτρικών οχημάτων ή υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (HEV).
- Η **General Motors** παρουσίασε το **πρώτο ηλεκτρικό όχημα Saturn EV1** για δημόσια χρήση το **1995**, αν και σε μια περιορισμένη αγορά στην Καλιφόρνια και την Αριζόνα.



- Η περιορισμένη εμβέλεια των ηλεκτρικών οχημάτων οδήγησε τους ερευνητές και τις αυτοκινητοβιομηχανίες να αναζητήσουν **εναλλακτικές λύσεις**.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΕΝ – ΗΕΝ - ΡΗΕΝ

- Η **Toyota** και η **Honda**, παρουσιάζουν τα πρώτα τους υβριδικά όχημα παραγωγής **Prius (1997)** και το **Insight (1999)**.
- Τα ΗΕΝ ή απλώς υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν τόσο ηλεκτρικές μηχανές όσο και κινητήρα εσωτερικής καύσης



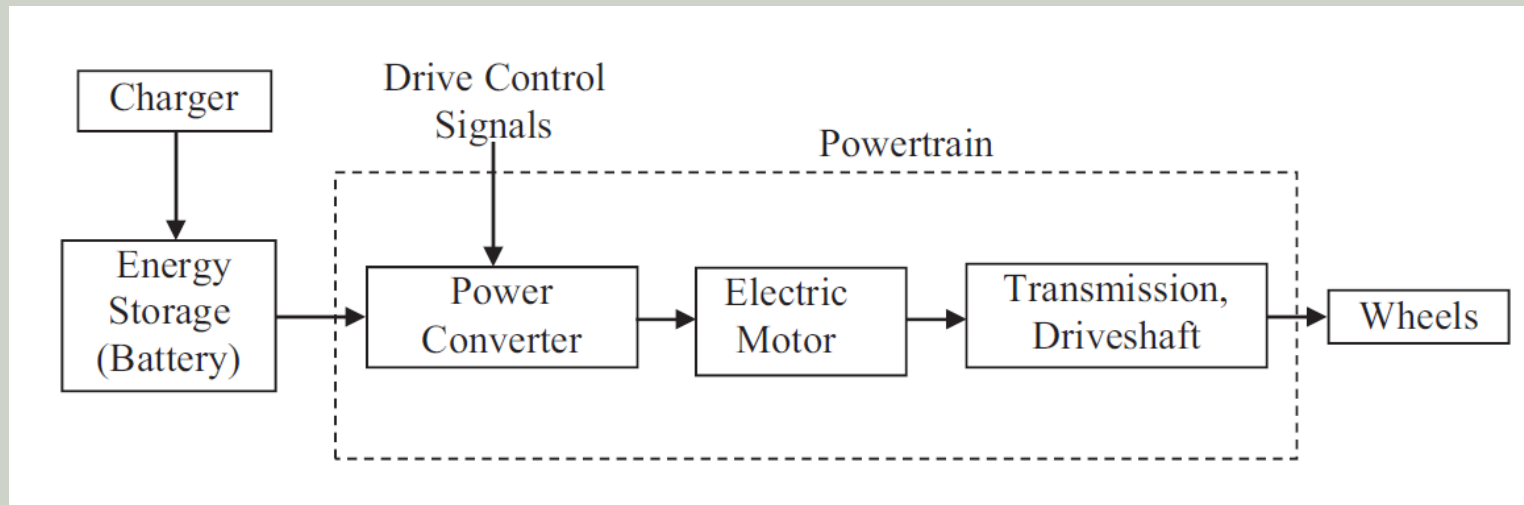
1496 cm³, 4-κύλινδρος ICEV Βενζίνης (VVTi) +
30 kW Ηλεκτροκινητήρας με συνδυαστική ισχύ
101 HP



993 cm³, 3-Κύλινδρος ICEV Βενζίνης +
10 kW Ηλεκτροκινητήρας με
συνδυαστική ισχύ 80 HP

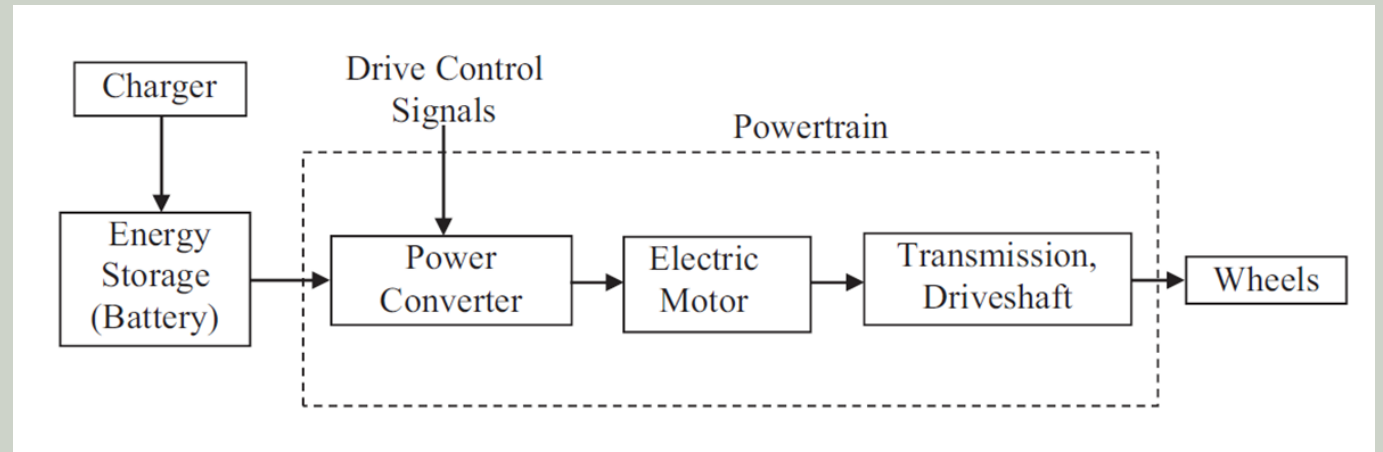
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – BATTERY ELECTRIC VEHICLES (BEV)

- Ένα ηλεκτρικό όχημα περιλαμβάνει:
 - Πηγή ενέργειας σε ηλεκτροχημική μορφή - Μπαταρία
 - Δύναμη έλξης η οποία παρέχετε αποκλειστικά από έναν ηλεκτροκινητήρα.



- **Powertrain (Electromechanical energy conversion linkage system)**– Συνδεσμολογία για την μετατροπή της της ενέργειας μεταξύ της πηγής και των τροχών.
- Powertrain (**Σύστημα μετάδοσης κίνησης**) αποτελείται από ηλεκτρικά και μηχανικά μέρη/εξαρτήματα.
- Παρεμβολή μονάδας ελέγχου στον **Power Converter/Μετατροπέας Ισχύος**.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΕV



- Το “καύσιμο” των BEV’s συσσωρεύεται σε μια **συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, Συσσωρευτής/Μπαταρία/ ενίοτε Πυκνωτής**, για την παροχή ενέργειας κατόπιν ζήτησης.
- Οι αρχικές πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για αυτά τα οχήματα ποικίλλει, από τα **ορυκτά καύσιμα** έως την **ηλιακή ενέργεια & άλλες**.
- Τα **ηλιακά EV’s** χρησιμοποιούν ηλιακούς συλλέκτες και μετατροπέα ισχύος για τη φόρτιση των μπαταριών του οχήματος.
- Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ότι πρόκειται για **οχήματα μηδενικών ρύπων (ZEV)** όσον αφορά τη ρύπανση εντός του οχήματος.
- Τα **Fuel Cell EV’s** μπορούν να καταταγούν στα ZEV εάν χρησιμοποιείται **καθαρό υδρογόνο** ως καύσιμο στο εντός οχήματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – HYBRID ELECTRIC VEHICLES (HEV)

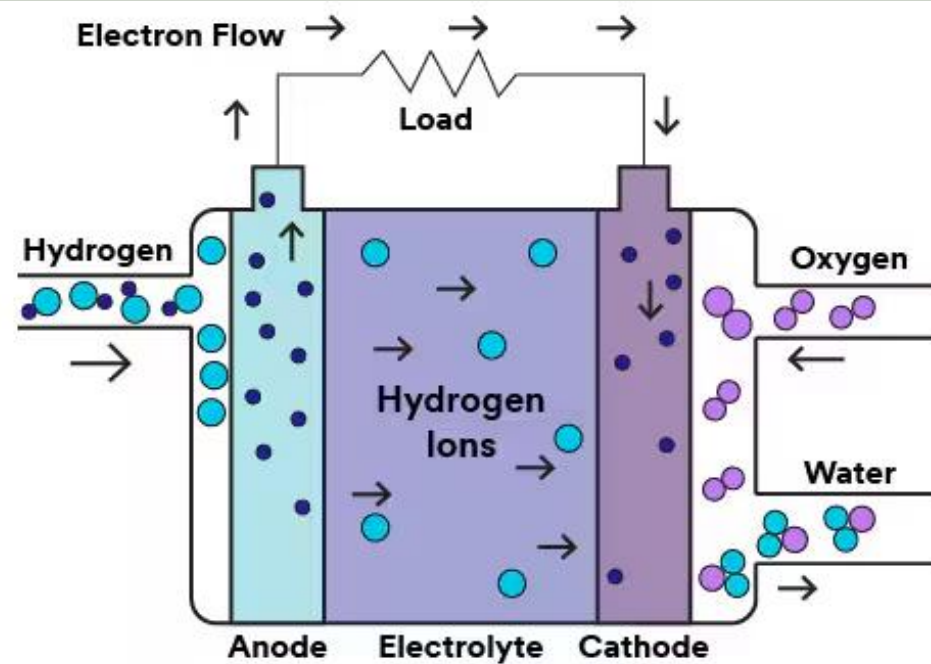
- ❖ Οι όροι “*hybrid electric vehicle*” & “*hybrid vehicle*” γενικά αναφέρονται σε:
 - ❖ Οχήματα με **ΜΕΚ** σε συνδυασμό με,
 - ❖ Έναν ή περισσότερους **Ηλεκτροκινητήρες - Η/Κ για πρόωση**.
- ❖ Ορισμός: **Υβριδικό όχημα ορίζεται** εκείνο που η ενέργεια της πρόωσής του κατά τη διάρκεια καθορισμένων επιχειρησιακών απόστολών είναι διαθέσιμες μέσω δύο ή περισσότερων ειδών ή τύπων αποθηκών ενέργειας, πηγών ή μετατροπέων εκ των οποίων τουλάχιστον ένας/μια μετατροπέας/πηγή πρέπει να είναι ενεργός/ή.
- ❖ Ο ορισμός του υβριδικού οδικού οχήματος προτείνεται από την **Τεχνική Επιτροπή 69** των Ηλεκτρικών Οδικών Οχημάτων της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (Οργανισμός Πιστοποίησης).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – HYBRID ELECTRIC VEHICLES (HEV)

- ❖ Ο ορισμός μπορεί να επεκταθεί και σε άλλα οχήματα:
 - ❖ Το όχημα στο οποίο χρησιμοποιείται ενέργεια από **κυψέλες καυσίμου και συστοιχίες μπαταριών για την παροχή ισχύος πρόωσης** μέσω ενός ηλεκτροκινητήρα είναι επίσης ένα **υβριδικό όχημα**. Η **κυψέλη καυσίμου** είναι ουσιαστικά ένας κινητήρας όπου η αποθηκευμένη χημική ενέργεια στο καύσιμο μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια χωρίς την εμπλοκή οποιασδήποτε διαδικασίας καύσης.
 - ❖ Είναι επίσης δυνατά **τριπλά υβριδικά συστήματα** όπου χρησιμοποιούνται ένας κινητήρας κυψελών καυσίμου, ένας **ηλεκτρικός κινητήρας** και ένας **κινητήρας εσωτερικής καύσης** για την παροχή ισχύος πρόωσης.
 - ❖ Οι **ηλεκτροκινητήρες έλξης** μπορούν να λειτουργούν:
 - ❖ **ανεξάρτητα** ή
 - ❖ **σε συνδυασμό με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης,**

για την τροφοδοσία των τροχών του οχήματος, ανάλογα με τον τύπο αρχιτεκτονικής του οχήματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – HYBRID ELECTRIC VEHICLES (HEV)



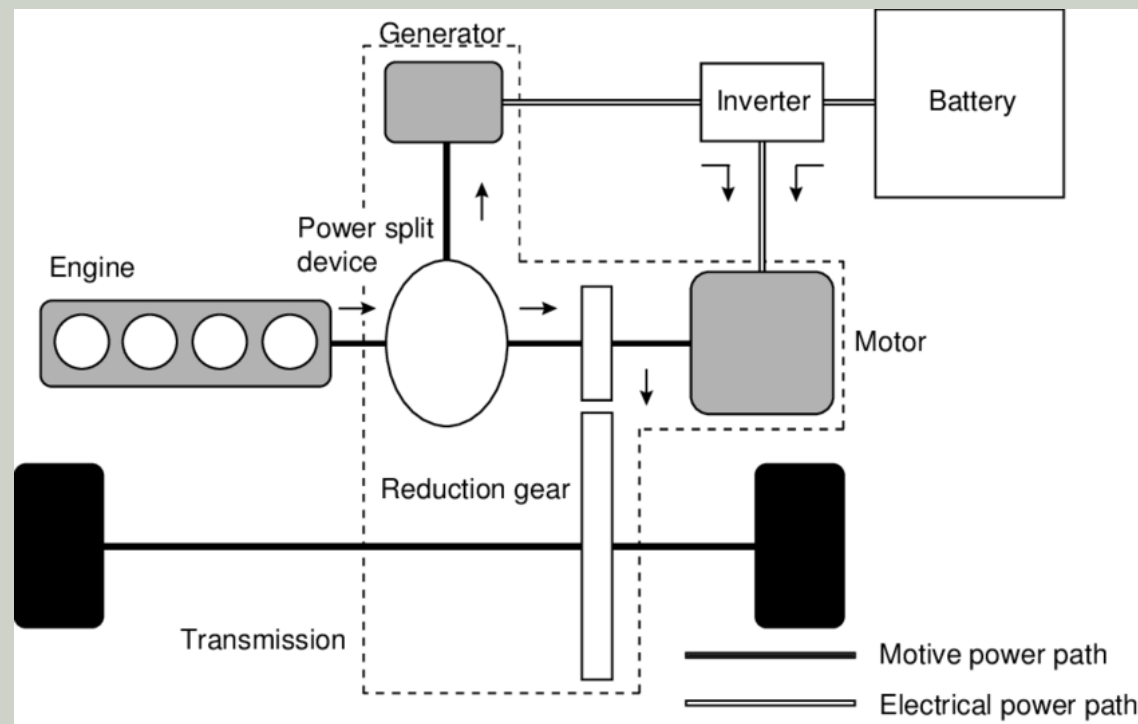
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – HYBRID ELECTRIC VEHICLES (HEV)

- Η ανάμειξη της ισχύος από δύο ή περισσότερες συσκευές μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας ηλεκτρικής ή μηχανικής συσκευής.
- Ο έλεγχος της ροής ισχύος και η ανάμειξη των μηχανικών και ηλεκτρικών διαδρομών μετάδοσης είναι εσωτερικοί και διαφανείς για τον χρήστη. Ο οδηγός σε ένα υβριδικό όχημα διασυνδέεται με το όχημα με τον ίδιο τρόπο όπως κάνει με ένα σύγχρονο συμβατικό **ICEV(internal Combustion Engine Vehicle)**.
- Η πολυπλοκότητα σχεδιασμού του οχήματος αυξάνεται σημαντικά με τα υβριδικά οχήματα, καθώς απαιτούνται συστήματα ελέγχου και υποστήριξης τόσο για τον κινητήρα IC όσο και για την ηλεκτρική μηχανή, εκτός από τα εξαρτήματα που απαιτούνται για την ελεγχόμενη ανάμειξη ισχύος που προέρχεται από τις δύο πηγές.
- Οι **διαδρομές μετάδοσης ισχύος του HEV** αποτελούνται από διαφορετικά μηχανικά και ηλεκτρικά υποσυστήματα. Η υψηλή απόδοση και η υψηλή απόδοση της διαδρομής μετάδοσης ηλεκτρικής ισχύος μειώνουν τον χρόνο λειτουργίας του κινητήρα IC, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές και αυξάνοντας την απόδοση καυσίμου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – HYBRID ELECTRIC VEHICLES (HEV)

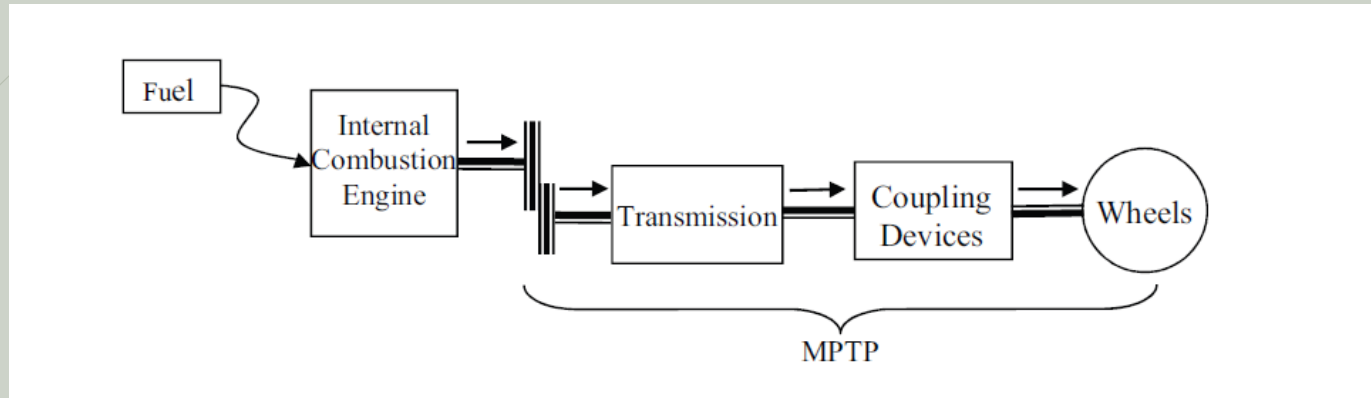
- Τα εξαρτήματα και οι διαδρομές μετάδοσης ισχύος για τα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα συζητούνται στο επόμενο μάθημα.
- Οι αρχιτεκτονικές των υβριδικών οχημάτων θα εξεταστούν, αφού παρουσιαστεί η κινητική του οχήματος, επίσης σε επόμενα μαθήματα.

Υβριδικό σύστημα κίνησης της TOYOTA:

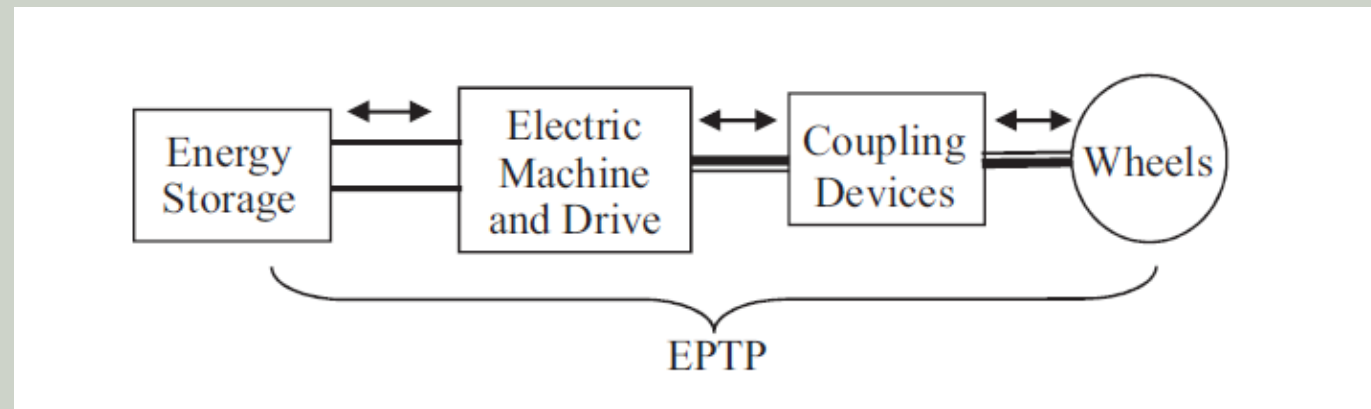


(Source: Thomas Magnussone et al.)

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS



Διαδρομή μετάδοσης ισχύος σε ένα συμβατικό όχημα με ΜΕΚ (ICE)



Διαδρομή μετάδοσης ισχύος σε ένα ηλεκτρικό όχημα (EV)

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Αυτοκίνητο: πολύπλοκο σύστημα που αποτελείται από πολλά **εξαρτήματα** και **αλγόριθμους** λογισμικού,
- ▶ Διασυνδέονται μέσω μηχανικών συνδέσεων και ηλεκτρικού δικτύου επικοινωνιών.
- ▶ Ο σχεδιασμός του εκτείνεται από το σχεδιασμό σε επίπεδο συστημάτων έως τις περίπλοκες λεπτομέρειες ενός υποσυστήματος ή σχεδιασμού εξαρτημάτων.
- ▶ Οι βασικές αρχές σχεδιασμού συστημάτων βρίσκονται στη φυσική:
 - ▶ της κίνησης,
 - ▶ της ενέργειας και
 - ▶ της ισχύος, ΑΛΛΑ
 - ▶ και στις αρχές της μετατροπής ενέργειας από τη μία μορφή στην άλλη, **(χημική, ηλεκτρική και μηχανική)**.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Τα κύρια εξαρτήματα υλικού στο αυτοκίνητο είναι:
 - ▶ οι συσκευές μετατροπής ενέργειας και
 - ▶ μετάδοσης ισχύος.
 - ▶ Υπάρχουν πολλά δευτερεύοντα εξαρτήματα είναι απαραίτητα για τη λειτουργία των κύριων εξαρτημάτων.
- ▶ Το μάθημα εξετάζει:
 - ▶ τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού σε επίπεδο συστήματος,
 - ▶ τα κύρια στοιχεία υλικού και
 - ▶ τη συνδεσιμότητα μεταξύ αυτών των στοιχείων.
 - ▶ Τα δευτερεύοντα στοιχεία θα συζητηθούν κατά περίπτωση.
- ▶ Θα γίνει αναφορά στα διάφορα συστήματα ψύξης που είναι αναγκαία για ένα σύγχρονο αυτοκίνητο.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Οι κύριες συσκευές μετατροπής ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό ή υβριδικό όχημα είναι:
 - ▶ ο κινητήρας εσωτερικής καύσης,
 - ▶ η ηλεκτρική μηχανή και
 - ▶ η συσκευή αποθήκευσης ενέργειας.
- ▶ Η μηχανή IC είναι μια θερμική μηχανή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια.
- ▶ Η ηλεκτρική μηχανή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια ή αντίστροφα, αντίστοιχα.
- ▶ Στα FCEV, η κυψέλη καυσίμου είναι ο κινητήρας που μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική μορφή.
- ▶ Το κιβώτιο ταχυτήτων στο όχημα είναι ένα βασικό στοιχείο για τη μεταφορά ισχύος από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης στους τροχούς.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Με την εισαγωγή ηλεκτρικών μηχανών για τη μεταφορά ισχύος και ενέργειας σε ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα,
 - ▶ οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας και
 - ▶ οι συσκευές μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική
- ▶ καθίστανται απαραίτητες.
- ▶ Μια μπαταρία υψηλής ενεργειακής χωρητικότητας είναι η πιο συνηθισμένη συσκευή αποθήκευσης ενέργειας σε αυτά τα οχήματα.
- ▶ Μια συστοιχία υπερπυκνωτών μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση ενέργειας σε υβριδικά οχήματα.
- ▶ Σφόνδυλοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε πρωτότυπα ερευνητικά υβριδικά οχήματα για αποθήκευση ενέργειας σε μηχανική μορφή.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Οι ηλεκτρικές μηχανές απαιτούν ηλεκτρική κίνηση για τον έλεγχο της μηχανής και την παροχή της απαιτούμενης ισχύος με βάση τις αιτούμενες απαιτήσεις και τα σήματα ανάδρασης (feedback signals).
- ▶ Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούνται από ηλεκτρονικές συσκευές ισχύος και ηλεκτρονικούς ελεγκτές.
 - ▶ Είναι συσκευές μετατροπής ηλεκτρικής σε ηλεκτρική ενέργεια που μετατρέπουν σταθερές τάσεις με σταθερή συχνότητα σε μια μεταβλητή/αλόμενη τάση τροφοδοσίας για την ηλεκτρική μηχανή.
 - ▶ Μπορούν επίσης να επεξεργάζονται ηλεκτρική ενέργεια προς την αντίθετη κατεύθυνση, βοηθώντας την ηλεκτρική μηχανή να μετατρέψει τη **μηχανική ενέργεια** σε ηλεκτρική ενέργεια όταν η ηλεκτρική μηχανή λειτουργεί ως **γεννήτρια**.
- ▶ Ο μετατροπέας DC/DC είναι μια άλλη συσκευή διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή ισχύος DC από υψηλά σε χαμηλά επίπεδα τάσης ή αντίστροφα.
 - ▶ Αποτελείται από **ηλεκτρονικές συσκευές ισχύος** και **επαγωγείς αποθήκευσης ενέργειας**.
 - ▶ Η συσκευή μπορεί να είναι αμφίδρομη.
 - ▶ Ο μετατροπέας DC/DC είναι ένα βασικό εξάρτημα για τη διεπαφή της κυψέλης καυσίμου με την κίνηση του ηλεκτροκινητήρα..

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

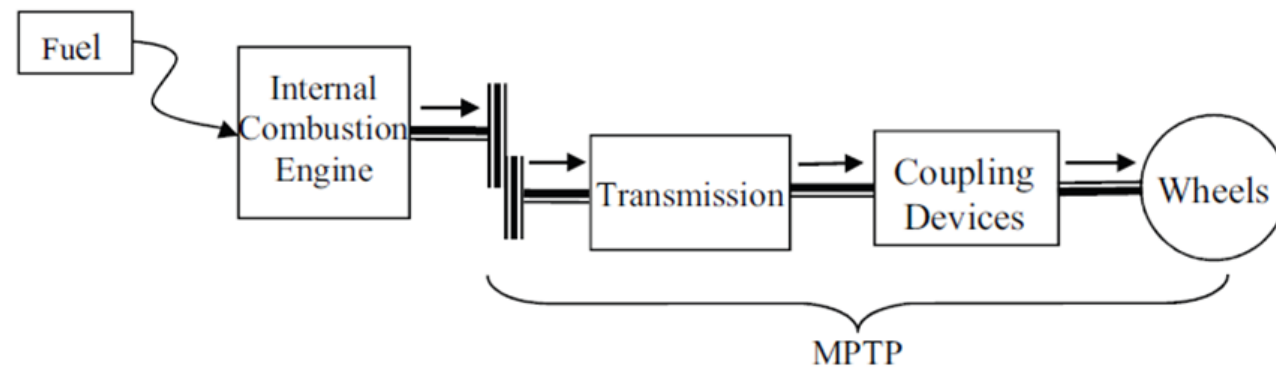
- ▶ Η **ροή ενέργειας** σε ένα όχημα ξεκινά από την **πηγή ενέργειας** και καταλήγει στους **τροχούς** με την παροχή της προωθητικής ισχύος.
- ▶ Η διαδρομή για αυτή τη ροή ισχύος και ενέργειας είναι γνωστή ως **σύστημα μετάδοσης κίνησης** του οχήματος.
- ▶ Η πηγή ενέργειας εντός του οχήματος θα μπορούσε να είναι το **ντίζελ ή η βενζίνη** για τις ΜΕΚ ή η **αποθηκευμένη ενέργεια** σε **μπαταρίες** για τους **ηλεκτροκινητήρες**.
- ▶ Η **ροή ισχύος και ενέργειας** στο σύστημα μετάδοσης κίνησης **ελέγχεται** από ένα σύνολο **ηλεκτρονικών ελεγκτών**.
- ▶ Εκτός από τις ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου (ECU) για κάθε μία από τις συσκευές μετατροπής ενέργειας και μετάδοσης ισχύος στο σύστημα μετάδοσης κίνησης,
- ▶ υπάρχει ένας κύριος ελεγκτής για τον συντονισμό των λειτουργιών του οχήματος σε επίπεδο συστήματος.
- ▶ Αυτός ο ελεγκτής ονομάζεται **ελεγκτής εποπτείας οχήματος (Vehicle Supervisory Controller - VSC)**.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Ο εποπτικός ελεγκτής – VSC, είναι ένα βασικό στοιχείο στα υβριδικά οχήματα,
- ▶ Πρέπει να συντονίζει τη μετατροπή ενέργειας πολλαπλών συσκευών και τη μετάδοση ισχύος μέσω τόσο των ηλεκτρικών όσο και των μηχανικών διαδρομών.
- ▶ Το VSC είναι σαν τον εγκέφαλο του οχήματος, σχεδιασμένος να παράγει τις εντολές ελέγχου για τις μεμονωμένες μονάδες ελέγχου (ECU) των εξαρτημάτων του συστήματος μετάδοσης κίνησης.
- ▶ Αλληλοεπιδρά με τα εξαρτήματα του οχήματος μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας, το οποίο βασίζεται σε ένα πρωτόκολλο δικτύου περιοχής ελεγκτή (CAN).
- ▶ Τα πρωτόκολλα CAN θα παρουσιαστούν παρακάτω (τέλος Εξαμήνου) όπως και
- ▶ Οι στρατηγικές ελέγχου των υβριδικών οχημάτων.

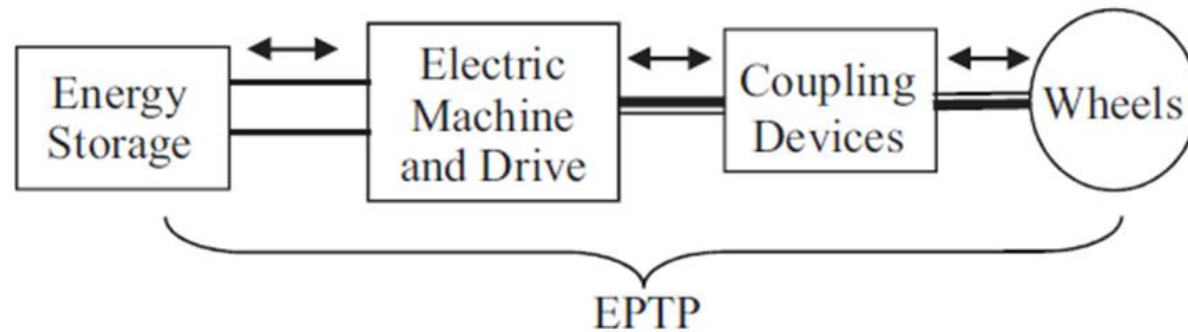
ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Τα κύρια εξαρτήματα του συστήματος μετάδοσης κίνησης **σε ένα συμβατικό ICEV** είναι ο κινητήρας και το κιβώτιο ταχυτήτων.
- ▶ Αυτά τα εξαρτήματα παρέχουν ισχύ στους τροχούς μέσω του άξονα μετάδοσης κίνησης και άλλων διατάξεων ζεύξης.
- ▶ Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι διατάξεις ζεύξης περιλαμβάνουν το διαφορικό και την τελική μετάδοση.
- ▶ Λέγεται μηχανική διαδρομή μετάδοσης ισχύος (mechanical power transmission path - MPTP).



ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Η διαδρομή μετάδοσης ισχύος σε ένα **ηλεκτρικό όχημα** είναι ως επί το πλείστον ηλεκτρική, **εκτός** από τις διατάξεις ζεύξης μεταξύ του **ηλεκτρικού κινητήρα πρόωσης και των τροχών**.
- ▶ Αυτή η διαδρομή μεταφοράς ισχύος θα αναφέρεται ως **διαδρομή μετάδοσης ηλεκτρικής ισχύος (electrical power transmission path EPTP)**.

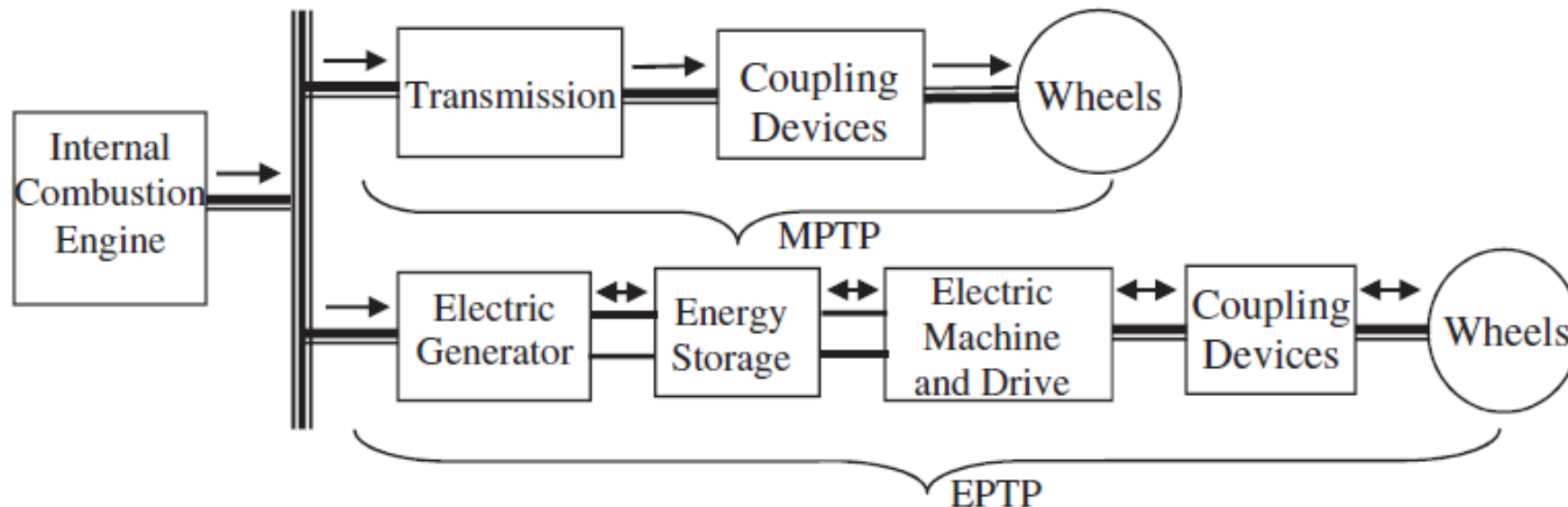


ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Η διάταξη ζεύξης μπορεί απλώς να είναι ένα γρανάζι για την αντιστοίχιση των ταχυτήτων της ηλεκτρικής μηχανής με τις ταχύτητες του οχήματος.
- ▶ Η ζεύξη μπορεί ακόμη και να είναι άμεση χωρίς γρανάζια σε κινητήρες τοποθετημένους σε τροχούς, οι οποίοι είναι γνωστοί ως κινητήρες πλήμνης.
- ▶ Η **ειδοποιός διαφορά** σε αυτή τη διαδρομή από αυτήν σε ένα ICEV είναι ότι η **ροή ισχύος και ενέργειας μπορεί να είναι αμφίδρομη**.
- ▶ Στα EV, η κινητική ενέργεια του οχήματος μπορεί να επιστέψει εν μέρει πίσω στη συσκευή αποθήκευσης ενέργειας μέσω της ηλεκτρικής μηχανής όταν το όχημα
 - ▶ φρενάρει για να επιβραδύνει σε κάθε μορφής δρόμο ή
 - ▶ να σταματήσει τελείως.

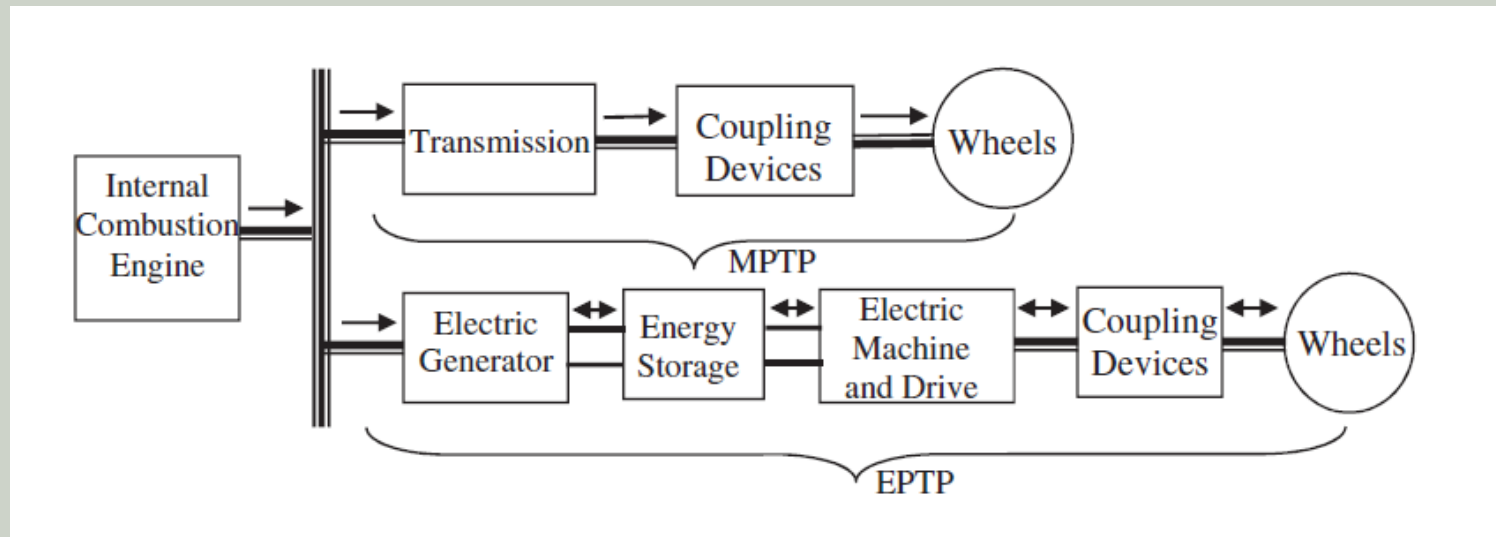
ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Τόσο η ηλεκτρική όσο και η μηχανική μετάδοση υπάρχουν στο σύστημα μετάδοσης κίνησης ενός υβριδικού οχήματος.
- ▶ Η αρχιτεκτονική και τα εξαρτήματα του συστήματος μετάδοσης κίνησης ενός HEV ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του υβριδικού οχήματος.
- ▶ Μια γενική διαμόρφωση για ένα υβριδικό όχημα με δυνατότητα διατήρησης φόρτισης φαίνεται εδώ:



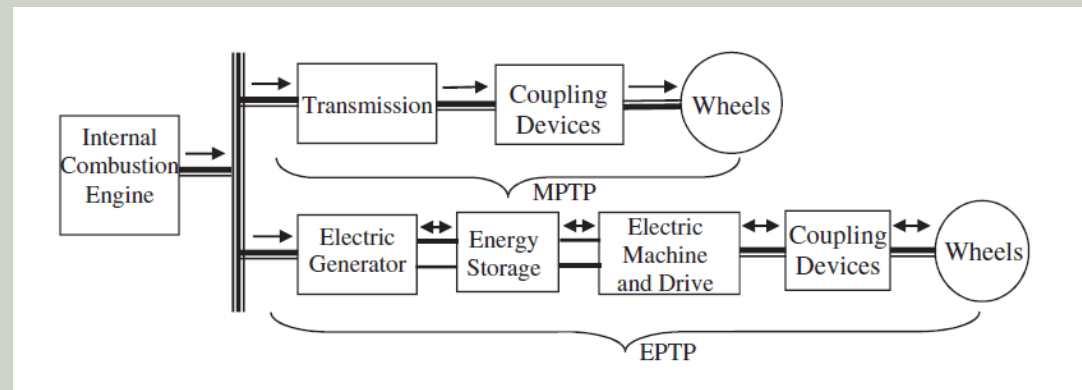
ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Τα υβριδικά οχήματα διατήρησης φόρτισης είναι αυτά που δεν χρειάζεται ποτέ να συνδεθούν στην πρίζα για την επαναφόρτιση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας.
- ▶ Η μόνη πηγή ενέργειας εντός του οχήματος είναι το αποθηκευμένο καύσιμο για τον κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- ▶ Όλη η ενέργεια πρόωσης επεξεργάζεται μέσω του κινητήρα ανεξάρτητα από το αν η διαδρομή μετάδοσης ισχύος είναι ηλεκτρική ή μηχανική.



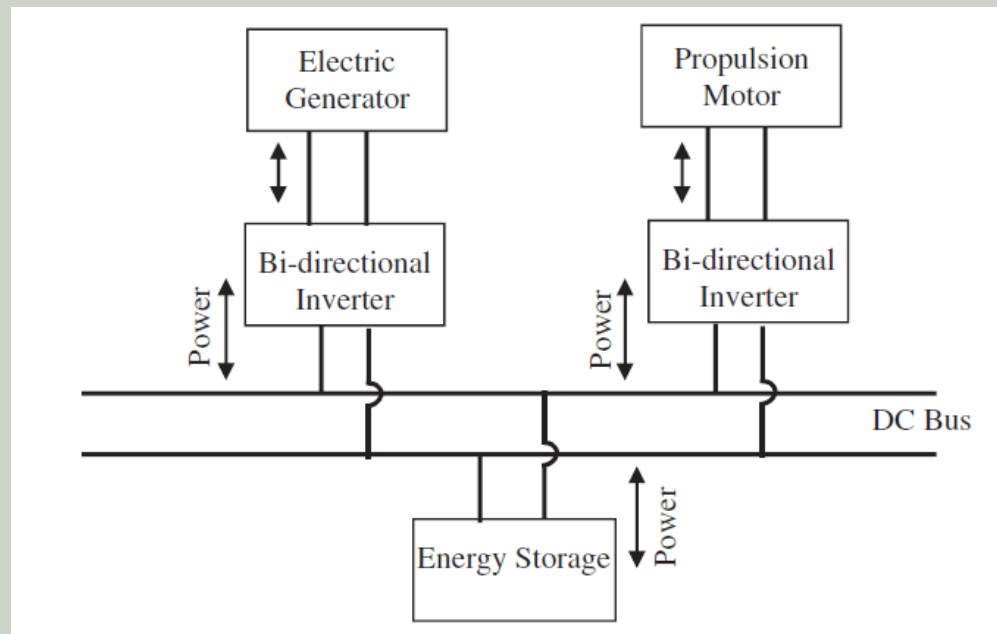
ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Η ισχύς πρόωσης προέρχεται από έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες και τον κινητήρα IC και μεταδίδεται στους τροχούς είτε μέσω του MPTP είτε μέσω του EPTP, ή μέσω του συνδυασμού των δύο.
- ▶ Το MPTP συνδέεται με έναν κινητήρα IC και κιβώτιο ταχυτήτων, ενώ το EPTP αποτελείται από το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, μια γεννήτρια, έναν κινητήρα πρόωσης και το κιβώτιο ταχυτήτων.
- ▶ Ο συνδυασμός ηλεκτρικών μηχανών και κινητήρα IC και οι διατάξεις των διαδρομών μετάδοσης ισχύος δημιουργούν μια ποικιλία αρχιτεκτονικών για HEV.
- ▶ Οι πηγές ενέργειας και οι συσκευές μετατροπής ισχύος μπορούν να τοποθετηθούν σε σειρά, παράλληλα ή σε συνδυασμό σειράς-παράλληλης σύνδεσης, γεγονός που οδηγεί σε αυτές τις διάφορες υβριδικές αρχιτεκτονικές.



ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

► Η διάταξη των ηλεκτρικών εξαρτημάτων του γενικού υβριδικού οχήματος:

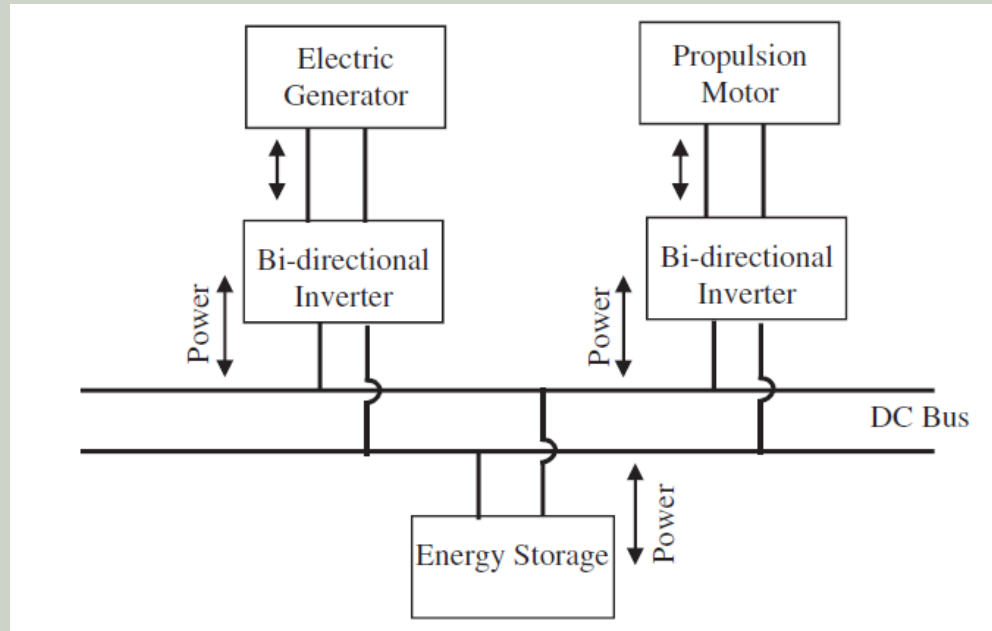


► Η ηλεκτρική γεννήτρια που φαίνεται στην υβριδική διαμόρφωση του Σχήματος είναι συνδεδεμένη με τον κινητήρα και μπορεί να λειτουργήσει είτε ως γεννήτρια είτε ως κινητήρας.

► Κατά την παραγωγή, η ισχύς μέσω της γεννήτριας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη φόρτιση της μπαταρίας χρησιμοποιώντας έναν αμφίδρομο μετατροπέα **ή για την παροχή ενέργειας** απευθείας στον κινητήρα πρόωσης μέσω του διαύλου DC.

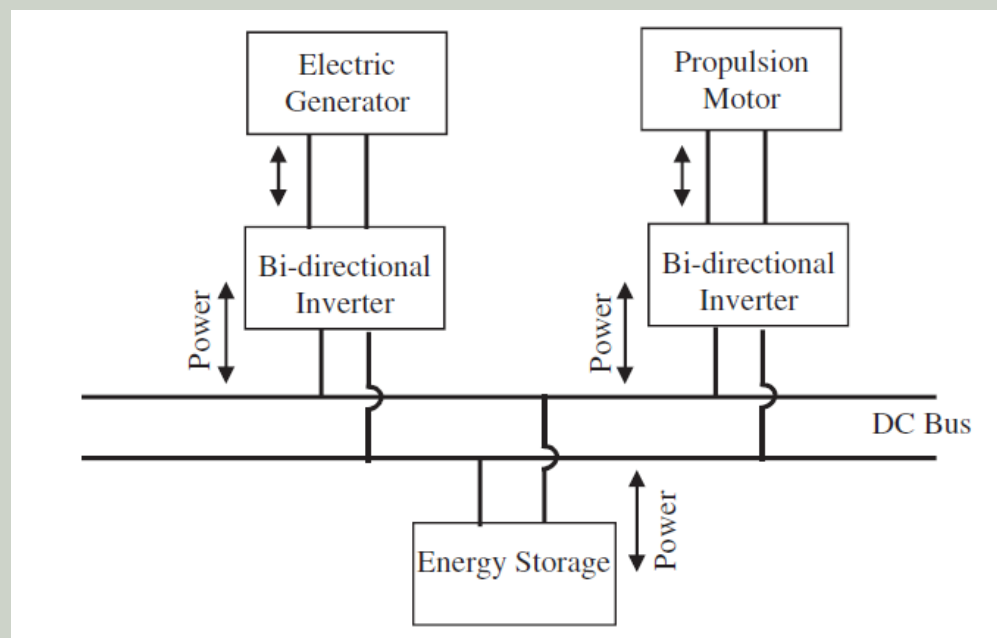
ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Η γεννήτρια μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως κινητήρας κατά την εκκίνηση του κινητήρα και την ενίσχυση της ροπής για να καλύψει τις απαιτήσεις μέγιστης επιτάχυνσης του οδηγού.
- ▶ Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας θα απορροφά ή θα παρέχει ενέργεια ανάλογα με την κατάσταση φόρτισης του συστήματος και τις συνθήκες οδήγησης.
- ▶ Ένας άλλος αμφίδρομος μετατροπέας ρυθμίζει τη ροή ισχύος για τον κινητήρα πρόωσης, ο οποίος παρέχει ροπή στους τροχούς..
- ▶ Ο κινητήρας πρόωσης μπορεί επίσης να συλλέξει αναγεννητική ενέργεια κατά το φρενάρισμα του οχήματος.



ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

- ▶ Οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε υβριδικά οχήματα θα καλυφθούν από τον Δρ. Μπομποδάκη.
- ▶ Η μίζα-γεννήτρια και ο κινητήρας πρόωσης στο EPTP χρησιμοποιούν ηλεκτρικές μηχανές υψηλής ισχύος.
- ▶ Αυτές οι ηλεκτρικές μηχανές πρέπει να έχουν ικανότητα κίνησης και παραγωγής, υψηλή πυκνότητα ισχύος, υψηλή απόδοση και υψηλή ροπή εκκίνησης σε ένα ευρύ φάσμα στροφών για να πληρούν τις προδιαγραφές απόδοσης.



ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE COMPONENTS

► Πομποδάκης:

- Οι διαφορετικοί τύποι ηλεκτρικών μηχανών
- Οι μέθοδοι ελέγχου ηλεκτρικών μηχανών και οι λοιπές ηλεκτρικές διατάξεις.
- Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα ισχύος για τους ηλεκτροκινητήρες και τους μετατροπείς DC/DC.
- Οι διαφορετικοί τύποι κινητήρων εσωτερικής καύσης και οι βασικές τους αρχές.
- Τα εξαρτήματα μετάδοσης ισχύος, τα φρένα και το σύστημα ψύξης.

VEHICLE MASS AND PERFORMANCE 20/10

- ▶ Οι διάφοροι ορισμοί μάζας οχήματος που χρησιμοποιούνται στο μάθημα είναι κοινοί με εκείνους που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία.
- ▶ Η μάζα απόβαρου του οχήματος m_v είναι η συνολική μάζα ενός οχήματος με όλο τον βασικό εξοπλισμό, τα εξαρτήματα, τα λιπαντικά, το γεμάτο ρεζερβουάρ βενζίνης, αλλά χωρίς επιβάτες ή φορτίο.
- ▶ Η συνολική μάζα ενός οχήματος m_{gv} είναι η συνολική μάζα από το έδαφος συν τους επιβάτες και το φορτίο.
- ▶ Η μέγιστη μεικτή μάζα του οχήματος είναι η μάζα απόβαρου + τον μέγιστο αριθμό επιβατών και τη μέγιστη μάζα του φορτίου για την οποία έχει σχεδιαστεί το όχημα.
- ▶ Συχνά ο όρος βάρος χρησιμοποιείται γενικά για οχήματα αντί για μάζα, αν και αναφέρεται η μάζα του οχήματος.
- ▶ Η μάζα ορίζει την εγγενή φυσική ιδιότητα του οχήματος, ενώ το βάρος είναι η δύναμη του οχήματος λόγω της βαρυτικής έλξης.
- ▶ Ο επιστημονικά ορθός όρος μάζα θα χρησιμοποιηθεί σε αυτό το μάθημα για τους υπολογισμούς και την ανάλυση.

VEHICLE MASS AND PERFORMANCE

- ▶ Η μάζα απόβαρου του οχήματος διακρίνεται σε αναρτώμενη και μη αναρτώμενη μάζα σε σχέση με τη θέση των εξαρτημάτων σε σχέση με το σύστημα ανάρτησης του οχήματος.
- ▶ Η αναρτώμενη μάζα είναι το κλάσμα της μάζας απόσβεσης του οχήματος που υποστηρίζεται από την ανάρτηση, συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων ανάρτησης που βρίσκονται σε κίνηση..
- ▶ Η μη αναρτημένη μάζα είναι το υπόλοιπο κλάσμα της μάζας απόβαρου του οχήματος που μεταφέρεται από τους τροχούς και κινείται μαζί τους..
- ▶ Η κατανομή μάζας από εμπρός προς τα πίσω είναι κρίσιμη για την ισορροπία και την καλή οδηγική απόδοση ενός οχήματος.
- ▶ Η κατανομή μάζας μπορεί να οριστεί με βάση τα μήκη άξονα προς άξονα.

VEHICLE MASS AND PERFORMANCE

▶ Let

- ▶ l = μήκος μεταξύ των αξόνων,
- ▶ a = μήκος εμπρόσθιου άξονα προς το κέντρο βάρους του οχήματος, γνωστό ως εμπρόσθιο διάμηκες μήκος,
- ▶ b = μήκος από τον πίσω άξονα στο κέντρο βάρους του οχήματος, γνωστό ως οπίσθιο διάμηκες μήκος.

▶ Η μάζα του μπροστινού μέρους του οχήματος είναι

$$m_{vf} = \frac{b}{l} m_v.$$

▶ Και η μάζα του πίσω μέρους είναι:

$$m_{vr} = \frac{a}{l} m_v.$$

VEHICLE MASS AND PERFORMANCE

- ▶ Το σύνολο των εξαρτημάτων για καλή ισορροπία και οδηγική απόδοση είναι πολύ σημαντική, ειδικά για υβριδικά οχήματα που έχουν περισσότερα εξαρτήματα κινητήρα από ένα συμβατικό όχημα.
- ▶ Τα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα με μεγάλη ενεργειακή χωρητικότητα έχουν σημαντική μάζα μπαταρίας, γεγονός που απαιτεί αποτελεσματική χωροθέτηση εντός του οχήματος.
- ▶ Οι δυναμικές επιδράσεις του φρεναρίσματος προκαλούν δυναμική μετατόπιση μάζας · τα μπροστινά φρένα είναι υπεύθυνα για περίπου το 70% του φρεναρίσματος του οχήματος..
- ▶ Απαιτείται αναλογία κατανομής μάζας εμπρός-πίσω του οχήματος 60:40 ή λιγότερο, λαμβάνοντας υπόψη την ισορροπία, την οδηγική απόδοση και το δυναμικό φρενάρισμα.

VEHICLE MASS AND PERFORMANCE

- ▶ Η αναλογία της αναρτώμενης προς τη μη αναρτώμενη μάζα πρέπει επίσης να αξιολογείται προσεκτικά κατά τον σχεδιασμό της **διάταξης** του οχήματος.
- ▶ Μια αναλογία 10:1 αναρτώμενης μάζας προς μη αναρτημένη μάζα είναι ένας επιθυμητός στόχος, αν και μια ελαφρώς χαμηλότερη αναλογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υβριδικά οχήματα που μπορεί να έχουν περισσότερα μη αναρτημένα εξαρτήματα.
- ▶ Οι ηλεκτροκινητήρες που είναι τοποθετημένοι στο κέντρο ή στα δισκόφρενα μαζί με ολόκληρο το συγκρότημα δαγκάνας προσθέτουν στη μη αναρτημένη μάζα του οχήματος.

VEHICLE MASS AND PERFORMANCE

► Για τον προσδιορισμό του μεγέθους των εξαρτημάτων του συστήματος μετάδοσης κίνησης χρησιμοποιείται μια ισοδύναμη μάζα οχήματος ως προς τη μάζα απόβαρου και τον αριθμό των επιβατών.

► The equivalent mass to be used in the design calculations is given by:

$$m_{eq} = k_m m_v + N_p m_p$$

► όπου k_m είναι ο συντελεστής μάζας που σχετίζεται με το μεταφορικό ισοδύναμο όλων των περιστροφικών αδράνειας,

► N_p είναι ο αριθμός των ατόμων στο όχημα και

► m_p είναι η μέση μάζα των ατόμων..

► k_m είναι ένας αδιάστατος συντελεστής μάζας που λαμβάνει υπόψη την αδράνεια όλων των περιστρεφόμενων εξαρτημάτων, όπως οι τροχοί, τα εξαρτήματα του συστήματος μετάδοσης κίνησης, ο κινητήρας με τα βοηθητικά συστήματα και οι υβριδικοί ηλεκτρικοί κινητήρες.

VEHICLE MASS AND PERFORMANCE

- ▶ The mass factor is given by (A.M. Philips, et al.):

$$k_m = 1 + \frac{4J_w}{m_v r_{wh}^2} + \frac{J_{eng} \xi_{eng}^2 \xi_{FD}^2}{m_v r_{wh}^2} + \frac{J_{em} \xi_{em}^2 \xi_{FD}^2}{m_{cv} r_{wh}^2}$$

- ▶ where $\xi_{eng/em}$ and ξ_{FD} are the engine/electric machine transmission and final drive gear ratios.
- ▶ The steering performance of a vehicle is measured in terms of the steering angles, which is the average of the left and right wheel angles (H.-D. Lee & S. -K.Sul).
- ▶ Right to left vehicle mass balance is also needed for good steering performance.
- ▶ Packaging the hybrid components above the vehicle center of gravity will result:
 - ▶ good steering performance and
 - ▶ handling of the vehicle.

ELECTRIC MOTOR AND ENGINE RATINGS

- ▶ Η ισχύς των ηλεκτρικών κινητήρων και των κινητήρων εσωτερικής καύσης (IC) περιγράφονται συνήθως με ονομαστικές τιμές κιλοβάτ (kW) ή ιπποδύναμης (HP, PS), αν και η σύγκριση μεταξύ ηλεκτρικών κινητήρων και κινητήρων εσωτερικής καύσης μόνο όσον αφορά τις μονάδες ισχύος δεν είναι δίκαιη.
- ▶ Η ισχύς που μπορεί να παρέχει συνεχώς ένας ηλεκτροκινητήρας χωρίς υπερθέρμανση είναι η ονομαστική του ισχύς, η οποία είναι συνήθως μια υποβαθμισμένη τιμή..
- ▶ Για σύντομα χρονικά διαστήματα, ο κινητήρας μπορεί να παρέχει δύο έως τρεις φορές την ονομαστική ισχύ.

ELECTRIC MOTOR AND ENGINE RATINGS

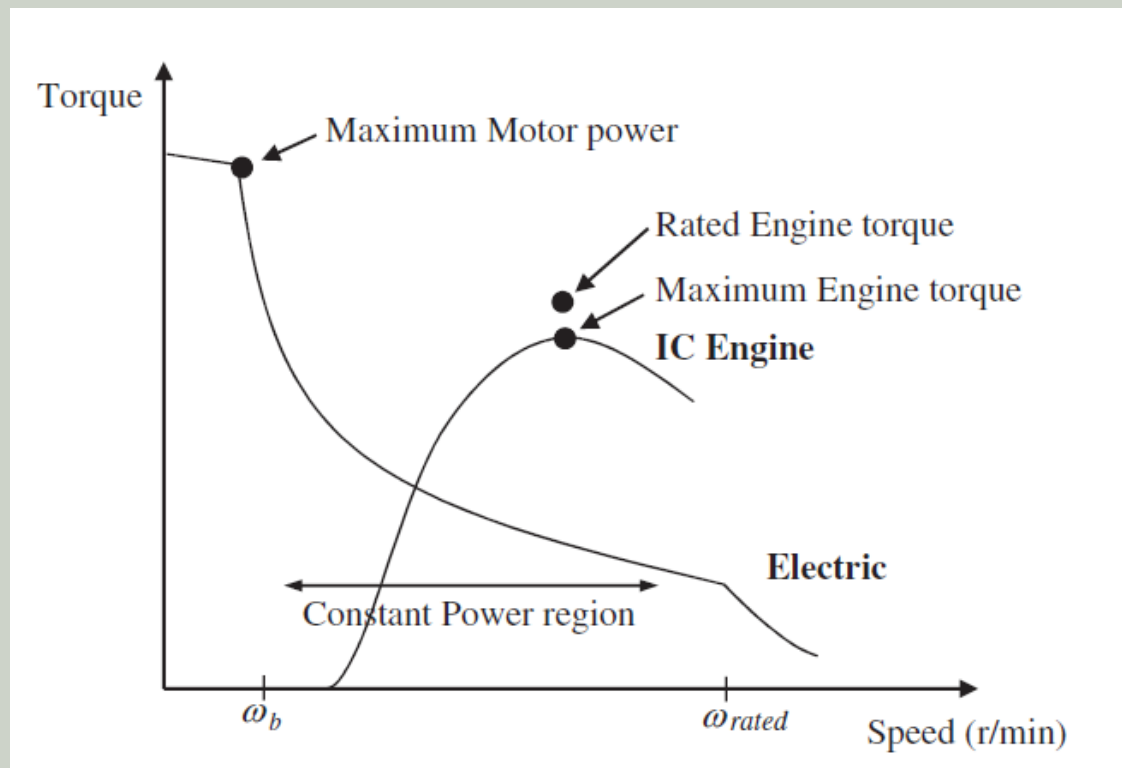
- ▶ Επομένως, υψηλότερη ροπή και ισχύς είναι διαθέσιμη από έναν ηλεκτροκινητήρα για επιτάχυνση, και η ροπή του κινητήρα μπορεί να είναι η μέγιστη υπό συνθήκες ακινητοποίησης, δηλαδή, σε μηδενική ταχύτητα.
- ▶ Ο τύπος του κινητήρα καθορίζει εάν η μέγιστη ροπή είναι διαθέσιμη σε μηδενική ταχύτητα ή όχι. On the contrary, an IC engine is rated at a specific r/min level for maximum torque and maximum power.
- ▶ Η μέγιστη ροπή και η ονομαστική ισχύς του κινητήρα IC συνήθως υπολογίζονται υπό ιδανικές εργαστηριακές συνθήκες. Σε πρακτικές περιπτώσεις, είναι αδύνατο να επιτευχθεί η ονομαστική ισχύς. Η μέγιστη ισχύς που διατίθεται από έναν κινητήρα IC είναι πάντα μικρότερη από την ονομαστική ισχύ.

ELECTRIC MOTOR AND ENGINE RATINGS

- ▶ Τα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων κινητήρων και κινητήρων εσωτερικής καύσης θα διαφέρουν κάπως από αυτές τις γενικευμένες καμπύλες.
- ▶ Για τους ηλεκτροκινητήρες, υπάρχει υψηλή ροπή κατά την εκκίνηση, η οποία είναι η ονομαστική ροπή του κινητήρα.
- ▶ Η μέγιστη ή ονομαστική ισχύς από έναν κινητήρα λαμβάνεται στην βασική ταχύτητα (ω_b) όταν τα χαρακτηριστικά του κινητήρα εισέρχονται στην περιοχή σταθερής ισχύος από την περιοχή σταθερής ροπής μόλις επιτευχθεί το όριο τάσης της τροφοδοσίας. Η ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (ω ονομαστική) βρίσκεται στο τέλος της περιοχής σταθερής ισχύος.
- ▶ Η μέγιστη ισχύς και ροπή του κινητήρα IC εμφανίζονται με την ίδια ταχύτητα.
- ▶ Τα χαρακτηριστικά ροπής των κινητήρων παρουσιάζονται στο **Σχήμα 1.6** μαζί με τα χαρακτηριστικά ροπής των κινητήρων εσωτερικής καύσης.

ELECTRIC MOTOR AND ENGINE RATINGS

► Σε αυτό το στάδιο, θα είναι χρήσιμο να εξετάσουμε τη σχέση ισχύος και ροπής, η οποία έχει ως εξής:



► Power (W) = ω (rad/s) x Torque (N.m)

► Το σχήμα απεικονίζει ότι ο κινητήρας IC δεν παράγει ροπή κάτω από μια συγκεκριμένη ταχύτητα.

ELECTRIC MOTOR AND ENGINE RATINGS

- ▶ Ένα κιβώτιο ταχυτήτων είναι απαραίτητο για έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης, ώστε να ταιριάζει η ταχύτητα του οχήματος με το στενό εύρος στροφών υψηλής ισχύος του κινητήρα.
- ▶ Από την άλλη πλευρά, ο ηλεκτροκινητήρας παράγει υψηλή ροπή ακόμη και σε μηδενική ταχύτητα και συνήθως έχει σταθερά χαρακτηριστικά ισχύος σε ένα ευρύ φάσμα στροφών.
- ▶ Επομένως, ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να συνδεθεί απευθείας στους κινητήριους τροχούς με ένα κιβώτιο ταχυτήτων μίας ταχύτητας για να επιταχύνει το όχημα από μηδενική ταχύτητα μέχρι την τελική ταχύτητα.
- ▶ Η σταθερή σχέση μετάδοσης έχει κατάλληλο μέγεθος με βάση το εύρος στροφών λειτουργίας του κινητήρα και την τελική ταχύτητα του οχήματος.
- ▶ Τα γρανάζια μετάδοσης κίνησης ενός σταδίου έχουν σχεδιαστεί για να ταιριάζουν με την υψηλότερη ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα με τη χαμηλότερη ταχύτητα των τροχών, συνήθως στην περιοχή 10–15:1.
- ▶ Οι τυπικές μέγιστες ταχύτητες του ηλεκτροκινητήρα είναι 15.000 rpm για ταχύτητες τροχών περίπου 1.000 στροφές/m) ~ 280 χλμ./ώρα για μια τυπική ζάντα 16 ιντσών και ελαστικό 205/55.

ELECTRIC MOTOR AND ENGINE RATINGS

- ▶ Οι πυκνότητες ισχύος και ροπής των ηλεκτρικών μηχανών είναι συνήθως πολύ υψηλότερες από αυτές ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης συγκρίσιμου μεγέθους.
- ▶ Οι πυκνότητες ισχύος και ροπής βελτιώνονται καθώς αυξάνεται η ονομαστική ταχύτητα της ηλεκτρικής μηχανής.
- ▶ Οι ηλεκτρικές μηχανές έχουν σχεδιαστεί για λειτουργία υψηλής ταχύτητας για ελαχιστοποίηση του μεγέθους και του βάρους.
- ▶ Οι πυκνότητες ισχύος και ροπής εξαρτώνται επίσης από τον τύπο της ηλεκτρικής μηχανής που χρησιμοποιείται.
- ▶ Ο κινητήρας και, ως εκ τούτου, η ταχύτητα του οχήματος ελέγχονται απευθείας μέσω του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος που τροφοδοτεί τον κινητήρα με ρεύμα.

ELECTRIC MOTOR AND ENGINE RATINGS

- ▶ Ο ηλεκτροκινητήρας είναι η μοναδική μονάδα πρόωσης στα ηλεκτρικά οχήματα, ενώ στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, ο ηλεκτροκινητήρας και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης μαζί σε σειρά ή παράλληλο συνδυασμό παρέχουν την ισχύ πρόωσης.
- ▶ Ο ηλεκτροκινητήρας για την πρόωση στο EV/HEV είναι επιθυμητό να έχει υψηλή ροπή εκκίνησης για να καλύψει τις απαιτήσεις επιτάχυνσης, υψηλή πυκνότητα ισχύος για τη μείωση του βάρους και υψηλή απόδοση για την επέκταση της αυτονομίας της μπαταρίας.
- ▶ Ο ιδανικός υποψήφιος κινητήρας θα πρέπει επίσης να έχει ένα ευρύ φάσμα στροφών λειτουργίας για να διευκολύνει ένα στάδιο μετάδοσης κίνησης μίας ταχύτητας.
- ▶ Τα σημαντικά χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρικού ή υβριδικού κινητήρα οχήματος περιλαμβάνουν τον ευέλικτο έλεγχο οδήγησης, την ανοχή σφαλμάτων, την υψηλή απόδοση και τον χαμηλό ακουστικό θόρυβο.

ELECTRIC MOTOR AND ENGINE RATINGS

- ▶ Ο κινητήρας πρέπει να είναι ικανός να χειρίζεται τις διακυμάνσεις τάσης από την πηγή.
- ▶ Οι απαιτήσεις ενός ηλεκτρικού ή υβριδικού κινητήρα οχήματος, όχι απαραίτητα κατά σειρά σπουδαιότητας, συνοψίζονται στα ακόλουθα:
 - ▶ Ανθεκτικότητα.
 - ▶ Υψηλός λόγος ροπής προς αδράνεια (T_e/J). Ο μεγάλος λόγος (T_e/J) έχει ως αποτέλεσμα «καλές» δυνατότητες επιτάχυνσης..
 - ▶ Μέγιστη ικανότητα ροπής περίπου 200%–300% της ονομαστικής συνεχούς ροπής.
 - ▶ Υψηλή αναλογία ισχύος προς βάρος P_e / w
 - ▶ Δυνατότητα λειτουργίας με μεταβαλλόμενη τάση διαύλου(bus) DC.
 - ▶ Χαμηλός ακουστικός θόρυβος, χαμηλή EMI, χαμηλή συντήρηση και χαμηλό κόστος.
 - ▶ Εκτεταμένη περιοχή λειτουργίας σταθερής ισχύος.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Πριν τη δεκαετία του 1830, τα μέσα μεταφοράς λειτουργούσαν με ατμό, γιατί;
- ▶ Οι νόμοι της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, δηλαδή των ηλεκτρικών κινητήρων και γεννητριών, δεν είχαν ακόμη ανακαλυφθεί.
- ▶ Ο Φαραντέι απέδειξε την αρχή του ηλεκτροκινητήρα ήδη από το 1820 μέσω μιας ράβδου σύρματος που μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα και ενός μαγνήτη.
- ▶ Ο ίδιος, το 1831 ανακάλυψε τους νόμους της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.
- ▶ Αυτό επέτρεψε την ανάπτυξη των ηλεκτρικών κινητήρων και γεννητριών, κάτι που είναι απαραίτητο για τις ηλεκτρικές μεταφορές και όχι μόνο.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Η ιστορία των ηλεκτρικών οχημάτων από τότε έως την περίοδο αιχμής τους στις αρχές του 1900 συνοψίζεται παρακάτω:
- ▶ Pre 1830 – Steam-powered transportation.
- ▶ 1831 – Faraday's law, and shortly thereafter, **invention of DC motor.**
- ▶ 1834 – Non-rechargeable battery-powered electric car used on a short track.
- ▶ 1851 – Non-rechargeable 19-mph electric car.
- ▶ 1859 – **Development of lead storage battery.**
- ▶ 1874 – Battery-powered carriage.
- ▶ Early 1870s – Electricity produced by dynamo-generators.
- ▶ 1885 – Gasoline-powered tricycle car.
- ▶ 1900 – 4,200 automobiles sold:
 - ▶ 40% steam powered
 - ▶ 38% **electric powered**
 - ▶ 22% gasoline powered

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

Οι προδιαγραφές ορισμένων από τα πρώτα ηλεκτρικά οχήματα δίνονται παρακάτω:

- ▶ 1897 – French Krieger Co. EV: Weight – 2,230 lbs, Top Speed – 15 mi/h, Range – 50 miles/charge.
- ▶ 1900 – French B.G.S. Co. EV: Top Speed – 40 mph, Range – 100 miles/charge.
- ▶ 1915 – Woods EV: Top Speed – 40 mph, Range – 100 miles/charge.
- ▶ 1915 – Lansden EV: Weight – 2,460 lbs, 93 miles/charge, 1 ton payload capacity.
- ▶ 1912 – 34,000 EVs registered; EVs **outnumber gas-powered vehicles 2-to-1.**
- ▶ 1920s – Τα ηλεκτρικά οχήματα εξαφανίζονται και τα ICEV κυριαρχούν.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

Οι παράγοντες που οδήγησαν στην εξαφάνιση των ηλεκτρικών οχημάτων μετά τη σύντομη περίοδο επιτυχίας τους είναι οι εξής:

- 1. Εφεύρεση της μίζας το 1911 που έκανε τα βενζινοκίνητα οχήματα ευκολότερα στην εκκίνηση.
- 2. Βελτιώσεις στη μαζική παραγωγή των οχημάτων Model T (βενζινοκίνητα) του Henry Ford, τα οποία πωλούνταν προς 260 δολάρια το 1925 σε σύγκριση με 850 δολάρια το 1909. Τα ηλεκτρικά οχήματα ήταν πιο ακριβά.
- 3. Οι αγροτικές περιοχές είχαν πολύ περιορισμένη πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια για τη φόρτιση μπαταριών, ενώ η βενζίνη μπορούσε να πωληθεί σε αυτές τις περιοχές.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Τα ηλεκτρικά οχήματα άρχισαν να ανακάμπτουν τη δεκαετία του 1960, κυρίως λόγω των περιβαλλοντικών κινδύνων που προκαλούσαν οι εκπομπές των ICEV.
- ▶ Οι μεγάλοι κατασκευαστές ICEV, η General Motors και η Ford, συμμετείχαν στην έρευνα και ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων.
- ▶ Η General Motors ξεκίνησε ένα πρόγραμμα 15 εκατομμυρίων δολαρίων που κορυφώθηκε με τα οχήματα που ονομάστηκαν Electrovair και Electrovon.
- ▶ Electrovair I (1964) και Electrovair II (1966) από την GM - Συστήματα και χαρακτηριστικά: Motor – Three-phase induction motor, 115 HP, 13,000 rev/m

Battery – Silver-zinc (Ag-Zn), 512 V, 680 lbs.

Motor drive – DC-to-AC inverter using silicon-controlled rectifier (SCR)

Top speed – 80 mi/h

Range – 40–80 miles

Acceleration – 0–60 mi/h in 15.6 s

Vehicle weight – 3,400 lbs

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Το Electrovair χρησιμοποιούσε αμάξωμα και πλαίσιο Chevy Corvair. Η απόδοση στην επιτάχυνση που ήταν συγκρίσιμη με το ICEV Corvair.
- ▶ Το κύριο μειονέκτημα του οχήματος ήταν η **μπαταρία αργύρου-ψευδαργύρου (Ag-Zn)** που ήταν πολύ ακριβή και βαριά με μικρή διάρκεια ζωής και απαιτούσε μεγάλο χρόνο επαναφόρτισης.
- ▶ Οι μπαταρίες ήταν Ένας επιπλέον παράγοντας στη δεκαετία του 1960 που έδωσε την ώθηση για την ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων περιλαμβάνει τον αγώνα cross-country «The Great Electric Car Race» (3.300 μίλια) μεταξύ ενός ηλεκτρικού οχήματος από το Caltech και ενός άλλου από το MIT (1968 - Αύγουστος).
- ▶ Ο αγώνας προκάλεσε μεγάλο δημόσιο ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα και παρείχε μια εκτεταμένη δοκιμή της τεχνολογίας στο δρόμο.
- ▶ Ωστόσο, η **τεχνολογία της δεκαετίας του 1960** δεν ήταν αρκετά ώριμη για να παράγει ένα εμπορικά **βιώσιμο ηλεκτρικό όχημα**.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Το σενάριο γύρισε υπέρ των ηλεκτρικών οχημάτων στις αρχές της δεκαετίας του **1970**, καθώς οι τιμές της βενζίνης αυξήθηκαν δραματικά λόγω της **ενεργειακής κρίσης**.
- ▶ Το **αραβικό εμπάργκο πετρελαίου του 1973** αύξησε τη ζήτηση για εναλλακτικές πηγές ενέργειας, γεγονός που οδήγησε σε **τεράστιο ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα**.
- ▶ Έγινε ιδιαίτερα επιθυμητό οι ΗΠΑ να γίνουν λιγότερο εξαρτημένες από το εισαγόμενο.
- ▶ Το **1975, 352 ηλεκτρικά φορτηγά** παραδόθηκαν στις **ταχυδρομικές υπηρεσίες των ΗΠΑ για δοκιμές**.
- ▶ Το 1976, το Κογκρέσο ψήφισε τον Δημόσιο Νόμο 94-413, τον **Νόμο Έρευνας, Ανάπτυξης και Επίδειξης Ηλεκτρικών και Υβριδικών Οχημάτων του 1976**.
- ▶ Αυτός ο νόμος εξουσιοδοτεί ένα ομοσπονδιακό πρόγραμμα για την προώθηση των τεχνολογιών ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων και για την επίδειξη της εμπορικής σκοπιμότητας των ηλεκτρικών οχημάτων.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Το Υπουργείο Ενέργειας – ΗΠΑ, τυποποίησε την απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων, η οποία συνοψίζεται εδώ:

TABLE 1.1

EV Performance Standardization of 1976

| Category | | Personal Use | Commercial Use |
|--|----------|----------------|----------------|
| Acceleration from 0 to 50 kph | | <15 s | <15 s |
| Gradability at 25 kph | | 10% | 10% |
| Gradability at 20 kph | | 20% | 20% |
| Forward speed for 5 min | | 80 kph | 70 kph |
| Range | Electric | 50km, C cycle | 50km, B cycle |
| | Hybrid | 200km, C cycle | 200km, B cycle |
| Nonelectrical energy consumption in hybrid vehicles (consumption of nonelectrical energy must be less than 75% of the total energy consumed) | | <1.3 MJ/km | <9.8 MJ/km |
| Recharge time from 80% discharge | | <10h | <10h |

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Η μελέτη περίπτωσης ενός ηλεκτρικού οχήματος της GM της δεκαετίας του 1970 έχει ως εξής:
- ▶ Σύστημα και χαρακτηριστικά:
 - ▶ Κινητήρας – Ξεχωριστά διεγερμένος συνεχές ρεύμα, 34 HP, 2.400 στροφές/λεπτό
 - ▶ Μπαταρία – Ni-Zn, 120 V, 735 λίβρες
 - ▶ Βοηθητική μπαταρία – Ni-Zn, 14 V
 - ▶ Κίνηση κινητήρα – συνεχούς ρεύματος με σπλισμό που χρησιμοποιεί SCR (Silicon Controlled Rectifier) - συνεχούς ρεύματος πεδίου που χρησιμοποιεί BJT (Bipolar Junction Transistor).
 - ▶ Μέγιστη ταχύτητα: 60 μίλια/ώρα
 - ▶ Εμβέλεια – 60–80 μίλια
 - ▶ Επιτάχυνση – 0–55 μίλια/ώρα σε 27 δευτερόλεπτα.
- ▶ Το όχημα χρησιμοποίησε ένα τροποποιημένο πλαίσιο και αμάξωμα Chevy Chevette. Αυτό το EV χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως **πλατφόρμα δοκιμών για μπαταρίες Ni-Zn.**
- ▶ Πάνω από **35.500 μίλια δοκιμών** στο δρόμο απέδειξαν ότι αυτό το EV είναι επαρκώς κατάλληλο για χρήση σε δρόμους.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Οι δεκαετίες του **1980 και του 1990** σημαδεύτηκαν από τεράστιες εξελίξεις στους ημιαγωγούς υψηλής ισχύος και συχνότητας, μαζί με την επανάσταση των μικροεπεξεργαστών, οι οποίες οδήγησαν σε βελτιωμένο σχεδιασμό μετατροπών ισχύος για την αποτελεσματική κίνηση των ηλεκτρικών κινητήρων.
- ▶ Η περίοδος αυτή συνέβαλε επίσης στην **ανάπτυξη μαγνητικών ρουλεμάν** που χρησιμοποιούνται σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σφονδύλων, αν και αυτά δεν χρησιμοποιούνται στην κυρίως ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων.
- ▶ Τις δεκαετίες 2000 και 2010, η νομοθεσία των ΗΠΑ ώθησαν την υπόθεση των **μηδενικών ηλεκτρικών οχημάτων (ZEV)**.
- ▶ Η νομοθεσία που ψηφίστηκε από το Air Resources Board της Καλιφόρνια το 1990 ανέφερε ότι μέχρι το 1998, το 2% των οχημάτων θα έπρεπε να είναι ZEV για κάθε αυτοκινητοβιομηχανία που πωλούσε περισσότερα από 35.000 οχήματα.
- ▶ Το ποσοστό επρόκειτο να αυξηθεί σε 5% μέχρι το 2001 και σε 10% μέχρι το 2003.
- ▶ Η νομοθεσία έδωσε **τεράστια ώθηση** στην ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων από τους μεγάλους κατασκευαστές αυτοκινήτων.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Η νομοθεσία χαλάρωσε κάπως αργότερα λόγω πρακτικών περιορισμών και της **αδυναμίας των κατασκευαστών να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του 1998 και του 2001**.
- ▶ Η εντολή χαλάρωσε περαιτέρω ώστε το 4% όλων των πωλούμενων οχημάτων να είναι μηδενικής ισχύος (ZEV) έως το 2003 και ένα επιπλέον 6% των πωλήσεων να αποτελείται από ZEV και μερικά ZEV, κάτι που θα απαιτούσε από την General Motors να πουλήσει περίπου 14.000 ηλεκτρικά οχήματα στην Καλιφόρνια.
- ▶ Κινητοποιημένοι από την ανησυχία για τη ρύπανση και την πιθανή ενεργειακή κρίση, οι κυβερνητικές υπηρεσίες, τα ομοσπονδιακά εργαστήρια και οι μεγάλοι κατασκευαστές αυτοκινήτων ξεκίνησαν μια σειρά από πρωτοβουλίες για να προωθήσουν τα ZEV.
- ▶ Η συνεργασία για τα οχήματα επόμενης γενιάς (PNGV) είναι μια τέτοια πρωτοβουλία που ιδρύθηκε το 1993, η οποία είναι μια συνεργασία ομοσπονδιακών εργαστηρίων και αυτοκινητοβιομηχανιών για την προώθηση και ανάπτυξη ηλεκτρικών και HEV οχημάτων.
- ▶ Μια μεταγενέστερη πρωτοβουλία του Υπουργείου Ενέργειας και των αυτοκινητοβιομηχανιών είναι η πρωτοβουλία Freedom CAR.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Οι τάσεις στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) τα τελευταία χρόνια μπορούν να αποδοθούν στα ακόλουθα:
- ▶ Υψηλό επίπεδο δραστηριότητας στους μεγάλους κατασκευαστές αυτοκινήτων.
- ▶ Νέοι ανεξάρτητοι κατασκευαστές φέρνουν δυναμισμό.
- ▶ Τα νέα πρωτότυπα είναι ακόμα καλύτερα.
- ▶ Υψηλά επίπεδα δραστηριότητας στο εξωτερικό.
- ▶ Υψηλά επίπεδα δραστηριότητας υβριδικών οχημάτων.
- ▶ Άνθηση στις μετατροπές ICEV σε ηλεκτρικά οχήματα από μεμονωμένες ή μικρές εταιρείες.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Case Study: **GM Impact 3** (Ολοκληρώθηκε το 1993)
 - ▶ Βασισμένο στο Impact του 1990 που παρουσιάστηκε στην έκθεση αυτοκινήτου του Λος Άντζελες.
 - ▶ Διθέσιο, δίθυρο κουπέ, νόμιμο για κυκλοφορία στο δρόμο και ασφαλές.
 - ▶ Δώδεκα κατασκευάστηκαν αρχικά για δοκιμές, 50 κατασκευάστηκαν μέχρι το 1995 για να αξιολογηθούν από 1.000 πιθανούς πελάτες.
- ▶ Σύστημα και χαρακτηριστικά:
 - ▶ Κινητήρας – Ένας τριφασικός επαγωγικός κινητήρας, 137 HP, 12.000 στροφές/λεπτό
 - ▶ Συστοιχία μπαταριών – Μόλυβδος-οξέος (26), μπαταρίες 12 V συνδεδεμένες σε σειρά (312 V), 869 λίβρες.
 - ▶ Κίνηση κινητήρα – Μετατροπέας DC-σε-AC χρησιμοποιώντας IGBT.
 - ▶ Μέγιστη ταχύτητα – 75 μίλια/ώρα
 - ▶ Εμβέλεια – 90 μίλια στον αυτοκινητόδρομο.
 - ▶ Επιτάχυνση – 0–60 μίλια σε 8,5 s.
 - ▶ Βάρος οχήματος – 2.900 λίβρες.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

▶ Saturn EV1

- ▶ Commercially available EV made by GM in 1995.
- ▶ Leased in California and Arizona for a total cost of about \$30,000.

▶ System and characteristics:

- ▶ Motor – One, three-phase induction motor
- ▶ Battery-pack – Lead-acid batteries
- ▶ Motor Drive – DC-to-AC inverter using IGBTs.
- ▶ Top Speed – 75 mi/h
- ▶ Range – 90 miles in highway, 70 miles in city.
- ▶ Acceleration – 0–60 miles in 8.5 s.

▶ Power consumption:

- ▶ 30 kWh/100 miles in city, 25 kWh/100 miles in highway.

Χρησιμοποιήθηκε επίσης ως πλατφόρμα δοκιμών για τη μαζική παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

Πιο πρόσφατα EVs & HEVs

- ▶ Οι κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων τη δεκαετία του 1990 αντιμετώπισαν μια δύσκολη πρόκληση, καθώς οι σημαντικές προσπάθειές τους για έρευνα και ανάπτυξη σε τεχνολογίες μηδενικών ηλεκτρικών οχημάτων (ZEV) **παρεμποδίστηκαν από ακατάλληλες τεχνολογίες μπαταριών.**
- ▶ Ορισμένες αυτοκινητοβιομηχανίες άρχισαν να αναπτύσσουν **υβριδικά οχήματα για να ξεπεράσουν το πρόβλημα της μπαταρίας** και της αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία.
- ▶ Οι ιαπωνικές αυτοκινητοβιομηχανίες ηγήθηκαν αυτής της τάσης, με την Toyota και την Honda να εισέρχονται στην αγορά από τα τέλη της δεκαετίας του **1990 με τα υβριδικά μοντέλα Prius και Insight.**
- ▶ Το **Honda Insight** που χρησιμοποιεί ένα ήπιο παράλληλο υβριδικό σύστημα και το **Toyota Prius** με μια **σειριακή-παράλληλη υβριδική αρχιτεκτονική** αντιπροσωπεύουν τις δύο **σύγχρονες σχολές σκέψης σχετικά με τα υβριδικά επιβατικά οχήματα.**
- ▶ Στο Insight το σύστημα μετάδοσης κίνησης που περιλαμβάνει έναν μόνο ηλεκτρικό κινητήρα και μια μπαταρία υψηλής τάσης. Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ένας ενσωματωμένος εκκινήτης/γεννήτρια που χρησιμεύει ως κινητήρας εκκίνησης, γεννήτρια και κινητήρας υποβοήθησης έλξης.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

Πιο πρόσφατα EVs & HEVs

- ▶ Τα υβριδικά συστήματα στο Honda Civic Hybrid είναι παρόμοια με αυτά του Insight.
- ▶ Το όχημα έχει υψηλή εναλλαξιμότητα εξαρτημάτων με το συμβατικό του μοντέλο και προσφέρει τα οφέλη του υβριδισμού χωρίς να εισάγει υψηλό κόστος.-
- ▶ Τα συστήματα μετάδοσης κίνησης στο Ford Escape Hybrid και στα υβριδικά GM Two-Mode είναι παρόμοια με αυτά του **Prius** με σχετικά πολύπλοκα και ακριβά συστήματα κατανομής ισχύος.
- ▶ Τα συστήματα διαθέτουν **έναν κινητήρα IC** και **δύο ηλεκτρικούς κινητήρες**.
- ▶ Αυτά τα συστήματα αξιοποιούν στο έπακρο ένα υβριδικό σύστημα και, ως εκ τούτου, προσφέρουν τη μεγαλύτερη αύξηση στην απόδοση καυσίμου, αλλά είναι επίσης πιο ακριβά στην παραγωγή από ένα ήπιο υβριδικό.
- ▶ Τα HEV χρησιμοποιούν τόσο ηλεκτρικό κινητήρα όσο και κινητήρα IC, αλλά όλη η ενέργεια πρόωσης προέρχεται τελικά από τη βενζίνη.
- ▶ Προς το παρόν, πολλά μοντέλα υβριδικών οχημάτων παραγωγής είναι διαθέσιμα από σχεδόν όλες τις μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες σε όλο τον κόσμο.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

Πιο πρόσφατα EVs & HEVs

- Το **2020**, διατίθεντο 76 διαφορετικά μοντέλα HEV από 13 διαφορετικούς κατασκευαστές.
- Έξι από αυτά τα HEV από έξι διαφορετικούς κατασκευαστές με την καλύτερη οικονομία καυσίμου δίνονται στον παρακάτω Πίνακα [7].

TABLE 1.2
Model Year 2020 Hybrid Electric Vehicle Examples

| Make and Model | Vehicle Type | Engine Size/Cylinders | Fuel Economy (miles/g) (City/Combined/Highway) |
|---------------------------|--------------|-----------------------|---|
| Toyota Prius Eco | Sedan/Wagon | 1.8L, I4 | 58/56/53 |
| Hyundai Ioniq Blue | Sedan/Wagon | 1.6L, I4 | 57/58/59 |
| Honda Insight | Sedan/Wagon | 1.5L, I4 | 55/53/49 |
| Kia Niro FE | Sedan/Wagon | 1.6L, I4 | 52/50/49 |
| Hyundai Sonata Blue | Sedan/Wagon | 2.0L, I4 | 51/52/54 |
| Toyota Camry Hybrid LE | Sedan/Wagon | 25L, I4 | 51/52/53 |

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

Πιο πρόσφατα EVs & HEVs

- ▶ Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα έχουν διεισδύσει στην αγορά με εξαιρετικό ρυθμό την πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα, αλλά τα ηλεκτρικά δεν έμειναν πολύ πίσω.
- ▶ Τα ηλεκτρικά οχήματα (BEV) άρχισαν να επιστρέφουν στα τέλη της δεκαετίας 2010 λόγω της εξειδικευμένης ζήτησης της αγοράς, των εξελίξεων στην τεχνολογία μπαταριών και των πρωτοποριακών προσπαθειών ορισμένων εταιρειών.
- ▶ Το 2008, η Tesla Motors παρέδωσε το Tesla Roadster, το οποίο είναι το πρώτο όχημα παραγωγής που χρησιμοποιεί τεχνολογία μπαταριών ιόντων λιθίου και το πρώτο BEV που διένυσε περισσότερα από 200 μίλια με μία μόνο φόρτιση.
- ▶ Το Tesla Roadster σχεδιάστηκε για υψηλές επιδόσεις με επιτάχυνση 0–60 mph σε 3,9 s.
- ▶ Το όχημα κατασκευάστηκε μεταξύ 2008 και 2012 και περίπου 2.450 οχήματα πουλήθηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου σε περισσότερες από 30 χώρες.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

Πιο πρόσφατα EVs & HEVs

- ▶ Τα εξαρτήματα και οι προδιαγραφές του οχήματος έχουν ως εξής:
- ▶ • Μπαταρία: 375 V, χωρητικότητας 53 kWh από 6.831 κυψέλες ιόντων λιθίου.
- ▶ • Ονομαστική αυτονομία: 344 μίλια/φόρτιση.
- ▶ • Βάρος οχήματος: 1.238 kg · μάζα μπαταρίας 450 kg.
- ▶ • Ηλεκτροκινητήρας: 215 kW, μέγιστη ροπή 400 N m τριφασικός επαγωγικός κινητήρας AC · μέγιστη ταχύτητα 14.000 σ.α.λ. · βασική ταχύτητα 5.133 σ.α.λ.
- ▶ • Σχέση μετάδοσης κίνησης: 8,28 προς 1 σε κίνηση προς τα εμπρός και 3,12 προς 1 σε κίνηση προς τα πίσω.
- ▶ Tesla Roadster όπως επέστρεψε τη δεκαετία του 2020 με βελτιωμένη απόδοση 0–60 mph σε 1,9 s και μέγιστη ταχύτητα 250 mph.
- ▶ Άλλα ενδεικτικά των δυνατοτήτων των BEVs παραδείγματα: **RIMAC - BYD**

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Η παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων (EV) άλλαξε σημαντικά την τελευταία δεκαετία και σχεδόν όλοι οι μεγάλοι κατασκευαστές αυτοκινήτων, συμπεριλαμβανομένων τόσο των παραδοσιακών όσο και των αναδυόμενων κατασκευαστών πρωτότυπου εξοπλισμού (OEM - Original Equipment Manufacturer), έχουν οχήματα προς πώληση ή μίσθωση στο ευρύ κοινό.
- ▶ Η διαθέσιμη επιλογή είναι μεγάλη με ποικίλες επιδόσεις και κόστος, καθώς οι κατασκευαστές οχημάτων έρχονται με τις παραλλαγές τους για να κερδίσουν το μερίδιό τους σε αυτήν την αναδυόμενη αγορά. Το **2020, υπήρχαν 27** διαφορετικά μοντέλα BEV διαθέσιμα από **11** διαφορετικούς κατασκευαστές.
- ▶ Το πιο δημοφιλές EV στις ΗΠΑ όσον αφορά τον αριθμό των πωλήσεων είναι το Tesla Model 3, το οποίο πούλησε περισσότερα από 300.000 οχήματα το 2019. Το Beijing Senova D50 από την BAIC (Beijing Auto Works) και το Nissan Leaf ήρθαν στη δεύτερη και τρίτη θέση με 111.147 και 69.870 οχήματα, αντίστοιχα, που πωλήθηκαν το 2019.
- ▶ Για το σύστημα μετάδοσης κίνησης, οι περισσότεροι κατασκευαστές EV χρησιμοποιούν σύγχρονους κινητήρες PM.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Ο επαγωγικός κινητήρας AC είναι ο άλλος τύπος μηχανής που χρησιμοποιείται από ορισμένους κατασκευαστές οχημάτων, οι οποίοι βλέπουν την αξία της χρήσης αυτών των μηχανών λόγω του κόστους των μηχανών PM (Μόνιμου Μαγνήτη).
- ▶ Τα πέντε κορυφαία BEV με την υψηλότερη πλήρως ηλεκτρική αυτονομία από πέντε διαφορετικούς κατασκευαστές από τα οχήματα του 2020 παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα[7]. ΝΑ ΒΑΛΩ ΑΛΛΑ

TABLE 1.3

Model Year 2020 Battery Electric Vehicle Examples

| Make and Model | Vehicle Type | Powertrain: Electric Motor/Battery-Pack | Fuel Economy (miles/gge) (City/Combined/Highway) | All Electric Range (miles) |
|--------------------------|---------------------|--|---|-----------------------------------|
| Tesla Model 3 long range | Sedan/Wagon | 211 kW electric motor; 230 Ah battery | 136/130/123 | 373 |
| Chevrolet Bolt EV | Sedan/Wagon | 150 kW electric motor; 188 Ah battery | 127/118/108 | 259 |
| Hyundai Kona Electric | SUV | 150 kW electric motor; 180 Ah battery | 132/120/108 | 258 |
| Kia Soul | Sedan/Wagon | 201 kW electric motor; 180 Ah battery | 127/114/101 | 243 |
| Jaguar I-PACE | SUV | 201 kW electric motor; 223 Ah battery | 80/76/72 | 234 |

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Ενώ τα BEV έκαναν την είσοδό τους στην αγορά, λίγοι κατασκευαστές αυτοκινήτων άρχισαν να αναπτύσσουν και να προσφέρουν τα PHEV.
- ▶ Το πιο αξιολογημένο μεταξύ αυτών είναι το Chevy Volt της General, το οποίο ήταν διαθέσιμο για αρκετά χρόνια ξεκινώντας από το 2010.
- ▶ Το Chevy Volt είναι ένα PHEV40 με αυτονομία 64 χιλιόμετρα.
- ▶ Η Toyota άρχισε επίσης να προσφέρει μια έκδοση PHEV του πιο επιτυχημένου υβριδικού Toyota Prius αμέσως μετά την κυκλοφορία του Chevy Volt.
- ▶ Για το έτος μοντέλου 2020, υπάρχουν 35 τύποι PHEV που προσφέρονται από 17 διαφορετικούς κατασκευαστές.
- ▶ Επτά PHEV από το 2020 με την υψηλότερη πλήρως ηλεκτρική αυτονομία παρατίθενται στον επόμενο Πίνακα [7].

NA ΒΑΛΩ ΑΛΛΟ

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

TABLE 1.4
Model Year 2020 Plug-in Hybrid Electric Vehicle Examples

| Make and Model | Vehicle Type | Powertrain: Electric Motor/Engine Size | Fuel Economy (miles/gge), Gasoline; (City/Combined/Highway) | Fuel Economy, Combined (miles/gge) | All Electric Range (miles) |
|----------------------------|-------------------------------------|--|---|------------------------------------|----------------------------|
| Karma Revero GT | Sedan/Wagon; series hybrid | 175 kW electric motor; 1.5 L, I3 | 27/26/25 | N/A | 61 |
| Honda Clarity PHEV | Sedan/Wagon; parallel hybrid | 135 kW electric motor; 1.5 L, I4 | 44/42/40 | 110 | 48 |
| Chrysler Pacifica Hybrid | Van; parallel hybrid | 89 kW electric motor; 3.6 L, V6 | 29/30/30 | N/A | 32 |
| Hyundai Ioniq Plug-in | Sedan/Wagon; parallel hybrid | 32 kW electric motor; 1.6 L, I4 | 53/52/52 | 119 | 29 |
| Kia Optima Plug-in | Sedan/Wagon; parallel hybrid | 50 kW electric motor; 2.0 L, I4 | 39/41/40 | 101 | 28 |
| Ford Fusion Energi Plug-in | Sedan/Wagon; parallel hybrid | 68 kW electric motor; 2.0 L, I4 | 43/42/40 | 103 | 26 |
| Toyota Prius Prime | Sedan/Wagon; series-parallel hybrid | 23 & 53 kW electric motor; 1.8 L, I4 | 55/53/54 | 133 | 25 |

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Τα **FCEV** αποτελούν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα BEV, λειτουργώντας ως ZEV χωρίς το πρόβλημα της αυτονομίας, υπό την προϋπόθεση ότι μπορεί να δημιουργηθεί μια υποδομή διανομής υδρογόνου.
- ▶ Η Daimler-Chrysler κατασκεύασε ένα πρωτότυπο ηλεκτρικό βαν που ονομάζεται NECAR1 το 1994 χρησιμοποιώντας μια κυψέλη καυσίμου Ballard με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (**PEM** - Polymer Electrolyte Membrane) 50 kW.
- ▶ Η Toyota κατασκεύασε ένα πρωτότυπο όχημα κυψελών καυσίμου το 1994 βασισμένο στο RAV4 SUV χρησιμοποιώντας μια κυψέλη καυσίμου **PEM** 20 kW.
- ▶ NECAR1 ήταν 81 μίλια αυτονομία, Toyota που ονομάζεται FCHV, ήταν 155 μίλια.
- ▶ Τον Δεκέμβριο του 2002, η πόλη του Λος Άντζελες άρχισε να μισθώνει ένα από τα πέντε οχήματα **Honda FCX**, το οποίο είναι το πρώτο όχημα κυψελών καυσίμου που έχει εγκριθεί για εμπορική χρήση με μια κυψέλη καυσίμου PEM 85 kW και αυτονομία 185 μιλίων.
- ▶ Μεταξύ 2008 και 2014, η Honda κατασκεύασε το **Honda FCX Clarity**, ένα υβριδικό σύστημα κυψελών καυσίμου/μπαταρίας που χρησιμοποιεί μια κυψέλη καυσίμου PEM 100 kW και μια μπαταρία ιόντων λιθίου 288 V.

ELECTRIC AND HYBRID VEHICLE HISTORY

- ▶ Το όχημα τροφοδοτείται από έναν σύγχρονο κινητήρα PM 100 kW, μέγιστης ονομαστικής ροπής 255 N m για την πρόωση. Το όχημα έχει κατανάλωση καυσίμου 72 μίλια/kg, η οποία ισοδυναμεί με 74 μίλια/μέγιστο όριο κατανάλωσης (το «μέγιστο όριο κατανάλωσης» σημαίνει ισοδύναμο γαλονιού βενζίνης)
- ▶ Η Honda επανέφερε το όχημα στην αγορά το 2017 ως Honda Clarity Fuel Cell, αλλά με επέκταση της μάρκας ώστε να συμπεριλάβει τα Honda Clarity Electric και Honda Clarity Plug-in Hybrid.
- ▶ Το **2020**, διατίθεντο τέσσερα FCEV, παρακάτω Πίνακας [7].

TABLE 1.5

Model Year 2020 Fuel Cell Electric Vehicles

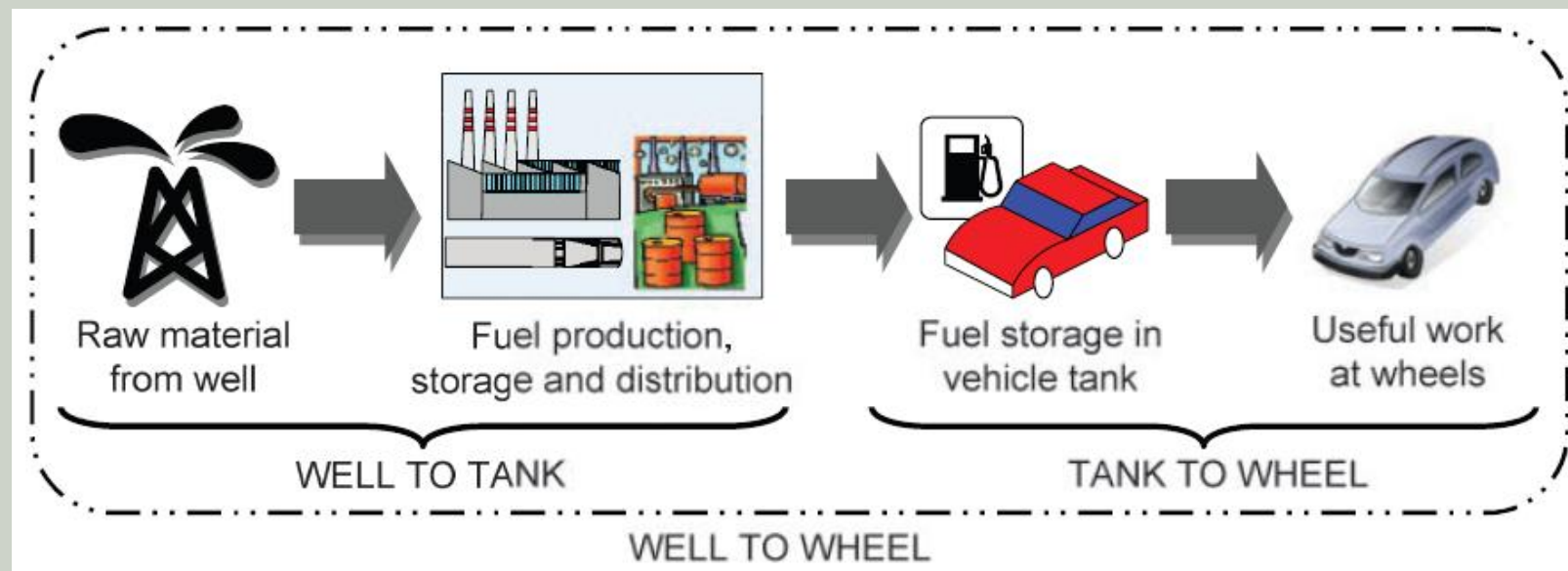
| Make and Model | Vehicle Type | Powertrain: Electric Motor/Battery-Pack | Fuel Economy (miles/gge) (City/Combined/Highway) |
|--------------------|--------------|---|--|
| Honda Clarity | Sedan/Wagon | 130kW electric motor; 346V Li-ion battery | 68/68/67 |
| Hyundai Nexø | SUV | 120kW electric motor; 240V Li-ion battery | 59/57/54 |
| Hyundai Nexø Blues | SUV | 120kW electric motor; 240V Li-ion battery | 65/61/58 |
| Toyota Mirai | Sedan/Wagon | 113kW electric motor; 245V NiMH battery | 67/67/67 |

WELL TO WHEEL ANALYSIS

- ▶ Η απόδοση από την **πηγή** στον **τροχό (WTW)** είναι το μέτρο της συνολικής απόδοσης ενός οχήματος ξεκινώντας από την **εξόρυξη ακατέργαστου καυσίμου στους τροχούς**, συμπεριλαμβανομένης της απόδοσης της μετατροπής ενέργειας, της μεταφοράς και της παράδοσης σε κάθε στάδιο.
- ▶ Το καύσιμο μπορεί να εξαχθεί από τη γη ή τη θάλασσα ή να προέρχεται από ανανεώσιμη πηγή,
- ▶ η μεταφορά μπορεί να γίνει μέσω της ξηράς ή της θάλασσας ή ηλεκτρικά μέσω των γραμμών μεταφοράς ·
- ▶ και η μετατροπή ενέργειας μπορεί να γίνει μέσω θερμικών κινητήρων, ηλεκτρικών μηχανών ή ηλεκτροχημικών συσκευών.
- ▶ Η διαδρομή μεταφοράς και μετατροπής ενέργειας μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα, «από πηγή στη δεξαμενή (WTT)»
- ▶ και «από τη δεξαμενή στον τροχό (TTW)».
- ▶ Τα καύσιμα για μεταφορά παράγονται από την ενεργειακή πρώτη ύλη στα πηγάδια μέσω διαφορετικών οδών παραγωγής καυσίμων.
- ▶ Το καύσιμο που αποθηκεύεται σε ένα όχημα υποβάλλεται σε επεξεργασία για να παρέχει ισχύ πρόωσης στους τροχούς.

WELL TO WHEEL ANALYSIS

- ▶ Το τμήμα WTT περιλαμβάνει στάδια που σχετίζονται με την πρώτη ύλη (ανάκτηση, επεξεργασία, μεταφορά και αποθήκευση) και στάδια που σχετίζονται με το καύσιμο (παραγωγή, μεταφορά, αποθήκευση και διανομή).
- ▶ Το τμήμα TTW περιλαμβάνει τα στάδια μετατροπής και παράδοσης ενέργειας από τη δεξαμενή στους τροχούς ενός οχήματος.
- ▶ Αυτή η απόδοση WTW είναι κατά συνέπεια το γινόμενο των αποδόσεων WTT και TTW.
- ▶ Το **Σχήμα** δείχνει τις διαδικασίες που εμπλέκονται στην αξιολόγηση της απόδοσης WTW.



WELL TO WHEEL ANALYSIS

- ▶ Η απόδοση του WTW είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση του συνολικού αντίκτυπου, της μακροπρόθεσμης σκοπιμότητας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εναλλακτικών οχημάτων, όπως τα EVs, HEVs, τα PHEV και τα FCEV.
- ▶ Οι κατάλληλες ενεργειακές διαδρομές μπορούν να εντοπιστούν και να επιλεγούν χρησιμοποιώντας την ανάλυση WTW για τη διαμόρφωση ενεργειακών στρατηγικών και ενεργειακών πολιτικών.
- ▶ Η ανάλυση WTW παρέχει επίσης ένα επίπεδο έδαφος για τη σύγκριση των εναλλακτικών οχημάτων με τα συμβατικά ICEV.
- ▶ Για αυτές τις αναλύσεις πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι θεμελιώδεις νόμοι της φυσικής και της χημείας με μια κοινή βάση για παραμέτρους εισόδου, αριθμητικές διαδικασίες, τεχνολογικά πρότυπα και συμπεριφορά χρήστη [8].
- ▶ Η απόδοση του TTW για τα συμβατικά ICEV είναι εγγενώς χαμηλή (περίπου 25%), λόγω της χαμηλής απόδοσης του βενζινοκινητήρα ή του ντίζελ και των απωλειών στα εξαρτήματα του συστήματος μετάδοσης κίνησης.
- ▶ Στην περίπτωση των HEV, ο κινητήρας μειώνεται σε μέγεθος και ελέγχεται ώστε να λειτουργεί σε περιοχές υψηλότερης απόδοσης τις περισσότερες φορές, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου.

WELL TO WHEEL ANALYSIS

- ▶ Η απόδοση TTW των HEV είναι υψηλότερη από αυτή ενός ICEV και εκτιμάται σε περίπου 50% [9].
- ▶ Η απόδοση ενός ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης κίνησης είναι περίπου 80%–90%.
- ▶ Η απόδοση TTW στα BEV είναι υψηλή λόγω των μπαταριών μεγάλης χωρητικότητας και του τρόπου λειτουργίας μόνο με ηλεκτρική ενέργεια.
- ▶ Ωστόσο, όταν οι αποδόσεις WTT συμπεριλαμβάνονται στις συγκρίσεις, οι συνολικές αποδόσεις WTW δεν διαφέρουν σημαντικά για κανέναν τύπο οχήματος.
- ▶ Οι αποδόσεις WTW των HEV και των EV είναι παρόμοιες με τις ICEV λόγω των χαμηλότερων αποδόσεων WTT.
- ▶ Η απόδοση WTT για το PHEV εξαρτάται από τις αναλογίες της ενέργειας του δικτύου και της ενέργειας βενζίνης που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου οδήγησης.
- ▶ Οι αποδόσεις WTW και οι επιπτώσεις στις εκπομπές μπορούν να αξιολογηθούν για σύγκριση χρησιμοποιώντας το μοντέλο GREET που αναπτύχθηκε στο Εθνικό Εργαστήριο Argonne [10].

WELL TO WHEEL ANALYSIS

- ▶ Το μοντέλο GREET είναι ουσιαστικά ένα πολυδιάστατο μοντέλο υπολογιστικού φύλλου διαθέσιμο για δημόσια χρήση για την ανάλυση των κύκλων καυσίμου από την πηγή έως τον τροχό ενός οχήματος.
- ▶ Το GREET είναι το ακρωνύμιο για τα Αέρια του Θερμοκηπίου, τις Ρυθμιζόμενες Εκπομπές και τη Χρήση Ενέργειας στις Μεταφορές.
- ▶ Το μοντέλο έχει περισσότερες από 100 παραγωγικές διαδικασίες καυσίμων και περισσότερα από 70 συστήματα οχημάτων.

WELL TO WHEEL ANALYSIS

- ▶ Ο παρακάτω Πίνακας δείχνει τις αποδόσεις και τις εκπομπές WTW για συμβατικά ICEV, BEV και PHEV που αναλύθηκαν για ένα τυπικό sedan μεσαίου μεγέθους χρησιμοποιώντας το μοντέλο GREET [9,11].

TABLE 1.6

Energy Consumption, Efficiency and Emissions for Passenger Cars Using GREET

| | SI ICEV (Baseline CG and RFG) | Plug-in SI HEV (Gasoline and Electricity) | BEV (Electricity) |
|---|----------------------------------|--|-------------------|
| Total energy (Wh) | 257,551 | 526,261 | 1,632,131 |
| WTT efficiency | 79.5% | 66.5% | 38.0% |
| TTW efficiency | 21.9% | 23% | 48.51% |
| WTW efficiency | 17.41% | 15.29% | 18.43% |
| CO ₂ (g/million BTU) | 17,495 | 57,024 | 219,704 |
| CH ₄ (g/million BTU) | 109.120 | 145.658 | 296.031 |
| N ₂ O (g/million BTU) | 1.152 | 1.535 | 3.111 |
| VOC: total (g/million BTU) | 27.077 | 25.630 | 19.679 |
| CO: total (g/million BTU) | 15.074 | 23.553 | 58.448 |
| NO _x : total (g/million BTU) | 50.052 | 87.100 | 239.571 |

WELL TO WHEEL ANALYSIS

- ▶ Το CG και το RFG αντιπροσωπεύουν συμβατικά βενζινοκίνητα και αναδιαμορφωμένα βενζινοκίνητα οχήματα.
- ▶ Η απόδοση WTT βρέθηκε να είναι 66,5% για τα PHEV (υβριδικά συνδεδεμένα στο δίκτυο) χρησιμοποιώντας 33% ενέργεια δικτύου και 67% βενζίνη για λειτουργία.
- ▶ Από την άλλη πλευρά, η απόδοση WTT για συμβατικά και κανονικά υβριδικά οχήματα είναι 79,5%.
- ▶ Ο λόγος για τη χαμηλή απόδοση των PHEV οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως από συμβατικές πηγές ενέργειας που έχουν πολύ χαμηλή απόδοση.

TABLE 1.6


Energy Consumption, Efficiency and Emissions for Passenger Cars Using GREET

| | SI ICEV (Baseline CG and RFG) | Plug-in SI HEV (Gasoline and Electricity) | BEV (Electricity) |
|---|----------------------------------|--|-------------------|
| Total energy (Wh) | 257,551 | 526,261 | 1,632,131 |
| WTT efficiency | 79.5% | 66.5% | 38.0% |
| TTW efficiency | 21.9% | 23% | 48.51% |
| WTW efficiency | 17.41% | 15.29% | 18.43% |
| CO ₂ (g/million BTU) | 17,495 | 57,024 | 219,704 |
| CH ₄ (g/million BTU) | 109.120 | 145.658 | 296.031 |
| N ₂ O (g/million BTU) | 1.152 | 1.535 | 3.111 |
| VOC: total (g/million BTU) | 27.077 | 25.630 | 19.679 |
| CO: total (g/million BTU) | 15.074 | 23.553 | 58.448 |
| NO _x : total (g/million BTU) | 50.052 | 87.100 | 239.571 |


WELL TO WHEEL ANALYSIS

- ▶ Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O, CO, VOC και NO_x) διαπιστώνεται επίσης ότι είναι υψηλότερες στα PHEV από ό,τι στα συμβατικά βενζινοκίνητα οχήματα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 1.6.
- ▶ Η απόδοση TTW για το plug-in υβριδικό δεν διαφέρει σημαντικά από το βασικό όχημα, καθώς η χρήση του κινητήρα εσωτερικής καύσης εξακολουθεί να είναι αρκετά υψηλή.
- ▶ Οι χαμηλές αποδόσεις τόσο στο WTW όσο και στο TTW οδηγούν σε συνολικά χαμηλή απόδοση WTW για τα plug-in υβριδικά.
- ▶ Περισσότερα σχετικά με τον υπολογισμό της απόδοσης παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

ΕΝ/ICEV COMPARISON – 3/11/2025



► Τα σχετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εναλλακτικών οχημάτων έναντι των συμβατικών ICEV μπορούν να εκτιμηθούν καλύτερα από μια σύγκριση των δύο με βάση:

- την απόδοση,
 - τη ρύπανση,
 - το κόστος και
 - την εξάρτηση από το πετρέλαιο.
- 

EV/ICEV COMPARISON - efficiency

- ▶ Για την **αξιολόγηση της απόδοσης διαφορετικών τύπων οχημάτων** σε επίπεδο έδαφος, πρέπει να ληφθεί υπόψη **ολόκληρη η διαδικασία και στα δύο συστήματα**, ξεκινώντας από το **αργό πετρέλαιο** έως την **ισχύ που είναι διαθέσιμη στους τροχούς**, δηλαδή, η ανάλυση πρέπει να διεξάγεται με βάση την απόδοση **WTW**.
- ▶ Η διαδικασία EV **δεν ξεκινά στα οχήματα** αλλά στην **πηγή της ακατέργαστης ισχύος**, της οποίας η απόδοση μετατροπής πρέπει να ληφθεί υπόψη για τον υπολογισμό της συνολικής απόδοσης των EV.
- ▶ Ο **PIN** εισόδου ισχύος σε οποιοδήποτε όχημα προέρχεται τελικά από μια **πρωτογενή πηγή ενέργειας**, ακόμη και πριν αποθηκευτεί σε μια δεξαμενή οχήματος.
- ▶ Η **ισχύς που εξάγεται από ένα κομμάτι άνθρακα** με την καύση του είναι ένα **παράδειγμα πρωτογενούς ισχύος** που λαμβάνεται από μια **πρωτογενή πηγή ενέργειας**.
- ▶ Η ισχύς που είναι **διαθέσιμη σε ένα όχημα από μια δεξαμενή** ή συσκευή αποθήκευσης ενέργειας είναι η εφαρμοζόμενη ισχύς που λαμβάνεται από μια **δευτερογενή πηγή ενέργειας**.
- ▶ Η εφαρμοζόμενη ή δευτερογενής ισχύς λαμβάνεται **έμμεσα** από πρώτες ύλες.

EV/ICEV COMPARISON - efficiency

- ▶ Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από **αργό πετρέλαιο** και παραδίδεται σε ένα **ηλεκτρικό αυτοκίνητο** για φόρτιση της μπαταρίας αποτελεί **παράδειγμα δευτερογενούς ενέργειας**.
- ▶ Η **ακατέργαστη ή πρωτογενής** ενέργεια χαρακτηρίζεται ως **PIN RAW**, ενώ η **δευτερογενής ενέργεια** χαρακτηρίζεται ως **PIN PROCESS**.
- ▶ Παρουσιάζεται εδώ ένα **παράδειγμα σύγκρισης απόδοσης** με βάση τις πλήρεις διαδικασίες **WTW** που εμπλέκονται σε ένα ηλεκτρικό όχημα **(EV)** και **ένα ICEV**.
- ▶ Η πλήρης διαδικασία EV μπορεί να αναλυθεί στα συστατικά της στάδια που περιλαμβάνουν την παραγωγή, τη μετάδοση και τη χρήση ενέργειας, όπως φαίνεται στο **Επόμενο Σχήμα**

EV/ICEV COMPARISON - efficiency

► Η πλήρης διαδικασία ενός ηλεκτρικού οχήματος μπορεί να αναλυθεί στα επιμέρους στάδια που την απαρτίζουν, τα οποία περιλαμβάνουν την παραγωγή, τη μετάδοση και τη χρήση ενέργειας. **Figure 1.8.**

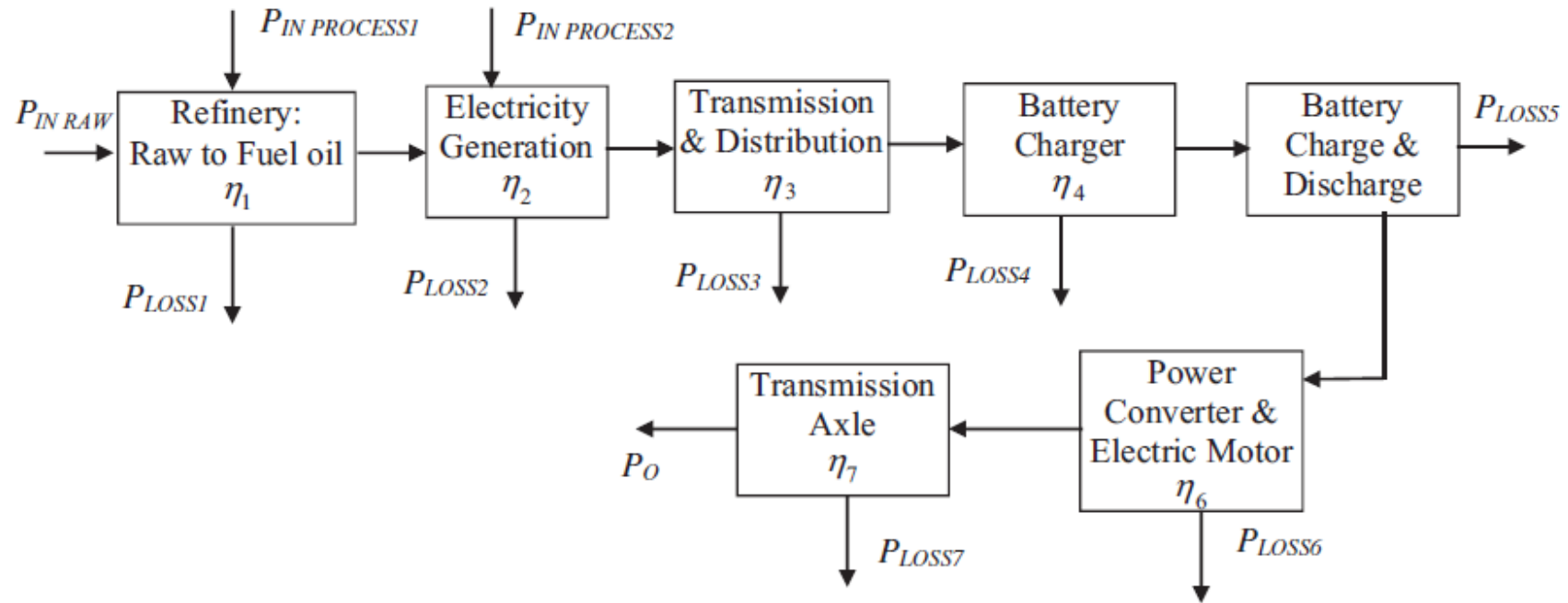


FIGURE 1.8 The complete EV process from crude oil to power at wheels.

EV/ICEV COMPARISON - efficiency

- ▶ Η **κύρια ισχύς** από την πηγή τροφοδοτείται στο σύστημα μόνο στο **πρώτο στάδιο**, αν και η **δευτερεύουσα ισχύς** μπορεί να προστεθεί σε **κάθε στάδιο**.
- ▶ Η **απόδοσή κάθε σταδίου** βασίζεται στη συνολική είσοδο σε αυτό το στάδιο και την έξοδο που παρέχεται στο επόμενο στάδιο. **Αυτή**, πρέπει να υπολογίζεται από τις παραμέτρους ισχύος εισόδου-εξόδου, αν και η απόδοση μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται.
- ▶ Τέλος, η συνολική απόδοση μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας τις αποδόσεις όλων των επιμέρους σταδίων.
- ▶ Η συνολική απόδοση του συστήματος ηλεκτρικού οχήματος που φαίνεται στο **Σχήμα 1.8** είναι:

$$\eta_{EV} = \frac{P_0}{P_{IN}} = \frac{P_0}{P_0 + \sum_{i=1}^7 P_{LOSSi}} = \frac{P_0}{P_6} \frac{P_6}{P_5} \frac{P_5}{P_4} \frac{P_4}{P_3} \frac{P_3}{P_2} \frac{P_2}{P_1} \frac{P_1}{P_{IN}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6 \eta_7$$

EV/ICEV COMPARISON - efficiency

- ▶ Οι λεπτομέρειες της διαδικασίας ICEV απεικονίζονται στο **Σχήμα 1.9**.
- ▶ Η διαδικασία **ξεκινά** με τη **μετατροπή του αργού πετρελαίου σε καύσιμο στο διυλιστήριο** και στη συνέχεια περιλαμβάνει:
- ▶ τη **μεταφορά καυσίμου** από το διυλιστήριο στα **σύστημα διανομής**,
- ▶ τη **μετατροπή ισχύος** στον **κινητήρα εσωτερικής καύσης** του οχήματος και
- ▶ τη **μεταφορά ισχύος** από τον **κινητήρα** στους **τροχούς μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων**.

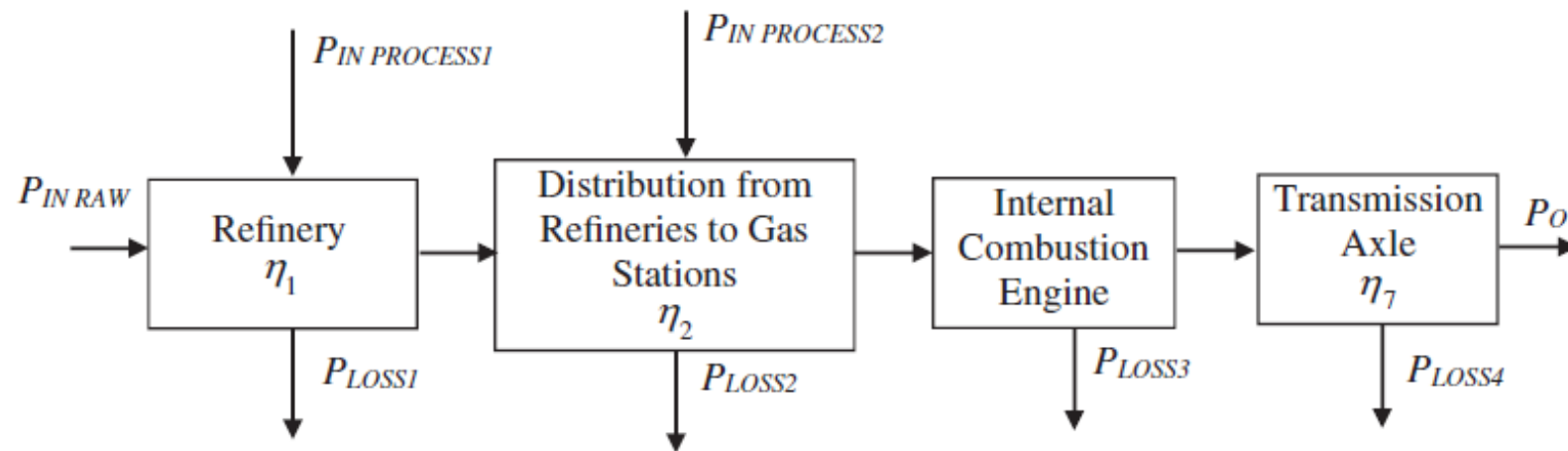


FIGURE 1.9 The complete ICEV process from crude oil to power at the wheels.

EV/ICEV COMPARISON - efficiency

► Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ICEV είναι το γινόμενο της αποτελεσματικότητας των επιμέρους σταδίων που αναφέρονται στο **Figure 1.10**:

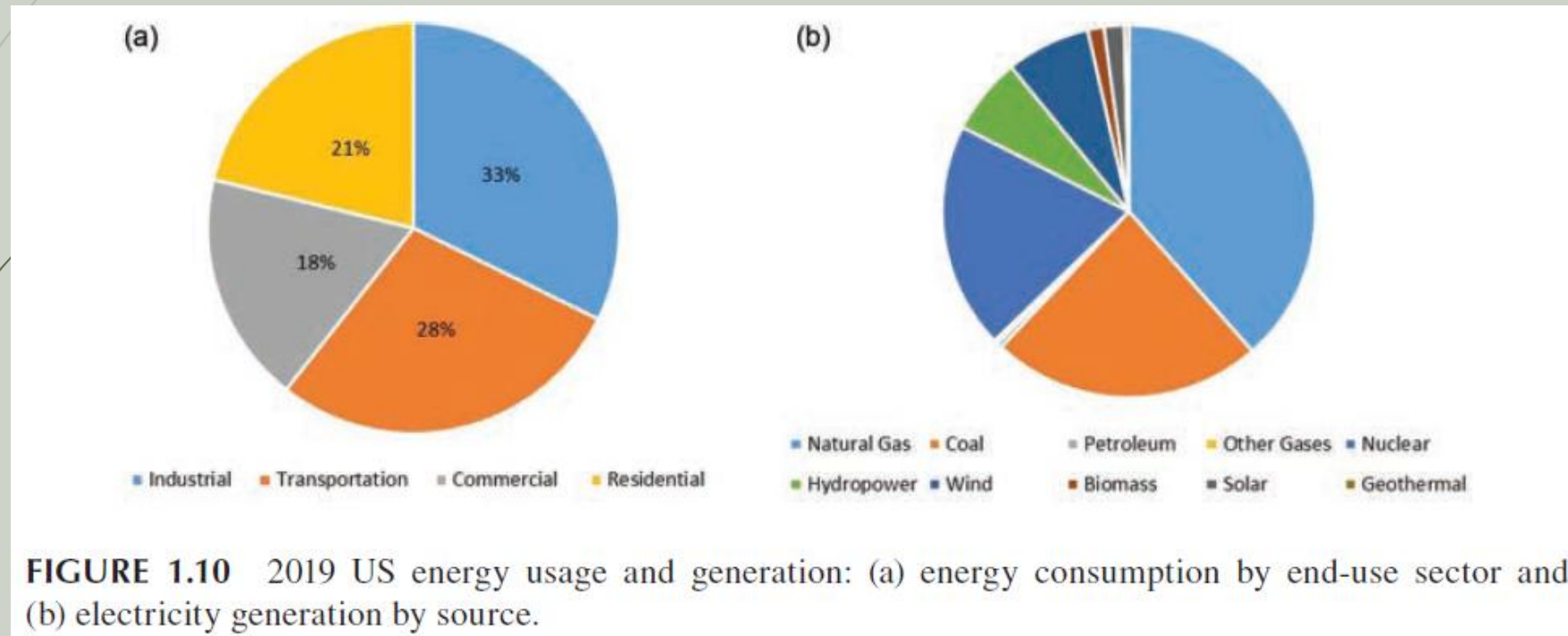


FIGURE 1.10 2019 US energy usage and generation: (a) energy consumption by end-use sector and (b) electricity generation by source.

► Και δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{ICEV} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4$$

EV/ICEV COMPARISON - efficiency

► Ένα δείγμα σύγκρισης απόδοσης των διεργασιών με βάση τα παραπάνω διαγράμματα δίνεται στον Πίνακα 1.7.

TABLE 1.7

Battery Electric and IC Engine Vehicle WTW Efficiencies

| | Battery EV Efficiency (%) | | ICEV Efficiency (%) | |
|-----------------------------|---------------------------|------|---------------------|-----|
| | High | High | Low | Low |
| Refinery (petroleum) | 97 | 90 | 85 | 95 |
| Distribution to fuel tank | | 99 | 95 | |
| Engine | | 22 | 20 | |
| Electricity generation | 40 | | | 33 |
| Transmission to wall outlet | 92 | | | 90 |
| Battery charger | 90 | | | 85 |
| Battery (lead/acid) | 75 | | | 75 |
| Motor/controller | 85 | | | 80 |
| FC fuel processor | | | | |
| PEM fuel cell | | | | |
| Plug-in grid/gasoline ratio | | | | |
| Transmission/axle | 98 | 98 | 95 | 95 |
| Well-to-wheel | 20 | 19 | 15 | 14 |

► Έχουν χρησιμοποιηθεί αντιπροσωπευτικοί αριθμοί για τα στάδια μετατροπής ενέργειας για να σχηματιστεί μια γενική ιδέα σχετικά με την απόδοση των δύο συστημάτων.

► Ο Πίνακας 1.7 δείχνει ότι η συνολική απόδοση ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι συγκρίσιμη με τη συνολική απόδοση του κινητού οχήματος με εσωτερική καύση.

ΕΝ/ICEV COMPARISON - pollution

- ▶ Οι μεταφορές **αντιπροσωπεύουν περίπου το ένα τρίτο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας**, καθιστώντας τες την κύρια αιτία περιβαλλοντικής ρύπανσης μέσω των εκπομπών άνθρακα.
- ▶ Ο τομέας των μεταφορών περιλαμβάνει οχήματα που μεταφέρουν ανθρώπους ή αγαθά, όπως:
 - ▶ αυτοκίνητα,
 - ▶ φορτηγά,
 - ▶ λεωφορεία,
 - ▶ μοτοσικλέτες,
 - ▶ τρένα,
 - ▶ αεροσκάφη,
 - ▶ πλωτά μικρά σκάφη αναψυχής,
 - ▶ φορτηγίδες και
 - ▶ πλοία.

EV/ICEV COMPARISON - pollution

- ▶ Από το κυκλικό διάγραμμα στο Σχήμα 1.10α, μπορούμε να δούμε ότι το **28% της κατανάλωσης ενέργειας** στις Ηνωμένες Πολιτείες προέρχεται από τον τομέα των **μεταφορών** [12].
- ▶ Έχει **προβλεφθεί ότι εάν το 10% των** αυτοκινήτων σε εθνικό επίπεδο ήταν μη ηλεκτρικά οχήματα (ZEV), οι ρυθμιζόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι θα μειώνονταν κατά **1 εκατομμύριο τόνους ετησίως** και θα εξαλείφονταν **60 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα** που προκαλούν το **φαινόμενο του θερμοκηπίου** [13].

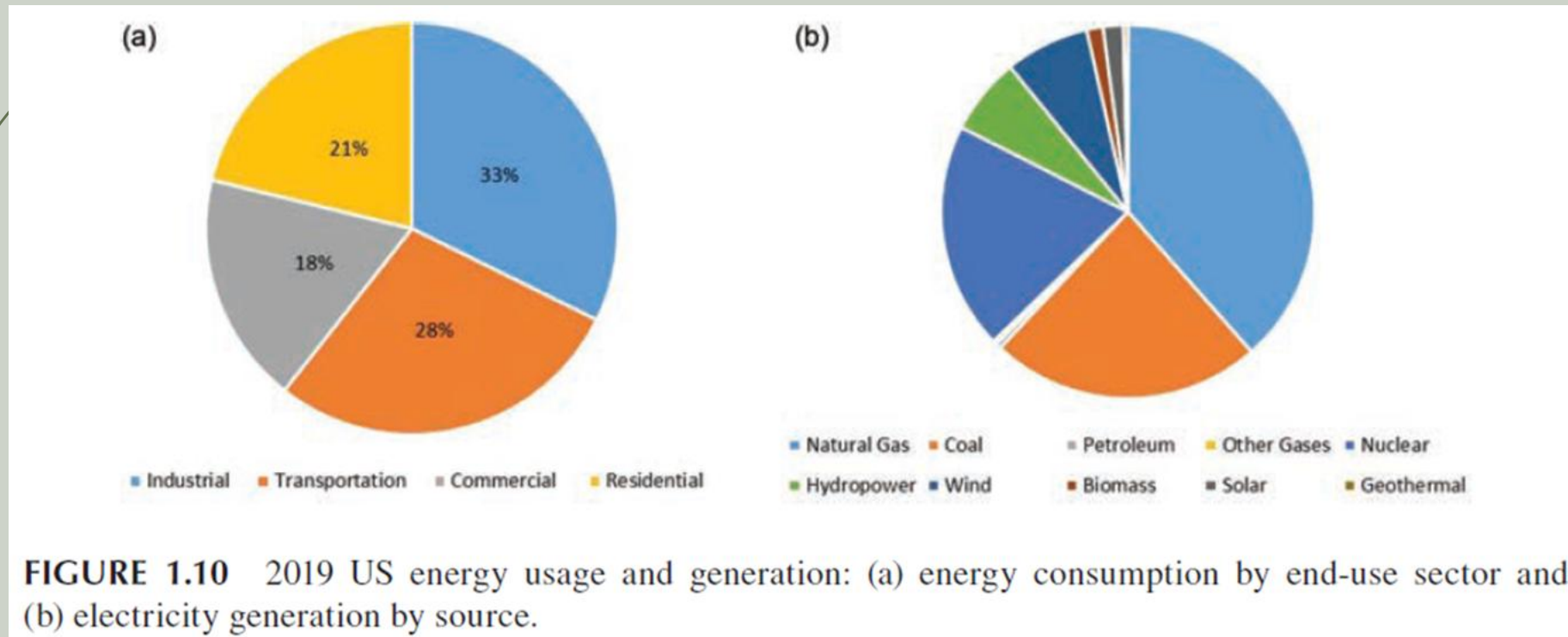


FIGURE 1.10 2019 US energy usage and generation: (a) energy consumption by end-use sector and (b) electricity generation by source.

EV/ICEV COMPARISON - pollution

- ▶ Με την 100% ηλεκτροκίνηση, δηλαδή την αντικατάσταση κάθε ICEV από EV, έχουν υποστηριχθεί τα εξής:
 - ▶ Το διοξείδιο του άνθρακα στον αέρα, το οποίο συνδέεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη, **θα μειωνόταν στο μισό.**
 - ▶ Τα **οξείδια του αζώτου** (ένα αέριο του θερμοκηπίου που προκαλεί την υπερθέρμανση του πλανήτη) **θα μειώνονταν ελαφρώς ανάλογα με τα κυβερνητικά ρυθμιζόμενα πρότυπα εκπομπών** των εταιρειών κοινής ωφέλειας.
 - ▶ Το **διοξείδιο του θείου**, το οποίο συνδέεται με την **όξινη βροχή**, θα **αυξανόταν ελαφρώς.**
 - ▶ Η απόρριψη **χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων** θα μειωνόταν, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα **δεν απαιτούν λίπανση στροφαλοθαλάμου.**
 - ▶ Τα ηλεκτρικά οχήματα **μειώνουν την ηχορύπανση**, καθώς είναι πιο αθόρυβα από τα ICEV.
 - ▶ Η **θερμική ρύπανση** από μεγάλους **σταθμούς παραγωγής ενέργειας** θα αυξανόταν με την αυξημένη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων.

EV/ICEV COMPARISON - pollution

- ▶ Τα ηλεκτρικά οχήματα θα μειώσουν σημαντικά τις κύριες αιτίες του νέφους, θα εξαλείψουν ουσιαστικά την καταστροφή του όζοντος και θα μειώσουν τα αέρια του θερμοκηπίου.
- ▶ Με αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών SO₂ από τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, τα ηλεκτρικά οχήματα θα έχουν μικρό αντίκτυπο στα επίπεδα SO₂.
- ▶ Η μείωση της ρύπανσης είναι η κινητήρια δύναμη πίσω από τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων.
- ▶ Η ρύπανση μπορεί να μειωθεί δραστικά όταν οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων φορτίζονται από ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές.

EV/ICEV COMPARISON - pollution

- Οι πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2019 φαίνονται στο κυκλικό διάγραμμα του Σχήματος 1.10β [12], το οποίο δείχνει ότι ένα σημαντικό ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας εξακολουθεί να παράγεται μέσω **μη ανανεώσιμων πηγών**.

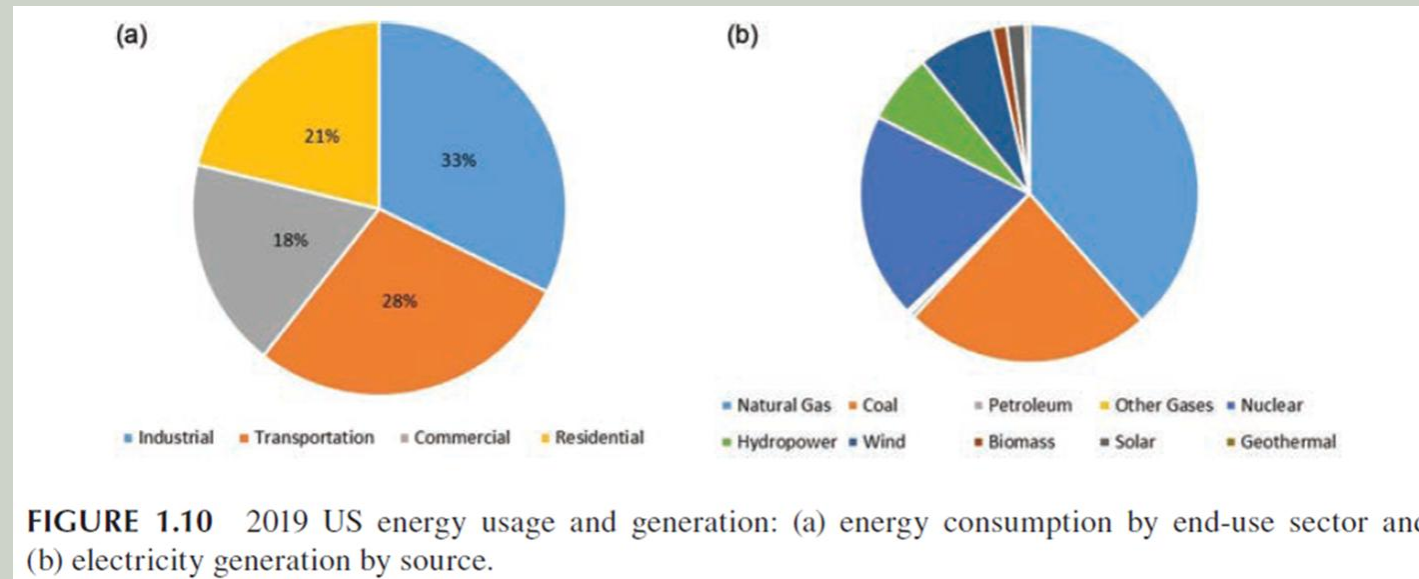


FIGURE 1.10 2019 US energy usage and generation: (a) energy consumption by end-use sector and (b) electricity generation by source.

- Το 2019, το 7% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προήλθε από υδροηλεκτρική ενέργεια, το 7% από αιολική ενέργεια και το 4% από άλλες ανανεώσιμες πηγές.
- Από την άλλη πλευρά, το 39% της ηλεκτρικής ενέργειας προήλθε από φυσικό αέριο, ενώ το 24% παρήχθη από άνθρακα και το 20% από πυρηνικό καύσιμο.
- Για αναφορά, η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις ΗΠΑ το 2019 ήταν 100,2 τετράκις εκατομμύρια BTU.

EV/ICEV COMPARISON – capital and operating cost

- ▶ Το αρχικό κόστος κεφαλαίου των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) είναι υψηλότερο από το κόστος κεφαλαίου των ICEV, κυρίως λόγω των ακριβών μπαταριών και της έλλειψης ευκαιριών μαζικής παραγωγής.
- ▶ Τα στάδια των ηλεκτρονικών ισχύος είναι επίσης ακριβά, αν και όχι στο ίδιο επίπεδο με τις μπαταρίες.
- ▶ Το κόστος κεφαλαίου των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να μειωθεί καθώς αυξάνεται ο όγκος και υπερβαίνει εύκολα το κόστος κεφαλαίου των ICEV, αλλά το κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να μειωθεί καθώς αυξάνεται ο όγκος.
- ▶ Το συνολικό κόστος κύκλου ζωής ενός ηλεκτρικού οχήματος προβλέπεται να είναι μικρότερο από αυτό ενός συγκρίσιμου ICEV.
- ▶ Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πιο αξιόπιστα και θα απαιτούν λιγότερη συντήρηση, καθιστώντας τα ευνοϊκότερα έναντι των ICEV όσον αφορά το λειτουργικό κόστος.

EV/ICEV COMPARISON –

EU/US dependence on foreign oil

- ▶ Η σημασία της αναζήτησης εναλλακτικών πηγών ενέργειας δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί και αργά ή γρήγορα θα υπάρξει ενεργειακή κρίση αν εμείς, οι άνθρωποι του πλανήτη, δεν μειώσουμε την εξάρτησή μας από τα ορυκτά καύσιμα.
- ▶ Οι σημερινές βιομηχανίες, ιδιαίτερα ο κλάδος των μεταφορών, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το πετρέλαιο, τα αποθέματα του οποίου τελικά θα εξαντληθούν στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον.
- ▶ Ένα μέσο **ICEV** στη διάρκεια της ζωής του χρησιμοποιεί **94 βαρέλια πετρελαίου με βάση την κατανάλωση καυσίμου 28 μιλίων/γαλόνι**. Στις ΗΠΑ!
- ▶ Από την άλλη πλευρά, ένα μέσο EV χρησιμοποιεί περίπου δύο βαρέλια πετρελαίου στη διάρκεια της ζωής του με βάση τα 4 μίλια/kWh και το ποσοστό πετρελαίου που χρησιμοποιείται στη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το EV..

Εργασία 1:

1. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο GREET (διαθέσιμο από την ιστοσελίδα του Εθνικού Εργαστηρίου Argonne,

<https://greet.es.anl.gov/>),

βρείτε τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και τις αποδόσεις WTT, TTW και WTW ενός BEV, ενός ICEV και ενός FCEV (2 από τα τρία).

Π.Χ. Διαλέξτε ένα δημοφιλές Ηλεκτρικό Όχημα, ένα αντίστοιχης κατηγορίας Υβριδικό ή Κυψελών καυσίμου και χρησιμοποιήστε το μοντέλο GREET για να βρείτε τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και τις αποδόσεις WTT, TTW και WTW

Θα βαθμολογηθείτε για τις επιλογές των οχημάτων τον τρόπο απόδοσης της σύγκρισης και την εν γένη παρουσίαση της εργασίας.

Εργασία 2:

Αναζητήστε υλικό αναφοράς και γράψτε μια Επίσημη Εργασία για τα ακόλουθα θέματα:

- i. Εμπορικά και ερευνητικά προγράμματα ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων σε όλο τον κόσμο τα τελευταία 5 χρόνια, περιγράφοντας τα διάφορα προγράμματα, τους στόχους, το εύρος ισχύος, τον χρησιμοποιούμενο κινητήρα, τον τύπο κινητήρα εσωτερικής καύσης, την πηγή μπαταρίας κ.λπ.
- ii. Case Study πρόσφατων ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων.
- iii. Νομοθεσία και τυποποιήσεις σε επίπεδο Ελλάδας/ΕΕ.

2 - Vehicle Mechanics

- ▶ Οι βασικές αρχές σχεδιασμού ενός οχήματος είναι ενσωματωμένες στη βασική μηχανική της φυσικής, ιδιαίτερα στον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα που συσχετίζει τη δύναμη και την επιτάχυνση.
- ▶ Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα ορίζει ότι η επιτάχυνση ενός αντικειμένου είναι ανάλογη με τη συνολική δύναμη που ασκείται σε αυτό.
- ▶ Το αντικείμενο επιταχύνει όταν η συνολική δύναμη είναι μη μηδενική, όπου ο όρος συνολική δύναμη αναφέρεται στη συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο αντικείμενο.
- ▶ Στο σύστημα του οχήματος, ασκούνται σε αυτό αρκετές δυνάμεις, με τη συνισταμένη ή συνολική δύναμη να υπαγορεύει την κίνηση σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα.

2 - Vehicle Mechanics

- ▶ Ένα όχημα προωθεί προς τα εμπρός με τη βοήθεια της δύναμης που ασκείται από τη μονάδα πρόωσης, **υπερνικώντας τις δυνάμεις αντίστασης** λόγω της,
 - ▶ βαρύτητας,
 - ▶ του αέρα και της
 - ▶ αντίστασης των ελαστικών.
- ▶ Η επιτάχυνση και η ταχύτητα του οχήματος εξαρτώνται από την ισχύ που διατίθεται από τη **μονάδα έλξης** και τις **υπάρχουσες οδικές και αεροδυναμικές** συνθήκες.
- ▶ Η επιτάχυνση εξαρτάται επίσης από τη **σύνθετη μάζα** του οχήματος, συμπεριλαμβανομένης της **μονάδας πρόωσης**, όλων των **μηχανικών** και **ηλεκτρικών εξαρτημάτων** και των **μπαταριών**.

2 - Vehicle Mechanics

- ▶ Ένα όχημα σχεδιάζεται με βάση ορισμένες δεδομένες προδιαγραφές και απαιτήσεις.
- ▶ Επιπλέον, το σύστημα ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων είναι μεγάλο και πολύπλοκο και περιλαμβάνει διεπιστημονική γνώση.
- ▶ Το κλειδί για τον σχεδιασμό ενός τόσο μεγάλου συστήματος είναι το "διαίρει και βασίλευε".
- ▶ Η προοπτική σε επίπεδο συστήματος βοηθά στην εκμάθηση των δεξιοτήτων σχεδιασμού για ένα πολύπλοκο σύστημα όπου πρώτα καθορίζονται οι ευρείες απαιτήσεις και στη συνέχεια τα εξαρτήματα του συστήματος σχεδιάζονται με πιο στοχευμένες οδηγίες.

2 - Vehicle Mechanics

- ▶ Για παράδειγμα, **πρώτα η απαίτηση ισχύος και ενέργειας** από τη μονάδα πρόωσης καθορίζεται από ένα δεδομένο σύνολο προδιαγραφών πλεύσης και επιτάχυνσης του οχήματος.
- ▶ Ο σχεδιασμός σε επίπεδο εξαρτήματος ξεκινά στο δεύτερο στάδιο όπου καθορίζονται και σχεδιάζονται η μονάδα πρόωσης, η πηγή ενέργειας και άλλες βοηθητικές μονάδες.
- ▶ Σε αυτό το στάδιο, οι ηλεκτρολόγοι και μηχανολόγοι μηχανικοί ξεκινούν τον σχεδιασμό του ηλεκτροκινητήρα για ηλεκτρικά οχήματα (EV) ή του συνδυασμού ηλεκτροκινητήρα και κινητήρα εσωτερικής καύσης για υβριδικά EV.

2 - Vehicle Mechanics

- ▶ Οι μηχανικοί ηλεκτρονικών ισχύος σχεδιάζουν τη μονάδα μετατροπής ισχύος που συνδέει την πηγή ενέργειας με τον ηλεκτροκινητήρα.
- ▶ Ο μηχανικός τεχνολογίας ελέγχου συνεργάζεται με τον μηχανικό ηλεκτρονικών ισχύος για την ανάπτυξη του συστήματος ελέγχου πρόωσης.
- ▶ Οι χημικοί και οι μηχανικοί έχουν την κύρια ευθύνη του σχεδιασμού της πηγής ενέργειας με βάση τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις οδηγίες του κατασκευαστή του οχήματος.
- ▶ Πολλοί από τους σχεδιασμούς εξαρτημάτων προχωρούν με επαναληπτικό τρόπο, όπου διάφοροι σχεδιαστές πρέπει να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους για να διασφαλίσουν ότι επιτυγχάνονται οι στόχοι σχεδιασμού.

2 - Vehicle Mechanics

- ▶ **Ο σχεδιασμός είναι μια επαναληπτική διαδικασία**, η οποία ξεκινά με ορισμένους γνωστούς παράγοντες και άλλες εμπειριστατωμένες εικασίες ή υποθέσεις, ακολουθούμενες από επιστημονική ανάλυση, προκειμένου να επαληθευτεί ότι πληρούνται οι απαιτήσεις.
- ▶ Θα αναπτυχθούν τα εργαλεία για την επιστημονική ανάλυση της **μηχανικής των οχημάτων** με βάση τον **δεύτερο νόμο** κίνησης του **Νεύτωνα**.
- ▶ Μετά τον **ορισμό και την περιγραφή ενός οδοστρώματος**, θα **εξεταστούν τα ζητήματα κινητικής του οχήματος**.
- ▶ Ο οδόστρωμα και η κινητική θα συνδεθούν για να καθοριστεί η εξίσωση για τη δύναμη που απαιτείται από τη μονάδα πρόωσης.
- ▶ Η δύναμη από τη μονάδα πρόωσης, η οποία μπορεί να είναι ένας ηλεκτροκινητήρας ή ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης ή ένας συνδυασμός των δύο, είναι γνωστή ως ελκτική δύναμη.
- ▶ Μόλις οριστεί η απαίτηση δύναμης, θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό της ισχύος και της ενέργειας που απαιτούνται για ένα υπό εξέταση όχημα.

2 - Vehicle Mechanics

- ▶ Η έμφαση του μαθήματος δίνεται στους γενικούς στόχους σχεδιασμού, όπως:
 - ▶ η εύρεση της απαιτούμενης ισχύος και ενέργειας και
 - ▶ η πρόβλεψη του εύρους για μια δεδομένη πηγή ενέργειας, διατηρώντας έτσι μια προοπτική υψηλού επιπέδου.
- ▶ Οι λεπτομέρειες σχεδιασμού ενός υποσυστήματος είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής του μαθήματος και του βιβλίου αναφοράς.
- ▶ Οι αναγνώστες παραπέμπονται στη βιβλιογραφία των αντίστοιχων τομέων για περισσότερες λεπτομέρειες.

ROADWAY FUNDAMENTALS

- ▶ Ένα όχημα κινείται σε **επίπεδο δρόμο** αλλά,
- ▶ **Ανεβοκατεβαίνει** σε διάφορα επικλινή οδοστρώματα.
- ▶ Μπορούμε να **απλοποιήσουμε** την περιγραφή του οδοστρώματος εξετάζοντας έναν ευθύγραμμο δρόμο, καθώς ο **οριζόντιος ελιγμός** έχει **ελάχιστη επίδραση** στην απαιτούμενη δύναμη και ισχύ από τη μονάδα πρόωσης.
- ▶ Ορίζουμε ένα **εφαπτόμενο σύστημα συντεταγμένων** που κινείται **μαζί με το όχημα** σε σχέση με ένα **σταθερό δισδιάστατο σύστημα**.
- ▶ Η περιγραφή του οδοστρώματος θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απόστασης που διανύει ένα όχημα κατά μήκος του οδοστρώματος.
- ▶ Το σταθερό σύστημα συντεταγμένων είναι προσαρτημένο στη γη έτσι ώστε η δύναμη της βαρύτητας να είναι κάθετη στο μοναδιαίο διάνυσμα i_F .
- ▶ Γράφημα -

ROADWAY FUNDAMENTALS

- Ας θεωρήσουμε έναν ευθύγραμμο δρόμο, δηλαδή, το τιμόνι είναι κλειδωμένο ευθύγραμμο κατά μήκος της κατεύθυνσης x_F .
- Ο δρόμος βρίσκεται στη συνέχεια στο επίπεδο $x_F y_F$ του σταθερού συστήματος συντεταγμένων (Σχήμα 2.1).

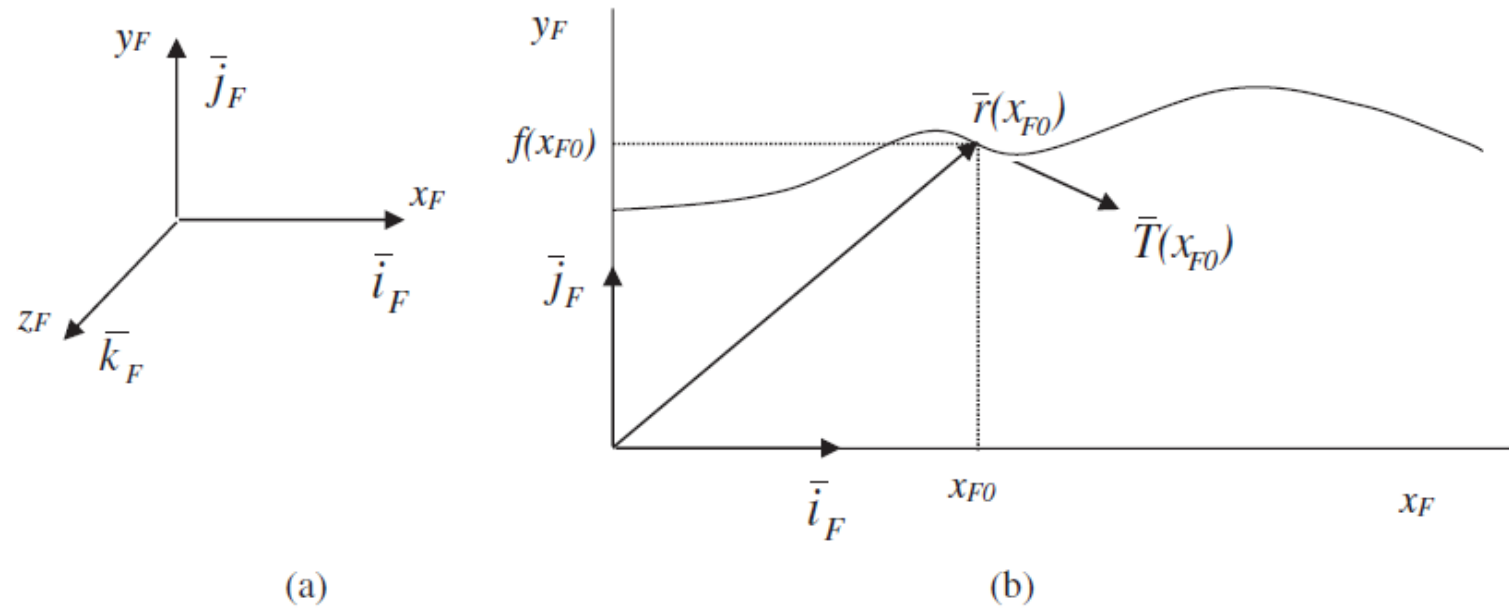


FIGURE 2.1 (a) Fixed co-ordinate system. (b) Roadway on the fixed co-ordinate system.

ROADWAY FUNDAMENTALS

- ▶ Το δισδιάστατο οδόστρωμα μπορεί να περιγραφεί ως $y_F = f(x_F)$. Το διάνυσμα θέσης οδοστρώματος $r(x_F)$ μεταξύ δύο σημείων a και b κατά μήκος της οριζόντιας κατεύθυνσης είναι:

$$\bar{r}(x_F) = x_F \bar{i}_F + f(x_F) \bar{j}_F \quad \text{for } a \leq x_F \leq b.$$

- ▶ Η κατεύθυνση κίνησης και η απόσταση που διανύει το όχημα είναι ευκολότερο να εκφραστούν με βάση το εφαπτομενικό διάνυσμα του διανύσματος της θέσης του οδοστρώματος που δίνεται ως:

$$\bar{T}(x_F) = \frac{d\bar{r}}{dx_F} = \bar{i}_F + \frac{df}{dx_F} \bar{j}_F$$

- ▶ Η νόρμα απόστασης του εφαπτομενικού διανύσματος $\|\bar{T}(x_F)\|$ είναι:

$$\|\bar{T}(x_F)\| = \sqrt{1 + \left[\frac{df}{dx_F} \right]^2}$$

ROADWAY FUNDAMENTALS

- Το εφαπτομενικό μήκος οδοστρώματος s είναι η απόσταση που διανύθηκε κατά μήκος του οδοστρώματος. Μαθηματικά, s είναι το μήκος του τόξου του $y_F = f(x_F)$ επί $a \leq x_F \leq b$. Επομένως,

$$s = \int_a^b \|\bar{T}(x_F)\| dx_F.$$

- Η ποσοστιαία κλίση του οδοστρώματος μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του οδοστρώματος ως:

$$\beta(x_F) = \tan^{-1} \left[\frac{df(x_F)}{dx_F} \right].$$

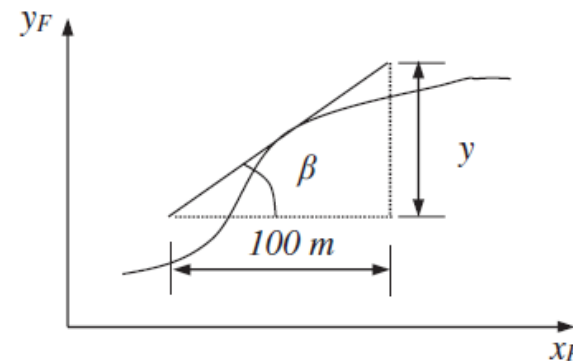


FIGURE 2.2 Grade of the roadway.

ROADWAY FUNDAMENTALS

- ▶ Η μέση ποσοστιαία κλίση του οδοστρώματος είναι **η κατακόρυφη άνοδος ανά 100 οριζόντια απόσταση του οδοστρώματος**, με τις δύο αποστάσεις να εκφράζονται στην ίδια μονάδα.
- ▶ Η γωνία β του οδοστρώματος που σχετίζεται με την κλίση ή την κλίση είναι η γωνία μεταξύ του εφαπτομένου διανύσματος και του οριζόντιου άξονα x_F , όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.
- ▶ Αν Δy είναι η κατακόρυφη άνοδος σε μέτρα, τότε:

$$\% \text{ grade} = \frac{\Delta y}{100 \text{ m}} 100\% = \Delta y\%.$$

- ▶ Η εφαπτομένη της γωνίας κλίσης είναι, $\tan\beta = \Delta y / 100\text{m}$
- ▶ Η ποσοστιαία κλίση β ή είναι **μεγαλύτερη από το μηδέν** όταν το όχημα βρίσκεται σε **ανοδική κλίση** και **μικρότερη** από το μηδέν όταν το **όχημα κατεβαίνει**.

LAWS OF MOTION

- ▶ Ο **δεύτερος νόμος κίνησης του Νεύτωνα** μπορεί να εκφραστεί με τη μορφή εξίσωσης ως:

$$\sum_i \vec{F}_i = m\vec{a}$$

- ▶ όπου F_i είναι η συνισταμένη δύναμη, m είναι η μάζα και a είναι η επιτάχυνση.
- ▶ Ο νόμος **εφαρμόζεται στο όχημα** λαμβάνοντας υπόψη έναν αριθμό αντικειμένων που βρίσκονται στα **διάφορα σημεία επαφής του οχήματος**, στα οποία **ασκούνται οι μεμονωμένες δυνάμεις**.
- ▶ Παραδείγματα τέτοιων **σημείων επαφής** είναι οι **μπροστινοί και οι πίσω τροχοί** που αγγίζουν την επιφάνεια του οδοστρώματος, η **μετωπική περιοχή που συναντά τη δύναμη από την αντίσταση του αέρα**, κ.λπ.
- ▶ Θα **απλοποιήσουμε το πρόβλημα** συγχωνεύοντας όλα αυτά τα σημεία επαφής σε **ένα σημείο στο κέντρο βάρους (κΒ) του οχήματος**, κάτι που δικαιολογείται, καθώς η έκταση του αντικειμένου είναι ασήμαντη.
- ▶ Για όλους τους υπολογισμούς δύναμης που θα ακολουθήσουν, θα **θεωρήσουμε το όχημα ως μια μάζα σωματιδίων** που βρίσκεται στο **κΒ του οχήματος**.
- ▶ Το κΒ μπορεί να θεωρηθεί ότι **βρίσκεται μέσα στο όχημα**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3.

LAWS OF MOTION

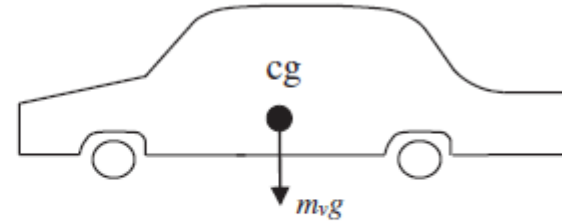


FIGURE 2.3 Center of gravity (cg) of a vehicle.

- ▶ Η κίνηση των σωματιδίων περιγράφεται από τα χαρακτηριστικά της **ταχύτητας και της επιτάχυνσής των**.
- ▶ Για το **διάνυσμα θέσης r** για τη μάζα των σωματιδίων στην οποία ασκούνται διάφορες δυνάμεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4, η ταχύτητα v και η επιτάχυνση a είναι

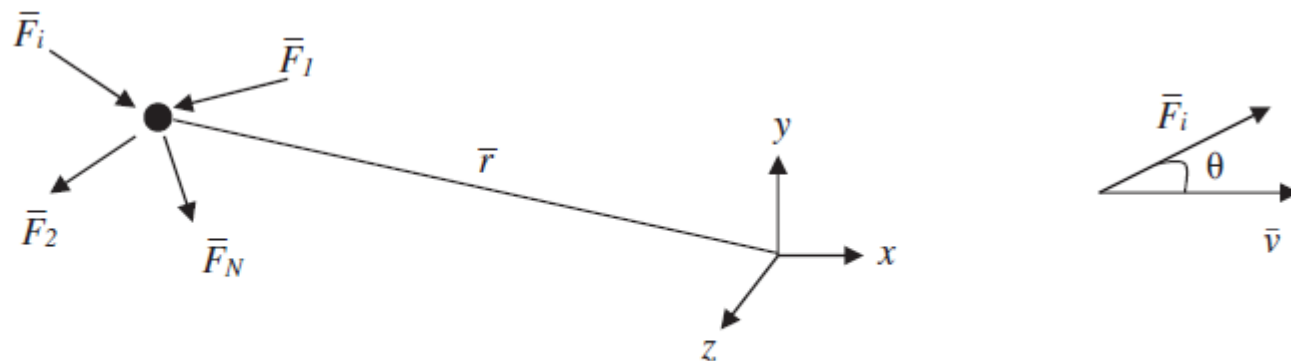


FIGURE 2.4 Forces on a particle.

LAWS OF MOTION

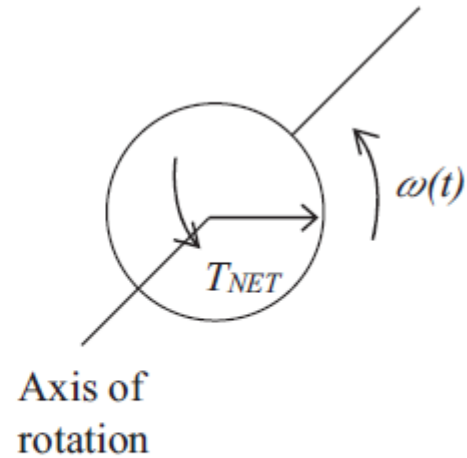


FIGURE 2.5 Rigid body rotation.

$$\bar{v} = \frac{d\bar{r}}{dt} \text{ and } \bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt}.$$

- Η ισχύς που εφαρμόζεται στο σωματίδιο για την i -οστή δύναμη είναι

$$P_i = \bar{F}_i \cdot \bar{v} = |\bar{F}_i| |\bar{v}| \cos \theta$$

- όπου θ είναι η γωνία μεταξύ F_i και της προκύπτουσας ταχύτητας v .

LAWS OF MOTION

- ▶ Για ένα άκαμπτο σώμα που περιστρέφεται γύρω από έναν σταθερό άξονα, **οι ισοδύναμοι όροι** που σχετίζονται με την **κίνηση και την ισχύ** είναι η **ροπή**, η **γωνιακή ταχύτητα** και η **γωνιακή επιτάχυνση**.
- ▶ Έστω ένας αριθμός ανεξάρτητων ροπών που ασκούνται σε ένα άκαμπτο σώμα, προκαλώντας την περιστροφή του γύρω από έναν από τους κεντρικούς κύριους άξονες αδράνειας του, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.5 (Προηγ. Διαφάνεια)**.
- ▶ Αν **J (μονάδα: $\text{kg}\cdot\text{m}^2$)** είναι η πολική ροπή αδράνειας του άκαμπτου σώματος, τότε η περιστροφική μορφή του δεύτερου νόμου κίνησης του Νεύτωνα σε βαθμωτή μορφή είναι:

$$\sum_i T_i = T_{NET} = J\alpha$$

- ▶ Όπου:

ω = angular speed (rads/s) and

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} = \text{angular acceleration (rads/s}^2\text{)}.$$

The power input for the i th torque is $P_i = T_i\omega$.

VEHICLE KINETICS

- ▶ Η εφαπτομενική κατεύθυνση της εμπρόσθιας κίνησης ενός οχήματος αλλάζει με την κλίση του οδοστρώματος.
- ▶ Για να απλοποιηθούν οι εξισώσεις, ορίζεται παρακάτω ένα **εφαπτομενικό σύστημα συντεταγμένων**, έτσι ώστε οι δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα να μπορούν να οριστούν μέσω μιας **μονοδιάστατης εξίσωσης**.
- ▶ Έστω $\mathbf{u}_T(\mathbf{x}_F)$ το μοναδιαίο εφαπτομενικό διάνυσμα στο σταθερό σύστημα συντεταγμένων που δείχνει προς την κατεύθυνση της αύξησης του \mathbf{x}_F .
- ▶ Επομένως,

$$\bar{\mathbf{u}}_T(\mathbf{x}_F) = \frac{\bar{\mathbf{T}}_F(\mathbf{x}_F)}{\|\bar{\mathbf{T}}_F(\mathbf{x}_F)\|} = \frac{\bar{i}_F + \frac{df}{dx_F} \bar{j}_F}{\sqrt{1 + \left[\frac{df}{dx_F} \right]^2}}.$$

VEHICLE KINETICS

- ▶ Το εφαπτομενικό σύστημα συντεταγμένων που φαίνεται στο **Σχήμα 2.6** έχει την ίδια αρχή με το σταθερό σύστημα συντεταγμένων.
- ▶ Το μοναδιαίο διάνυσμα κατεύθυνσης z είναι το ίδιο όπως στο σταθερό σύστημα συντεταγμένων, αλλά τα διανύσματα κατεύθυνσης x και y αλλάζουν συνεχώς με την κλίση του οδοστρώματος.

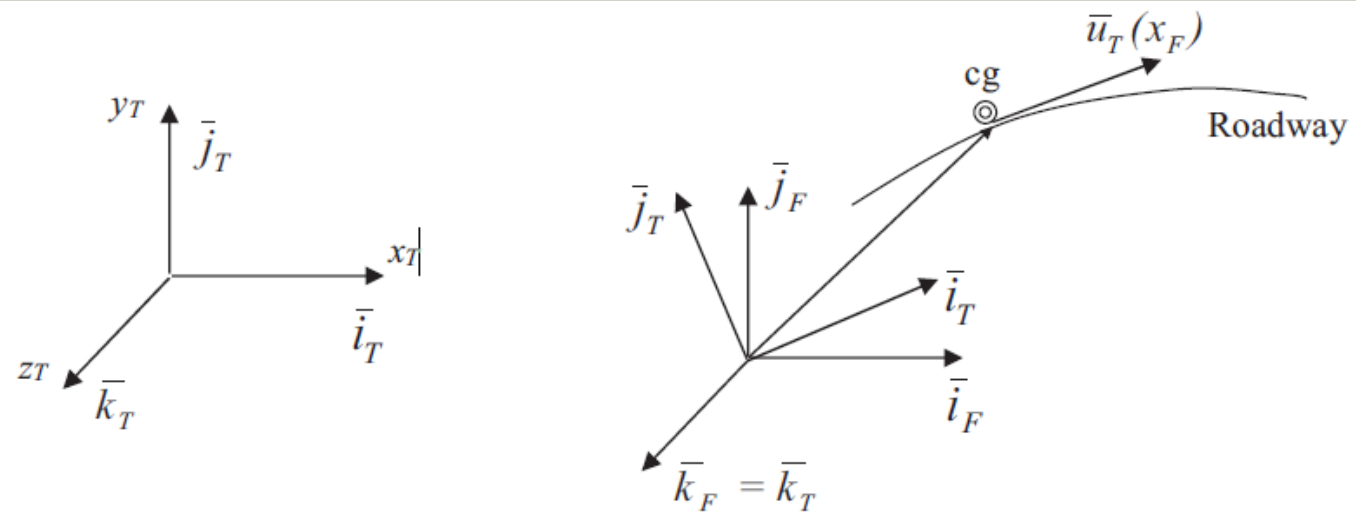


FIGURE 2.6 Tangential co-ordinate system and the unit tangent vector on a roadway.

VEHICLE KINETICS

- ▶ Ο δεύτερος νόμος κίνησης του Νεύτωνα μπορεί τώρα να εφαρμοστεί στο κβ του EV στο εφαπτομενικό σύστημα συντεταγμένων ως

$$\sum \bar{F}_T = m\bar{a}_T = m \frac{d\bar{v}_T}{dt}$$

- ▶ όπου m είναι η συνολική μάζα του οχήματος. Όσον αφορά τα στοιχεία του συστήματος συντεταγμένων,

$$\sum \bar{F}_{xT} = m \frac{d\bar{v}_{xT}}{dt} \text{ (component tangent to the road),}$$

$$\sum \bar{F}_{yT} = m \frac{d\bar{v}_{yT}}{dt} \text{ (component normal to the road),}$$

$$\sum \bar{F}_{zT} = m \frac{d\bar{v}_{zT}}{dt} = 0 \text{ (since motion is assumed confined to the } x\text{-}y \text{ plane).}$$

- ▶ \mathbf{v}_{xT} είναι η εφαπτομενική ταχύτητα του οχήματος.
- ▶ Η βαρυτική δύναμη στην κανονική κατεύθυνση εξισορροπείται από τη δύναμη αντίδρασης του δρόμου και, ως εκ τούτου, δεν θα υπάρχει κίνηση στην κανονική κατεύθυνση \mathbf{y}_T .

VEHICLE KINETICS

$$\sum \bar{F}_{xT} = m \frac{d\bar{v}_{xT}}{dt} \text{ (component tangent to the road),}$$

$$\sum \bar{F}_{yT} = m \frac{d\bar{v}_{yT}}{dt} \text{ (component normal to the road),}$$

$$\sum \bar{F}_{zT} = m \frac{d\bar{v}_{zT}}{dt} = 0 \text{ (since motion is assumed confined to the } x\text{-}y \text{ plane).}$$

- ▶ Με άλλα λόγια, το ελαστικό παραμένει πάντα σε επαφή με το δρόμο.
- ▶ Επομένως, η κανονική ταχύτητα \mathbf{v}_{yT} είναι μηδέν.
- ▶ Η κίνηση του οχήματος έχει θεωρηθεί περιορισμένη στο επίπεδο $\mathbf{x}_F\mathbf{y}_F$ ή $\mathbf{x}_T\mathbf{y}_T$ και, ως εκ τούτου, δεν υπάρχει ούτε δύναμη ούτε ταχύτητα που να ενεργούν στην κατεύθυνση \mathbf{z} .
- ▶ Αυτές οι δικαιολογημένες απλοποιήσεις μας επιτρέπουν να χρησιμοποιήσουμε μια μονοκατευθυντική ανάλυση για την πρόωση του οχήματος στην κατεύθυνση \mathbf{x}_T .
- ▶ Στη συνέχεια φαίνεται ότι η ελκτική δύναμη του οχήματος και οι αντίθετες δυνάμεις είναι όλες προς την κατεύθυνση \mathbf{x}_T , και ως εκ τούτου, το διανυσματικό πρόσημο «-» δεν θα χρησιμοποιηθεί στα σύμβολα για λόγους απλότητας.

VEHICLE KINETICS

- ▶ Η μονάδα πρόωσης του οχήματος ασκεί την ελκτική δύναμη F_{TR} για να προωθήσει το όχημα προς τα εμπρός με την επιθυμητή ταχύτητα. Η ελκτική δύναμη πρέπει να υπερνικήσει τις αντίθετες δυνάμεις, οι οποίες αθροίζονται,
- ▶ και ονομάζονται ως δύναμη φορτίου οδοστρώματος F_{RL} . Η δύναμη φορτίου οδοστρώματος αποτελείται από τη βαρυτική δύναμη, την αντίσταση κύλισης των ελαστικών και την αεροδυναμική δύναμη οπισθέλκουσας. Η δύναμη φορτίου οδοστρώματος είναι:

$$\mathbf{F}_{RL} = F_{gxT} + F_{roll} + F_{AD}$$

- ▶ όπου x_T είναι η εφαπτομενική κατεύθυνση κατά μήκος του οδοστρώματος.
- ▶ Οι δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα φαίνονται στο **Σχήμα 2.7**:

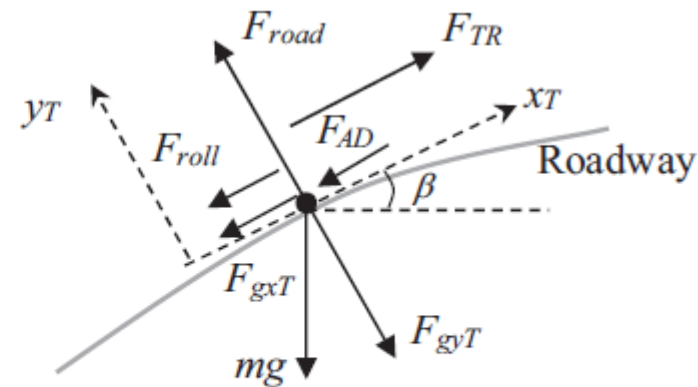


FIGURE 2.7 Forces acting on a vehicle.

VEHICLE KINETICS

- ▶ Η βαρυτική δύναμη εξαρτάται από την **κλίση του οδοστρώματος**.
- ▶ Η δύναμη είναι θετική κατά την ανάβαση σε μια κλίση και αρνητική κατά την κατάβαση ενός κατηφορικού δρόμου.
- ▶ Η βαρυτική δύναμη που πρέπει να υπερνικηθεί από το όχημα που κινείται προς τα εμπρός είναι:

$$F_{gxT} = mg \sin \beta$$

- ▶ όπου ***m*** είναι η συνολική μάζα του οχήματος, ***g*** είναι η σταθερά της βαρυτικής επιτάχυνσης και ***β*** είναι η γωνία κλίσης ως προς το επίπεδο (ή τον ορίζοντα).

VEHICLE KINETICS

- ▶ Η αντίσταση κύλισης **παράγεται από την ισοπέδωση του ελαστικού** στην επιφάνεια επαφής με το οδόστρωμα.
- ▶ Σε ένα **τέλεια στρογγυλό ελαστικό**, η κάθετη δύναμη στο οδόστρωμα εξισορροπεί το κατανομημένο βάρος που φέρει ο τροχός στο σημείο επαφής κατά μήκος της κάθετης γραμμής κάτω από τον άξονα.
- ▶ Όταν το **ελαστικό ισοπεδώνεται**, το στιγμιαίο κέντρο περιστροφής στον τροχό κινείται **προς τα εμπρός από κάτω από τον άξονα** προς την κατεύθυνση κίνησης του οχήματος, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.8**.

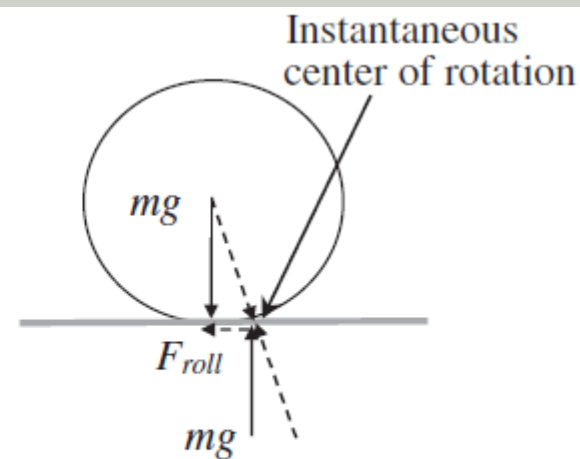


FIGURE 2.8 Rolling resistance force of wheels.

VEHICLE KINETICS

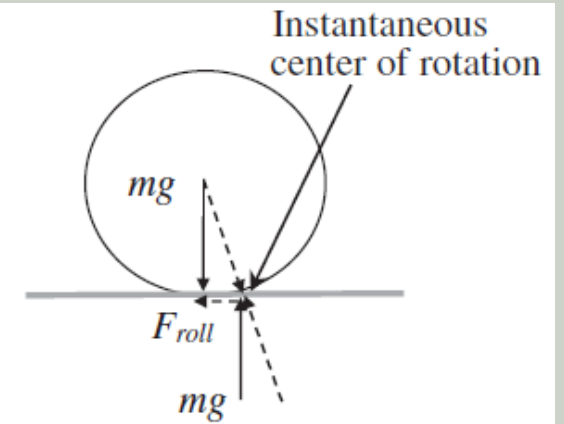


FIGURE 2.8 Rolling resistance force of wheels.

- ▶ Το βάρος στον τροχό και η κάθετη δύναμη στο **οδόστρωμα δεν είναι ευθυγραμμισμένες** λόγω της **ισοπέδωσης του ελαστικού** και σχηματίζουν ένα ζεύγος που ασκεί μια ροπή επιβράδυνσης στον τροχό.
- ▶ Η δύναμη αντίστασης κύλισης F_{roll} είναι η δύναμη που οφείλεται στο ζεύγος, το οποίο αντιτίθεται στην κίνηση του τροχού.
- ▶ Η δύναμη F_{roll} είναι εφαπτομενική στο οδόστρωμα και πάντα βοηθά στην πέδηση ή στην επιβράδυνση της κίνησης του οχήματος.
- ▶ Η ελκτική δύναμη F_{TR} πρέπει να υπερνικήσει αυτή τη δύναμη F_{roll} μαζί με τη βαρυτική δύναμη και την αεροδυναμική δύναμη οπισθέλκουσας.
- ▶ Η αντίσταση κύλισης μπορεί να ελαχιστοποιηθεί κρατώντας τα ελαστικά όσο το δυνατόν περισσότερο φουσκωμένα.

VEHICLE KINETICS

- ▶ Ο λόγος της δύναμης επιβράδυνσης λόγω της αντίστασης κύλισης και του κατακόρυφου φορτίου στον τροχό είναι γνωστός ως συντελεστής αντίστασης κύλισης C_0 .
- ▶ Η δύναμη αντίστασης κύλισης σε ένα οδόστρωμα με κλίση β είναι:

$$F_{roll} = \begin{cases} \operatorname{sgn}[v_{xT}]mg \cos \beta (C_0 + C_1 v_{xT}^2) & \text{if } v_{xT} \neq 0 \\ (F_{TR} - F_{gxT}) & \text{if } v_{xT} = 0 \text{ and } |F_{TR} - F_{gxT}| \leq C_0 mg \cos \beta \\ \operatorname{sgn}[F_{TR} - F_{gxT}](C_0 mg \cos \beta) & \text{if } v_{xT} = 0 \text{ and } |F_{TR} - F_{gxT}| > C_0 mg \cos \beta \end{cases}$$

- ▶ Συνήθως $0,004 < C_0 < 0,02$ (χωρίς μονάδες) και $C_1 \ll C_0$ (s^2/m^2). Το $C_0 mg$ είναι η μέγιστη αντίσταση κύλισης σε στάση.
- ▶ Το $\operatorname{sgn}[v_{xT}]$ είναι η συνάρτηση σήματος που δίνεται ως:

$$\operatorname{sgn}[v_{xT}] = \begin{cases} 1 & \text{if } v_{xT} \geq 0 \\ -1 & \text{if } v_{xT} < 0 \end{cases}$$

VEHICLE KINETICS

- ▶ Η αεροδυναμική δύναμη οπισθέλκουσας είναι η ιξώδης αντίσταση του αέρα που λειτουργεί ενάντια στην κίνηση του οχήματος.
- ▶ Η δύναμη δίνεται από:

$$F_{AD} = \text{sgn}[v_{xT}] \{0.5 \rho C_D A_F (v_{xT} + v_0)^2\}$$

- ▶ όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3 ,
- ▶ C_D είναι ο συντελεστής αεροδυναμικής οπισθέλκουσας (αδιάστατος και συνήθως είναι $0,2 < C_D < 0,4$),
- ▶ A_F είναι η ισοδύναμη μετωπική επιφάνεια του οχήματος και
- ▶ v_0 είναι η ταχύτητα του αντίθετου ανέμου.

DYNAMICS OF VEHICLE MOTION

- ▶ Η ελκτική δύναμη είναι η δύναμη που παρέχεται από τον ηλεκτροκινητήρα σε ένα ηλεκτρικό όχημα και από τον συνδυασμό ηλεκτροκινητήρα και κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ένα υδραυλικό όχημα για την υπερνίκηση του φορτίου οδοστρώματος.
- ▶ Η δυναμική εξίσωση κίνησης στην εφαπτομενική κατεύθυνση δίνεται από:

$$k_m m \frac{dv_{xT}}{dt} = F_{TR} - F_{RL}$$

- ▶ όπου k_m είναι ο συντελεστής περιστροφικής αδράνειας που αντισταθμίζει την φαινομενική αύξηση της μάζας του οχήματος λόγω της περιστρεφόμενης μάζας επί του οχήματος.
- ▶ Η τυπική τιμή του k_m είναι μεταξύ 1,08 και 1,1 και είναι αδιάστατη.
- ▶ Πρόσθετη εξήγηση για την περιστροφική αδράνεια εμφανίζεται στην **Ενότητα 2.7.4**. $d_{v_{xT}}/d_t$ είναι η επιτάχυνση του οχήματος.

DYNAMICS OF VEHICLE MOTION

- ▶ Οι δυναμικές εξισώσεις μπορούν να αναπαρασταθούν σε μορφή χώρου καταστάσεων για την προσομοίωση ενός συστήματος EV ή HEV.
- ▶ Η κίνηση που περιγράφεται από την **Εξίσωση Διαφ.128** είναι η θεμελιώδης σχέση που απαιτείται για τη δυναμική προσομοίωση του συστήματος οχημάτων.
- ▶ Η \mathbf{v}_{xT} είναι μία από τις μεταβλητές κατάστασης του δυναμικού συστήματος οχημάτων.
- ▶ Η δεύτερη εξίσωση που απαιτείται για τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση είναι η εξίσωση ταχύτητας όπου είτε το \mathbf{s} είτε το \mathbf{x}_F μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητή κατάστασης.
- ▶ Η κλίση του οδοστρώματος β θα είναι μια είσοδος στο μοντέλο προσομοίωσης, η οποία μπορεί να δοθεί ως προς την εφαπτομενική απόσταση του οδοστρώματος \mathbf{s} ως $\beta = \beta(\mathbf{s})$ ή ως προς την οριζόντια απόσταση ως $\beta = \beta(\mathbf{x}_F)$.
- ▶ Εάν το β δίνεται ως προς το s , τότε η δεύτερη εξίσωση μεταβλητής κατάστασης είναι

$$\frac{ds}{dt} = v_{xT}.$$

DYNAMICS OF VEHICLE MOTION

- ▶ Αν το β δίνεται ως προς το x_F , τότε η εξίσωση της δεύτερης μεταβλητής κατάστασης είναι:

$$\frac{dx_F}{dt} = \frac{v_{xT}}{\sqrt{1 + \left[\frac{df}{dx_F} \right]^2}}$$

- ▶ Το σχεσιακό διάγραμμα εισόδου-εξόδου για την προσομοίωση της κινητικής του οχήματος φαίνεται στο Σχήμα 2.9.

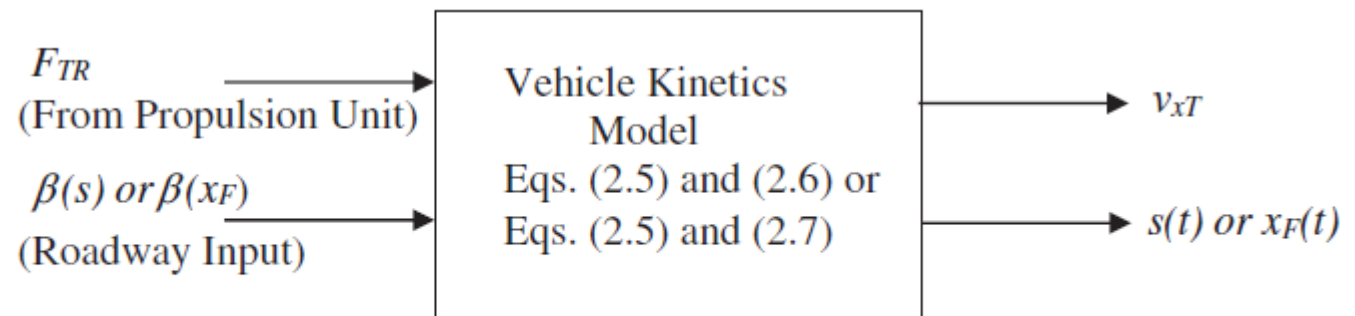


FIGURE 2.9 Modeling of vehicle kinetics and roadway.

PROPULSION POWER

- ▶ Η επιθυμητή ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα ή η ισχύς που απαιτείται από τον συνδυασμό ηλεκτροκινητήρα και κινητήρα εσωτερικής καύσης (δηλαδή της μονάδας πρόωσης) μπορεί να υπολογιστεί από τις παραπάνω **εξισώσεις με βάση τους περιορισμούς του συστήματος της αρχικής επιτάχυνσης, της ονομαστικής και μέγιστης ταχύτητας του οχήματος και της ικανότητας κλίσης του οχήματος.**
- ▶ Η ροπή στους τροχούς του οχήματος μπορεί να ληφθεί από τη σχέση ισχύος:

$$\text{Power} = T_{TR} \cdot \omega_{wh} = F_{TR} \cdot v_{xT} \text{ [W]}$$

- ▶ όπου T_{TR} είναι η ροπή έλξης σε Nm και ω_{wh} είναι η γωνιακή ταχύτητα του τροχού σε rads/s. Η F_{TR} είναι σε N και η v_{xT} είναι σε m/s. Η γωνιακή ταχύτητα και η ταχύτητα του οχήματος σχετίζονται με τον τύπο:

$$v_{xT} = \omega_{wh} \cdot r_{wh}$$

- ▶ όπου r_{wh} είναι η ακτίνα του τροχού σε μέτρα. Οι απώλειες μεταξύ της μονάδας πρόωσης και των τροχών στο κιβώτιο ταχυτήτων και στο διαφορικό πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα υπόψη κατά τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ισχύος της μονάδας πρόωσης.

PROPULSION POWER

- ▶ Ένα μεγάλο πλεονέκτημα ενός ηλεκτρικά κινούμενου συστήματος πρόωσης είναι η εξάλειψη πολλαπλών ταχυτήτων για την αντιστοίχιση της ταχύτητας του οχήματος και της ταχύτητας του κινητήρα.
- ▶ Η λειτουργία μεγάλου εύρους στροφών των ηλεκτρικών κινητήρων που καθίσταται δυνατή από τον έλεγχο ηλεκτρονικών ισχύος καθιστά δυνατή τη χρήση ενός κιβωτίου ταχυτήτων με μία μόνο σχέση μετάδοσης για άμεση αντιστοίχιση της διαθέσιμης ροπής του κινητήρα T με την επιθυμητή ροπή έλξης TTR .
- ▶ Η σχέση μετάδοσης και το μέγεθος εξαρτώνται από τη μέγιστη ταχύτητα του κινητήρα, τη μέγιστη ταχύτητα του οχήματος και την ακτίνα του τροχού.
- ▶ Μια υψηλότερη ταχύτητα του κινητήρα σε σχέση με την ταχύτητα του οχήματος σημαίνει υψηλότερη σχέση μετάδοσης, μεγαλύτερο μέγεθος και υψηλότερο κόστος.
- ▶ Ωστόσο, είναι επίσης επιθυμητή υψηλότερη ταχύτητα του κινητήρα προκειμένου να αυξηθεί η πυκνότητα ισχύος του κινητήρα.
- ▶ Επομένως, είναι απαραίτητος ένας συμβιβασμός μεταξύ της μέγιστης ταχύτητας του κινητήρα και της σχέσης μετάδοσης για βελτιστοποίηση του κόστους.
- ▶ Τα πλανητικά γρανάζια χρησιμοποιούνται συνήθως για ηλεκτρικά οχήματα με τη σχέση μετάδοσης σπάνια να υπερβαίνει το 10.

Force–Velocity characteristics

- ▶ Έχοντας προσδιορίσει τις θεμελιώδεις δυνάμεις και τη σχετική δυναμική για τα ηλεκτρικά και τα υβριδικά οχήματα, ας προσπαθήσουμε τώρα να συσχετίσουμε αυτές τις εξισώσεις με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις σχεδιασμού ενός οχήματος.
- ▶ Για έναν αποτελεσματικό σχεδιασμό της μονάδας πρόωσης, ο σχεδιαστής πρέπει να γνωρίζει τη δύναμη που απαιτείται για να επιταχύνει το όχημα σε μια ταχύτητα πλεύσης εντός ενός ορισμένου χρόνου και στη συνέχεια να το προωθήσει προς τα εμπρός στην ονομαστική σταθερή κατάσταση ταχύτητας πλεύσης και στη μέγιστη ταχύτητα σε μια καθορισμένη κλίση.
- ▶ Οι χρήσιμες πληροφορίες σχεδιασμού περιέχονται στα χαρακτηριστικά της ταχύτητας του οχήματος ως προς τον χρόνο και της δύναμης έλξης σε σταθερή κατάσταση ως προς τη σταθερή ταχύτητα, που απεικονίζονται στα Σχήματα 2.10 και 2.11.
- ▶ Στις ενότητες που ακολουθούν και στο υπόλοιπο αυτού του βιβλίου, θα υποθέτουμε πάντα ότι η ταχύτητα είναι στην εφαπτομενική κατεύθυνση και θα τη συμβολίζουμε με v αντί για v_{xT} για απλότητα.
- ▶ Η σταθερή ταχύτητα σε σταθερή κατάσταση θα συμβολίζεται με κεφαλαία γράμματα V .

Force–Velocity characteristics

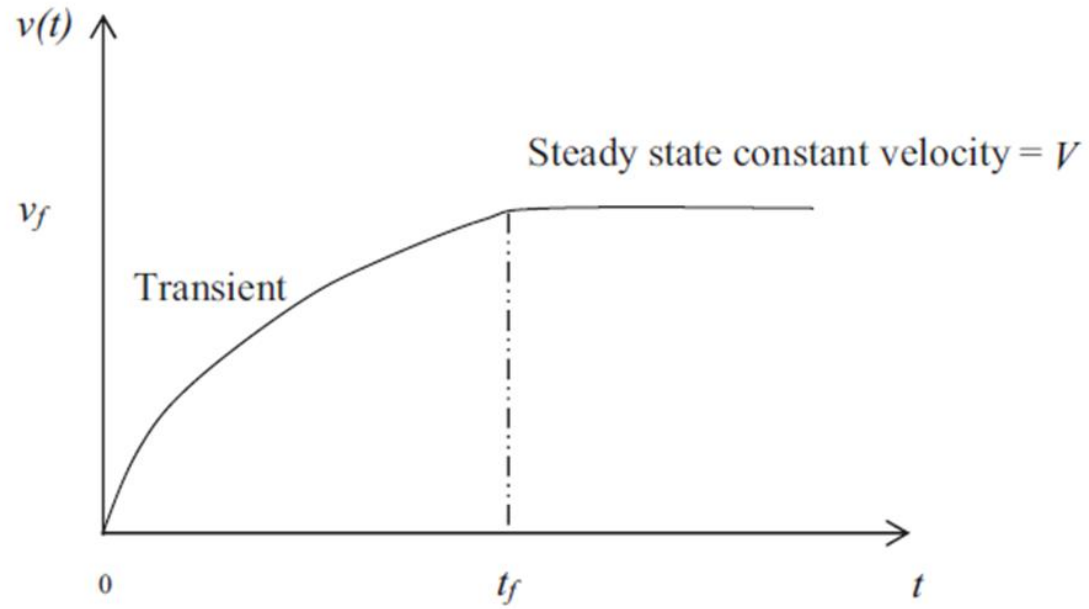


FIGURE 2.10 Plot of velocity profile.

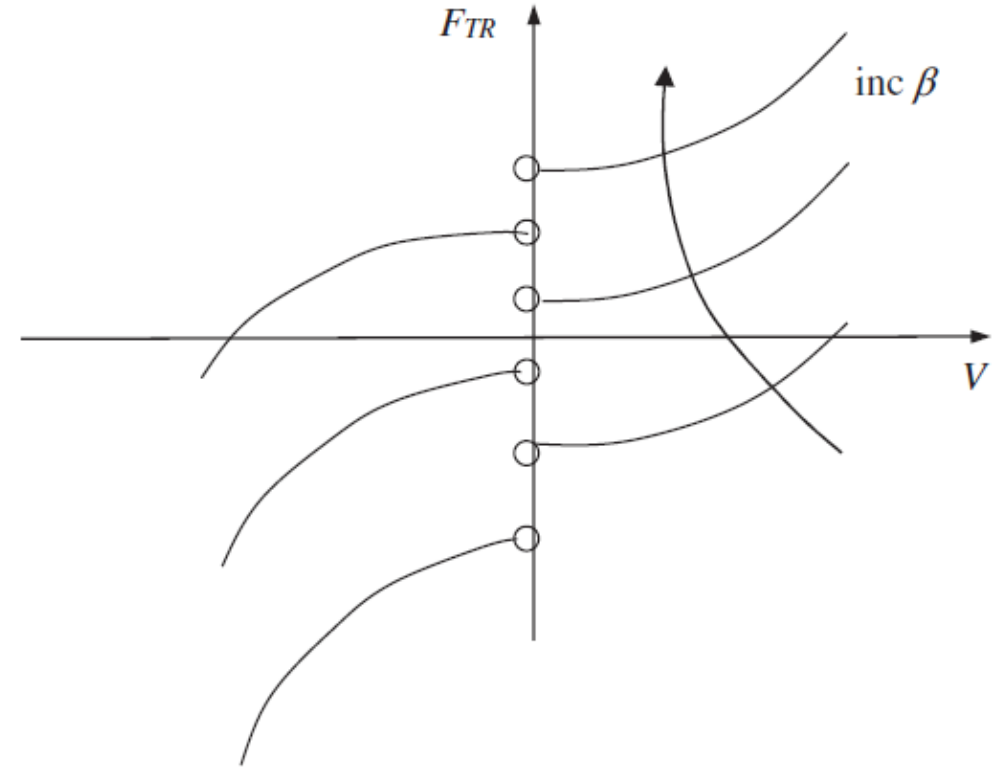


FIGURE 2.11 Tractive force versus steady-state velocity characteristics.

Force–Velocity characteristics

- ▶ Τα χαρακτηριστικά της ελκτικής δύναμης έναντι της ταχύτητας σε σταθερή κατάσταση μπορούν να ληφθούν από την εξίσωση κίνησης (Εξίσωση 2.5).

$$k_m m \frac{dv_{xT}}{dt} = F_{TR} - F_{RL}$$

- ▶ Όταν επιτευχθεί σταθερή ταχύτητα, $dv/dt = 0$; Οπότε και, $\Sigma F = 0$.

- ▶ Ως εκ τούτου, έχουμε

$$F_{TR} - F_{AD} - F_{ROLL} - F_{gxT} = 0$$

$$\Rightarrow F_{TR} = mg [\sin \beta + C_0 \operatorname{sgn}(V)] + \operatorname{sgn}(V) \left[mgC_1 + \frac{\rho}{2} C_D A_F \right] V^2.$$

- ▶ Σημειώστε ότι

$$1. \frac{dF_{TR}}{dV} = 2V \operatorname{sgn}(V) \left(\frac{\rho C_D A_F}{2} + mgC_1 \right) > 0 \quad \forall V \text{ and}$$

$$2. \lim_{V \rightarrow 0^+} F_{TR} \neq \lim_{V \rightarrow 0^-} F_{TR}.$$

- ▶ Η πρώτη εξίσωση αποκαλύπτει ότι η **κλίση του FTR ως προς το V είναι πάντα θετική**, που σημαίνει ότι η απαιτούμενη δύναμη αυξάνεται περισσότερο από την αύξηση της ταχύτητας καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του οχήματος, κάτι που οφείλεται στην αεροδυναμική δύναμη οπισθέλκουσας που αντιτίθεται στην κίνηση του οχήματος. Επίσης, η ασυνέχεια των καμπυλών σε μηδενική ταχύτητα οφείλεται στη δύναμη αντίστασης κύλισης.

Maximum Gradability

- ▶ Η μέγιστη κλίση που ένα όχημα θα είναι σε θέση να ξεπεράσει με τη μέγιστη δύναμη που διατίθεται από τη μονάδα πρόωσης είναι ένα σημαντικό κριτήριο σχεδιασμού καθώς και μέτρο απόδοσης.
- ▶ Το όχημα αναμένεται να κινείται πολύ αργά κατά την ανάβαση σε μια απότομη πλαγιά και, ως εκ τούτου, μπορούμε να κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις για μέγιστη ικανότητα κλίσης:
 1. Το όχημα κινείται πολύ αργά $\Rightarrow v \cong 0$.
 2. Οι FAD και Froll είναι αμελητέες.
 3. Το όχημα δεν επιταχύνει, δηλαδή, $dv/dt = 0$.
 4. Το F_{TR} είναι η μέγιστη ελκτική δύναμη που παρέχεται από τον κινητήρα (ή τους κινητήρες) σε σχεδόν μηδενική ταχύτητα.
- ▶ Σε κατάσταση σχεδόν ακινητοποίησης, υπό τις παραπάνω υποθέσεις,

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow F_{TR} - F_{gxT} = 0 \Rightarrow F_{TR} = mg \sin \beta.$$

- ▶ Επομένως: $\sin \beta = \frac{F_{TR}}{mg}$

- ▶ Το μέγιστο ποσοστό κλίσης είναι:

$$\text{Max. \% grade} = 100 \tan \beta$$

$$\Rightarrow \text{Max. \% grade} = \frac{100 F_{TR}}{\sqrt{(mg)^2 - F_{TR}^2}}$$

Maximum Gradability

- ▶ Η μέγιστη κλίση που ένα όχημα θα είναι σε θέση να ξεπεράσει με τη μέγιστη δύναμη που διατίθεται από τη μονάδα πρόωσης είναι ένα σημαντικό κριτήριο σχεδιασμού καθώς και μέτρο απόδοσης.
- ▶ Το όχημα αναμένεται να κινείται πολύ αργά κατά την ανάβαση σε μια απότομη πλαγιά και, ως εκ τούτου, μπορούμε να κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις για μέγιστη ικανότητα κλίσης:

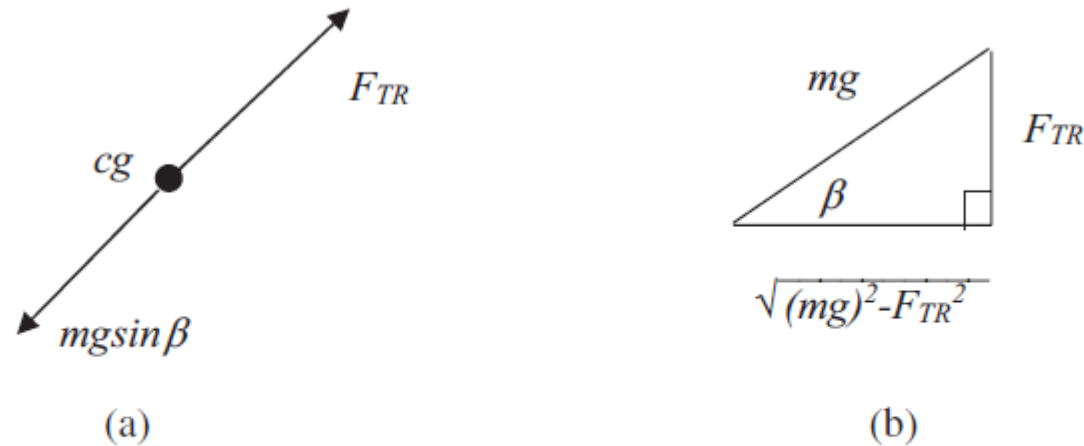


FIGURE 2.12 (a) Force diagram to determine maximum gradability. (b) Tractive force and mg with respect to the grade.

VELOCITY AND ACCELERATION

- ▶ Η **ενέργεια που απαιτείται από τη μονάδα πρόωσης** εξαρτάται από την **επιθυμητή επιτάχυνση** και τη **δύναμη φορτίου στο δρόμο** που πρέπει να υπερνικήσει το όχημα.
- ▶ Η **μέγιστη επιτάχυνση** περιορίζεται από τη **μέγιστη διαθέσιμη ελκτική ισχύ** και την **κατάσταση του οδοστρώματος** κατά τη στιγμή της λειτουργίας του οχήματος.
- ▶ Αν και η **δύναμη φορτίου οδοστρώματος είναι άγνωστη** σε έναν πραγματικό δρόμο, μπορούν να ληφθούν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το προφίλ ταχύτητας του οχήματος και τις ενεργειακές απαιτήσεις **μέσω μελετών υποτιθέμενων σεναρίων**.
- ▶ Τα οχήματα συνήθως **σχεδιάζονται** με έναν συγκεκριμένο στόχο, όπως η **μέγιστη επιτάχυνση σε μια δεδομένη κλίση οδοστρώματος** σε τυπικές καιρικές συνθήκες.
- ▶ Δύο απλοποιημένα σενάρια που θα καθορίσουν το στάδιο για τον σχεδιασμό ηλεκτρικών και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων:

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st

Constant F_{TR} , on level road

- ▶ Στην πρώτη περίπτωση, θα υποθέσουμε μια κατάσταση επίπεδου δρόμου όπου η μονάδα πρόωσης για ένα ηλεκτρικό όχημα ασκεί μια σταθερή ελκτική δύναμη.
- ▶ Η κατάσταση επίπεδου δρόμου υποδηλώνει ότι $\beta(s) = 0$. Θα υποθέσουμε ότι το ηλεκτρικό όχημα βρίσκεται αρχικά σε ηρεμία, πράγμα που υποδηλώνει $v(0) = 0$. Το διάγραμμα ελεύθερου σώματος στο $t = 0$ φαίνεται στο **Σχήμα**.

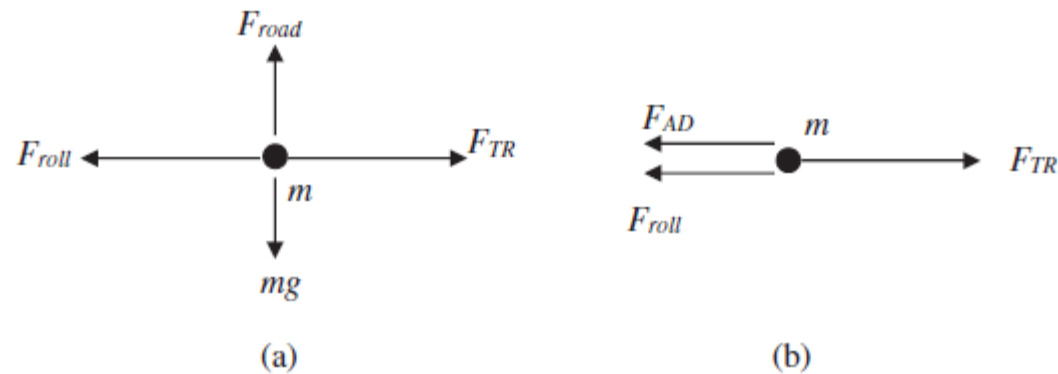


FIGURE 2.13 Forces acting on the vehicle on a level road: (a) free body diagram at $t = 0$ and (b) forces on the vehicle at $t > 0$.

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st

Constant F_{TR} , on level road

- Υποθέτουμε ότι $F_{TR}(0) = F_{TR} > C_0 mg$, δηλαδή, η αρχική ελκτική δύναμη είναι ικανή να υπερνικήσει την αρχική αντίσταση κύλισης. Επομένως,

$$\begin{aligned}\Sigma F(0) &= ma(0) = m \frac{dv(0)}{dt} \\ \Rightarrow F_{TR} - C_0 mg &= m \frac{dv(0)}{dt}.\end{aligned}$$

- Δεδομένου ότι $F_{TR}(0) > C_0 mg$, $dv(0)/dt > 0$ και η ταχύτητα v αυξάνεται. Μόλις το όχημα αρχίσει να κινείται, οι δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό αλλάζουν. Στο $t > 0$,

$$\begin{aligned}\Sigma F &= m \frac{dv}{dt} \Rightarrow F_{TR} - F_{AD} - F_{roll} = m \frac{dv}{dt} \\ \Rightarrow F_{TR} - \text{sgn}[v(t)] \frac{\rho}{2} C_D A_F v^2(t) - \text{sgn}[v(t)] mg (C_0 + C_1 v^2(t)) &= m \frac{dv}{dt}\end{aligned}$$

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st

Constant F_{TR} , on level road

- ▶ Υποθέτοντας $v(t) > 0$ για $t > 0$ και λύνοντας για dv/dt ,

$$\frac{dv}{dt} = \left(\frac{F_{TR}}{m} - gC_0 \right) - \left[\frac{\rho}{2m} C_D A_F + gC_1 \right] v^2$$

- ▶ Ας ορίσουμε τις ακόλουθες σταθερές για μια σταθερή επιτάχυνση δύναμης F_{TR}

$$K_1 = \frac{F_{TR}}{m} - gC_0 > 0$$

$$K_2 = \frac{\rho}{2m} C_D A_F + gC_1 > 0$$

- ▶ Που μας δίνει:

$$\frac{dv}{dt} = K_1 - K_2 v^2.$$

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st Constant

F_{TR} , on level road – Velocity Profile – 24/11:

- ▶ Το προφίλ ταχύτητας για την περίπτωση σταθερού F_{TR} , σε επίπεδο δρόμο, μπορεί να ληφθεί λύνοντας ως προς v από την εξίσωση dv/dt που αναφέρεται παραπάνω, η οποία δίνει (βλ. Σχήμα 2.14)

$$v(t) = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \tanh(\sqrt{K_1 K_2} t)$$

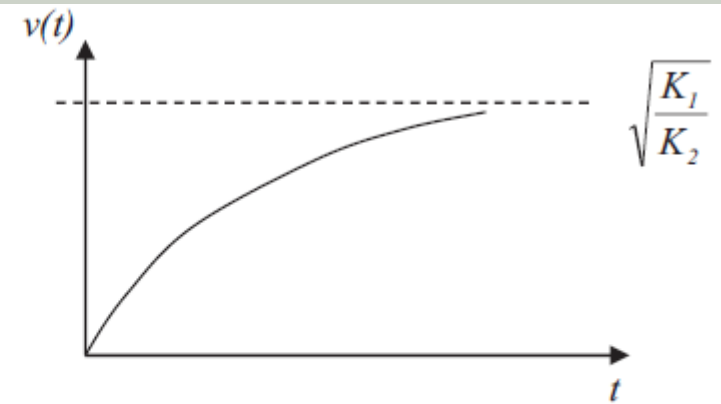


FIGURE 2.14 Velocity profile for a constant F_{TR} on a level road.

- ▶ Η τελική ταχύτητα μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας το όριο του προφίλ ταχύτητας καθώς ο χρόνος πλησιάζει το άπειρο. Η τελική ταχύτητα είναι

$$V_T = \lim_{t \rightarrow \infty} v(t) = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \Rightarrow \sqrt{K_1 K_2} = K_2 V_T.$$

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st Constant

F_{TR} , on level road – Distance Traversed:

- ▶ Η απόσταση που διανύει το όχημα μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{ds(t)}{dt} = v(t) = V_T \tanh(K_2 V_T t)$$

- ▶ Η απόσταση ως συνάρτηση του χρόνου προκύπτει από την ολοκλήρωση της παραπάνω εξίσωσης:

$$s(t) = \frac{1}{K_2} \ln[\cosh(K_2 V_T t)]$$

- ▶ Η αρχική επιτάχυνση συχνά ορίζεται ως 0 έως v_f m/s σε t_f s, όπου v_f είναι η επιθυμητή ταχύτητα στο τέλος του καθορισμένου χρόνου t_f s.
- ▶ Ο χρόνος για την επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας και η απόσταση που διανύεται κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου δίνεται από:

$$t_f = \frac{1}{K_2 V_T} \cosh^{-1} \left[e^{(K_2 s_f)} \right] \text{ and}$$
$$s_f = \frac{1}{K_2} \ln[\cosh(K_2 V_T t_f)], \text{ respectively.}$$

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st Constant

F_{TR} , on level road – Distance Traversed:

- ▶ Ο επιθυμητός χρόνος μπορεί επίσης να εκφραστεί ως

$$t_f = \frac{1}{\sqrt{K_1 K_2}} \tanh^{-1} \left(\sqrt{\frac{K_2}{K_1}} v_f \right)$$

όπου v_f είναι η ταχύτητα μετά τον χρόνο t_f .

- ▶ Για παράδειγμα, έστω t_{V_T} = χρόνος για να επιτευχθεί το 98% της τελικής ταχύτητας V_T .
Επομένως,

$$t_{V_T} = \frac{1}{\sqrt{K_1 K_2}} \tanh^{-1} \left(\frac{0.98 V_T}{V_T} \right) \text{ or}$$

$$t_{V_T} = \frac{2.3}{\sqrt{K_1 K_2}} \text{ or } \frac{2.3}{K_2 V_T}.$$

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st Constant

F_{TR} , on level road – Tractive Power:

- ▶ Η στιγμιαία ελκτική ισχύς που παρέχεται από τη μονάδα πρόωσης είναι

$$P_{TR}(t) = F_{TR}v(t).$$

- ▶ Αντικαθιστώντας το $v(t)$

$$\dot{P}_{TR}(t) = F_{TR}V_T \tanh(K_2V_T t).$$

$$\Rightarrow P_{TR}(t) = F_{TR}V_T \tanh(\sqrt{K_1K_2}t) = P_T \tanh(\sqrt{K_1K_2}t).$$

- ▶ Η ισχύς του τερματικού μπορεί να εκφραστεί ως $P_T = F_{TR}V_T$. Η ισχύς έλξης που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας v_f στο διάστημα επιτάχυνσης Δt (βλ. **Σχήμα 2.15**) είναι

$$P_{TRpk} = P_T \tanh(\sqrt{K_1K_2}t_f).$$

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st Constant

F_{TR} , on level road – Tractive Power:

- ▶ Η μέση ελκτική ισχύς στο διάστημα επιτάχυνσης Δt είναι:

$$\overline{P_{TR}} = \frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} P_{TR}(t) dt$$

$$\Rightarrow \overline{P_{TR}} = \frac{P_T}{t_f} \frac{1}{\sqrt{K_1 K_2}} \ln \left[\cosh \left(\sqrt{K_1 K_2} t_f \right) \right]$$

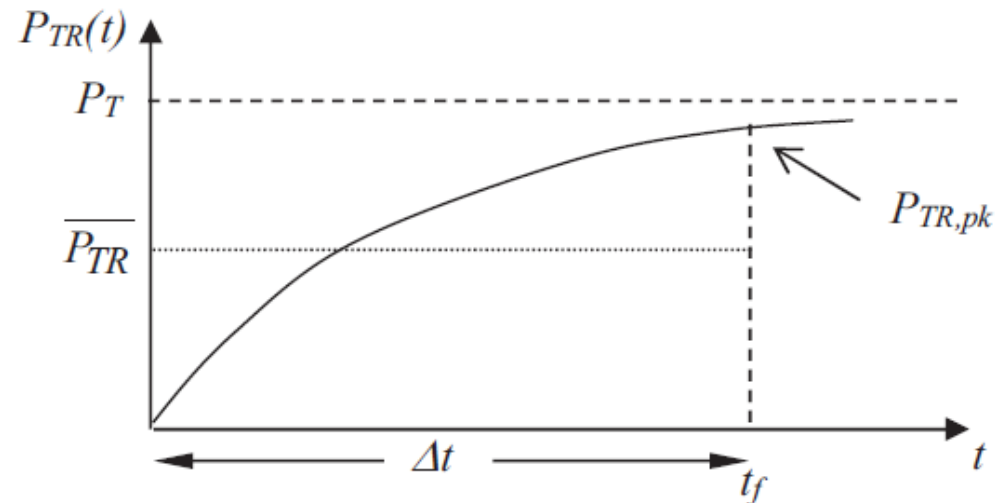


FIGURE 2.15 Acceleration interval $\Delta t = t_f - 0$.

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st Constant

F_{TR} , on level road – Energy Required:

- ▶ Η **απαιτούμενη ενέργεια** για μια δεδομένη επιτάχυνση και σταθερή ταχύτητα σε σταθερή κατάσταση είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό και την επιλογή της πηγής ενέργειας ή των μπαταριών για την κάλυψη μιας ορισμένης απόστασης.
- ▶ Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας είναι η ελκτική ισχύς που δίνεται ως

$$P_{TR}(t) = \frac{de_{TR}}{dt}$$

- ▶ όπου e_{TR} είναι η στιγμιαία ενέργεια έλξης. Η απαιτούμενη ενέργεια ή η μεταβολή της ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος του οχήματος μπορεί να ληφθεί από την ολοκλήρωση της εξίσωσης στιγμιαίας ισχύος ως:

$$\int_{e_{TR}(0)}^{e_{TR}(t_f)} de_{TR} = \int_{t=0}^{t_f} P_{TR} dt$$
$$\Rightarrow \Delta e_{TR} = t_f \overline{P_{TR}}$$

VELOCITY AND ACCELERATION – 1st Constant

F_{TR} , on level road – Energy Required:

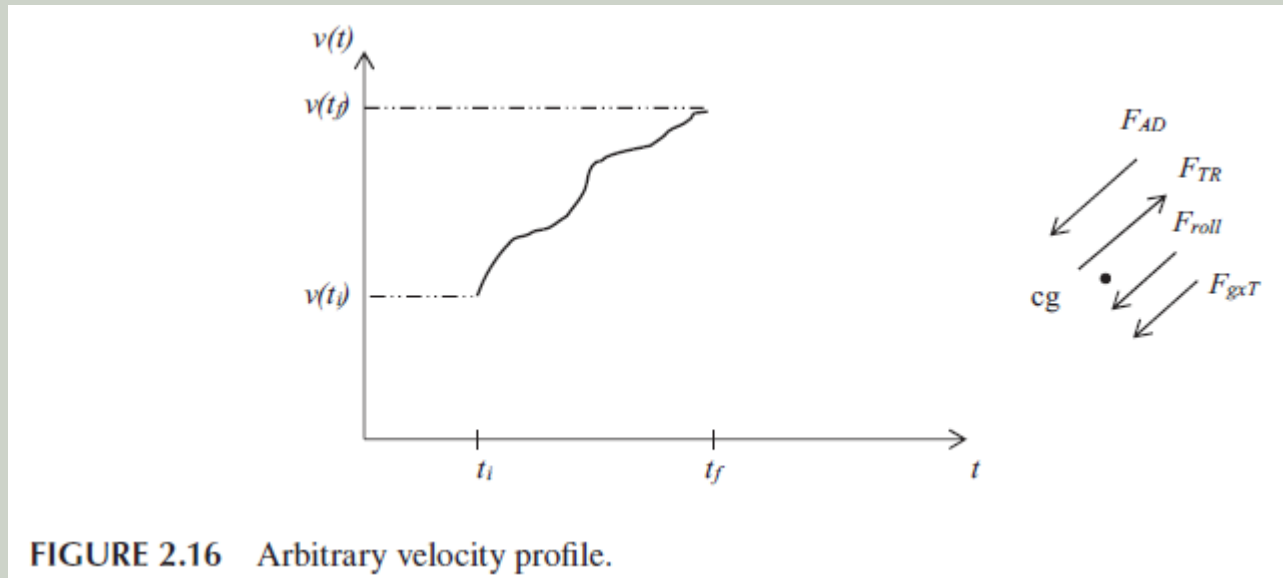
- ▶ Παράδειγμα 2.1 σελ 36
- ▶ Άσκηση για το σπίτι: 2.2 σελ 37

Παρένθεση για τον ΜΙΛΛΕΡ!

1 / 12 Συνέχεια για τη θεωρία του ΜΙΛΛΕΡ

VELOCITY AND ACCELERATION – 2st NON-Constant F_{TR} , General Acceleration:

- ▶ Στην γενική περίπτωση της μη σταθερής F_{TR} , και ένα ασταθές προφίλ ταχύτητας όπως αυτό του παρακάτω σχήματος,



- ▶ η δύναμη μπορεί να υπολογιστεί με τον εξής τρόπο:

VELOCITY AND ACCELERATION – 2st NON-Constant F_{TR} , General Acceleration:

- ... η δύναμη μπορεί να υπολογιστεί με τον εξής τρόπο:

$$\Sigma F = m \frac{dv}{dt}$$

$$\Rightarrow F_{TR} - F_{AD} - F_{roll} - F_{gxT} = m \frac{dv}{dt}$$

$$\Rightarrow F_{TR} = m \frac{dv}{dt} + mg \sin \beta + F_{AD} + F_{roll}$$

$$= m \frac{dv}{dt} + mg \sin \beta + \left[mgC_1 + \frac{\rho}{2} A_F C_D \right] v^2 + mgC_0.$$

- Η στιγμιαία ελκτική ισχύς $P_{TR}(t)$ είναι,

$$P_{TR}(t) = F_{TR}(t)v(t)$$

$$= mv \frac{dv}{dt} + v(F_{gxT} + F_{AD} + F_{roll}).$$

VELOCITY AND ACCELERATION – 2st NON-Constant F_{TR} , General Acceleration:

- ▶ Η μεταβολή στην ελκτική ενέργεια Δe_{TR} είναι

$$\Delta e_{TR} = \int_{t_i}^{t_f} P_{TR}(t) dt$$

- ▶ Εξίσωση 2,23

$$= m \int_{v(t_i)}^{v(t_f)} v dv + \int_{t_i}^{t_f} (v) F_{gxT} dt + \int_{t_i}^{t_f} (v) (F_{AD} + F_{roll}) dt$$

- ▶ Η ενέργεια που παρέχεται από τη μονάδα πρόωσης μετατρέπεται σε διάφορες μορφές ενέργειας, μερικές από τις οποίες αποθηκεύονται στο σύστημα του οχήματος, ενώ άλλες χάνονται λόγω των μη κατασκευαστικών δυνάμεων. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ο τύπος ενέργειας που σχετίζεται με κάθε όρο στην **Εξίσωση 2.23**.

VELOCITY AND ACCELERATION – 2st NON-Constant F_{TR} , General Acceleration:

- ▶ Ας εξετάσουμε τον πρώτο όρο στη δεξιά πλευρά της Εξίσωσης 2.23.

$$m \int_{v(t_i)}^{v(t_f)} v dv = \frac{1}{2} m [v^2(t_f) - v^2(t_i)] = \Delta (\text{kinetic energy})$$

- ▶ Επιπροσθέτως,

$$\begin{aligned} \int_{t_i}^{t_f} (v) F_{gxT} dt &= mg \int_{t_i}^{t_f} v \sin \beta dt = mg \int_{s(t_i)}^{s(t_f)} \sin \beta ds = mg \int_{f(t_i)}^{f(t_f)} df \\ &= mg [f(t_f) - f(t_i)] \\ &= \Delta (\text{potential energy}) \end{aligned}$$

- ▶ Ο παραπάνω όρος αντιπροσωπεύει την αλλαγή στην κατακόρυφη μετατόπιση πολλαπλασιασμένη με mg , η οποία είναι η αλλαγή σε δυναμική ενέργεια.

VELOCITY AND ACCELERATION – 2st NON-

Constant F_{TR} , General Acceleration:

- ▶ Ο τρίτος και ο τέταρτος όρος στη δεξιά πλευρά της **Εξίσωσης 2.23** αντιπροσωπεύουν την ενέργεια που απαιτείται για να υπερνικηθούν οι μη κατασκευαστικές δυνάμεις που περιλαμβάνουν την αντίσταση κύλισης και την αεροδυναμική οπισθέλκουσα.
- ▶ Η ενέργεια που αντιπροσωπεύεται σε αυτούς τους όρους είναι ουσιαστικά ο όρος απώλειας. Επομένως,

$$\int_{t_i}^{t_f} (v)(F_{AD} + F_{roll}) dt = E_{loss}.$$

- ▶ Έστω ότι,

$$K_3 = mgC_0, K_4 = mgC_1 + \frac{\rho}{2} C_D A_F. \text{ For, } v(t) > 0, t_i \leq t \leq t_f,$$

$$\begin{aligned} E_{loss} &= K_3 \int_{t_i}^{t_f} \frac{ds}{dt} dt + K_4 \int_{t_i}^{t_f} v^3 dt; \\ &= K_3 \Delta s + K_4 \int_{t_i}^{t_f} v^3 dt. \end{aligned}$$

VELOCITY AND ACCELERATION – 2st NON-Constant F_{TR} , General Acceleration:

- Συνοπτικά, μπορούμε να γράψουμε,

$$\Delta e_{TR} = \frac{1}{2} m [v^2(t_f) - v^2(t_i)] + mg [f(t_f) - f(t_i)] + \int_{t_i}^{t_f} (v)(F_{AD} + F_{roll}) dt \text{ or}$$
$$\Delta e_{TR} = \Delta (\text{kintetic energy}) + \Delta (\text{potential energy}) + E_{loss}$$

- Άσκηση 2.3

Το όχημα με τις παραμέτρους που δίνονται στην Άσκηση 2.2 επιταχύνει από 0 σε 60 mph σε 13,0 s για τους ακόλουθους δύο τύπους επιτάχυνσης:

- (i) σταθερό F_{TR} και
- (ii) ομοιόμορφη επιτάχυνση.

α. Σχεδιάστε στο ίδιο γράφημα το προφίλ ταχύτητας κάθε τύπου επιτάχυνσης.

β. Υπολογίστε και συγκρίνετε την απαιτούμενη ελκτική ενέργεια για τους δύο τύπους επιτάχυνσης.

$$F_{TR} = \text{const.} = 1,548 \text{ N}$$

Απάντηση: (b) $\Delta e_{TR} = 0.2752 \text{ MJ}$ για σταθερή F_{TR} & $\Delta e_{TR} = 0.2744 \text{ MJ}$ για ομοιόμορφη επιτάχυνση.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS

- ▶ Στο επίπεδο επαφής ελαστικού-εδάφους ενός κινούμενου οχήματος ασκούνται διάφορες δυνάμεις, συμπεριλαμβανομένης της δύναμης έλξης.
- ▶ Η ροπή έλξης από το σύστημα πρόωσης μετατρέπεται σε δύναμη έλξης μέσω της αλληλεπίδρασης του πνευματικού ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος.
- ▶ Το πνευματικό ελαστικό έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί διάφορες λειτουργίες ενός επίγειου οχήματος, συμπεριλαμβανομένης της στήριξης του βάρους του οχήματος, και να παρέχει πρόσφυση για οδήγηση και πέδηση.
- ▶ Το δυναμικό απόδοσης ενός οχήματος εξαρτάται όχι μόνο από τα χαρακτηριστικά του συστήματος πρόωσης και του κιβωτίου ταχυτήτων, αλλά και από τη μέγιστη δύναμη έλξης (ή πέδησης) που μπορεί να διατηρηθεί στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος.
- ▶ Η μέγιστη δύναμη τριβής (που μπορεί να διατηρηθεί) καθορίζεται από τον συντελεστή τριβής του πνευματικού ελαστικού, ο οποίος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά πρόσφυσης του στο οδόστρωμα και το κανονικό φορτίο στον άξονα ή τους άξονες κίνησης.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS

- ▶ Η μικρότερη δύναμη έλξης (ή πέδησης) του συστήματος πρόωσης και η μέγιστη βιώσιμη δύναμη τριβής καθορίζει την συνολική συμπεριφορά του οχήματος.
- ▶ Οι ιδιότητες πρόσφυσης στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος είναι θεμελιώδεις για την αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός οχήματος.
- ▶ Η μελέτη της μηχανικής των ελαστικών βοηθά στην κατανόηση του μηχανισμού μετάδοσης δύναμης μεταξύ του άξονα και του δρόμου.
- ▶ Το θέμα είναι περίπλοκο και έχουν προταθεί αρκετές θεωρίες για να κατανοήσουν τη διαδικασία που εμπλέκεται **[1-3]**.
- ▶ Μαζί μέσω του **βιβλίου** θα δούμε μια βασική επισκόπηση.

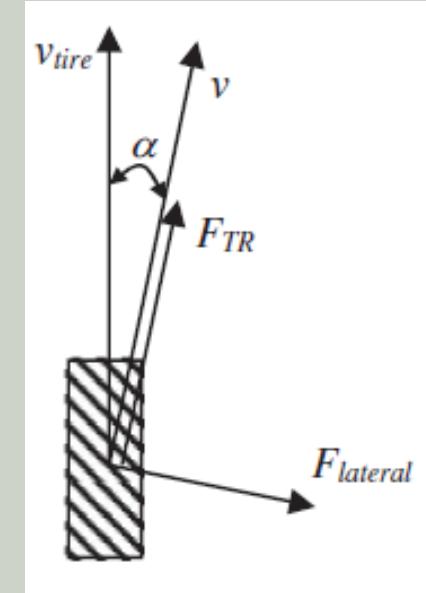
- ▶ 1. J.Y. Wong, *Theory of Ground Vehicles*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2008.
- ▶ 2. W.E. Meyer and H. W. Kummer, "Mechanism of Force Transmission Between Tire and Road," SAE Publication No. 490A, National Automobile Week, March 1962.
- ▶ 3. T.D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE International, Warrendale, PA, 1992.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Slip (Ολίσθηση)

- ▶ Οι δυνάμεις τριβής που είναι θεμελιώδεις για την πρόσφυση του οχήματος εξαρτώνται από τη διαφορά μεταξύ της ταχύτητας κύλισης του ελαστικού και της γραμμικής ταχύτητας κίνησης του.
- ▶ Η ταχύτητα κύλισης του ελαστικού σχετίζεται με τη γωνιακή ταχύτητα του τροχού και δίνεται από τη γνωστή σχέση (προσαρμοσμένη):

$$v_{tire} = \omega_{wh} r_{wh}$$

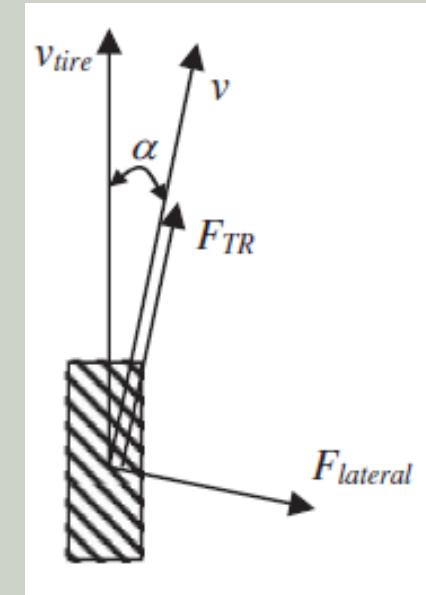
- ▶ όπου ω_{wh} είναι η ταχύτητα του τροχού και r_{wh} είναι η κτίνα του κινούμενου τροχού. Η ταχύτητα κίνησης του τροχού ισοδυναμεί με την ταχύτητα μετατόπισης v του οχήματος.
- ▶ Η γραμμική ταχύτητα v του οχήματος και η ταχύτητα του ελαστικού v_{tire} διαφέρουν σε μέγεθος και κατεύθυνση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.17.
- ▶ Η γωνία μεταξύ της ταχύτητας του ελαστικού και της ταχύτητας του οχήματος είναι γνωστή ως γωνία ολίσθησης α , η οποία φαίνεται στο Σχήμα 2.17 με υπερβολή.



Σχήμα 2.17 Ταχύτητα και δυνάμεις στην περιοχή επαφής ελαστικού-οδοστρώματος.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Slip (Ολίσθηση)

- ▶ Η ίδια η διαφορά στην ταχύτητα δημιουργείται λόγω των ιδιοτήτων του ελαστικού και της αλληλεπίδρασης των δυνάμεων στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος.
- ▶ Οι δυνάμεις του ελαστικού δεν ασκούνται σε ένα σημείο, αλλά κατανέμονται στην περιοχή επαφής του ελαστικού με την επιφάνεια του οδοστρώματος.
- ▶ Επιπλέον, οι δυνάμεις δεν είναι ομοιόμορφες κατά μήκος της περιοχής επαφής ούτε κατά τη διαμήκη ούτε κατά την πλευρική κατεύθυνση.
- ▶ Η δύναμη έλξης του οχήματος F_{TR} λειτουργεί κατά τη διαμήκη κατεύθυνση.
- ▶ Οι διαμήκεις και οι πλευρικές δυνάμεις θα συζητηθούν περαιτέρω παρακάτω.



Σχήμα 2.17 Ταχύτητα και δυνάμεις στην περιοχή επαφής ελαστικού-οδοστρώματος.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Slip (Ολίσθηση)

- ▶ Πρώτον, ας συζητήσουμε την **ολίσθηση του οχήματος κατά τη διαμήκη διεύθυνση**.
- ▶ Τα πέλματα του ελαστικού εισέρχονται σταδιακά στην επιφάνεια επαφής ενός κινούμενου οχήματος όταν εφαρμόζεται ροπή έλξης στον κινούμενο τροχό.
- ▶ Τα πέλματα του ελαστικού στο μπροστινό άκρο της επιφάνειας επαφής υφίστανται υψηλά επίπεδα συμπίεσης σε σύγκριση με το πίσω άκρο λόγω της ροπής έλξης που εφαρμόζεται στον άξονα.
- ▶ Η κύλιση των τροχών και η ροπή έλξης προκαλούν επίσης μετατόπιση στο στιγμιαίο κέντρο περιστροφής.
- ▶ Το πλευρικό τοίχωμα του ελαστικού υφίσταται ταυτόχρονα παραμόρφωση διάτμησης.
- ▶ Η απόσταση που διανύει το ελαστικό όταν υπόκειται σε ροπή πρόωσης θα είναι μικρότερη από αυτήν σε ένα ελαστικό που κυλάει ελεύθερα λόγω της συμπίεσης.
- ▶ Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια διαφορά μεταξύ της γωνιακής ταχύτητας του τροχού και της ταχύτητας του οχήματος, η οποία είναι γνωστή ως διαμήκης ολίσθηση ή απλώς ολίσθηση.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Slip (Ολίσθηση)

- ▶ Η ολίσθηση ορίζεται ως ο λόγος της γραμμικής ταχύτητας του οχήματος και της ταχύτητας περιστροφής του τροχού.

- ▶ Μαθηματικά, η ολίσθηση ενός οχήματος δίνεται ως

$$s = \left(1 - \frac{v}{\omega_{wh} r_{wh}} \right)$$

- ▶ όπου v είναι η ταχύτητα του οχήματος.

- ▶ Δεδομένου ότι η ταχύτητα του οχήματος v είναι μικρότερη από τη γωνιακή ταχύτητα του τροχού, η οποία μετατρέπεται σε γραμμική ταχύτητα $\omega_{wh} r_{wh}$, η ολίσθηση είναι ένας θετικός αριθμός μεταξύ 0 και 1,0 για την πρόωση. Η ολίσθηση εκφράζεται συχνά ως ποσοστό.

- ▶ Η ταχύτητα του οχήματος δίνεται στη συνέχεια από

$$v = \omega_{wh} r_{wh} (1 - s)$$

- ▶ Κατά το φρενάρισμα του οχήματος, το ελαστικό υπόκειται σε παρόμοια συμπίεση λόγω της εφαρμοζόμενης ροπής φρεναρίσματος, και εμφανίζεται μια διαφορά στην ταχύτητα του οχήματος και στη γωνιακή ταχύτητα του τροχού που επιτρέπει στο όχημα να σταματήσει.

- ▶ Η ολίσθηση κατά το φρενάρισμα δίνεται ως

$$s = \left(1 - \frac{\omega_{wh} r_{wh}}{v} \right)$$

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Traction force

at tire – road interface

- ▶ Η περιστροφική κίνηση των αξόνων μετατρέπεται σε γραμμική κίνηση του οχήματος στη διεπαφή ελαστικού-δρόμου για να καταστεί δυνατή η κίνηση του οχήματος.
- ▶ Όταν εφαρμόζεται ροπή σε έναν κινητήριο τροχό μέσω του άξονα ενός οχήματος, αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής ανάλογες με τη ροπή έλξης στη διεπαφή ελαστικού-δρόμου.
- ▶ Οι δυνάμεις στο ελαστικό δεν εντοπίζονται σε ένα σημείο όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αλλά είναι το αποτέλεσμα των κάθετων και διατμητικών τάσεων που ασκούνται από κάθε στοιχείο του πέλματος του ελαστικού που κατανέμονται στο σημείο επαφής.
- ▶ Η τάση κάτω από το ελαστικό κατανέμεται μη ομοιόμορφα στις κατευθύνσεις x και z κατά μήκος του δισδιάστατου σημείου επαφής στη διεπαφή ελαστικού-δρόμου.
- ▶ Αυτή η δισδιάστατη κατανομή τάσεων δημιουργεί τόσο διαμήκεις όσο και πλευρικές δυνάμεις.
- ▶ Οι διαμήκεις και πλευρικές δυνάμεις μπορούν να ληφθούν ενσωματώνοντας τη διατμητική τάση στο σημείο επαφής στην περιοχή επαφής.
- ▶ Η διαμήκης δύναμη είναι η δύναμη έλξης που είναι υπεύθυνη για την ταχύτητα προς τα εμπρός του οχήματος.
- ▶ Θα εστιάσουμε τη συζήτησή μας στη διαμήκη δύναμη. Αυτή η δύναμη έχει αναφερθεί ως δύναμη έλξης F_{TR} νωρίτερα στο κεφάλαιο.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Traction force

at tire – road interface

- ▶ Οι δυνάμεις σε έναν τροχό και η κατανομή της τάσης στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος φαίνονται στο **Σχήμα 2.18**.
- ▶ Η κατανομή της τάσης και οι προκύπτουσες δυνάμεις φαίνονται σε σχέση με την περιοχή επαφής στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος.
- ▶ Η ροπή έλξης T_{TR} που λειτουργεί γύρω από τον άξονα περιστροφής του τροχού έχει ως αποτέλεσμα τη γωνιακή ταχύτητα του τροχού ω_{wh} .
- ▶ Αυτή η ροπή έλξης είναι κυρίως υπεύθυνη για την κατανομημένη πίεση ή τάση στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος.
- ▶ Η διαμήκης κατανομή της τάσης πάνω από το σημείο επαφής φαίνεται να έχει δημιουργήσει τη δύναμη έλξης.

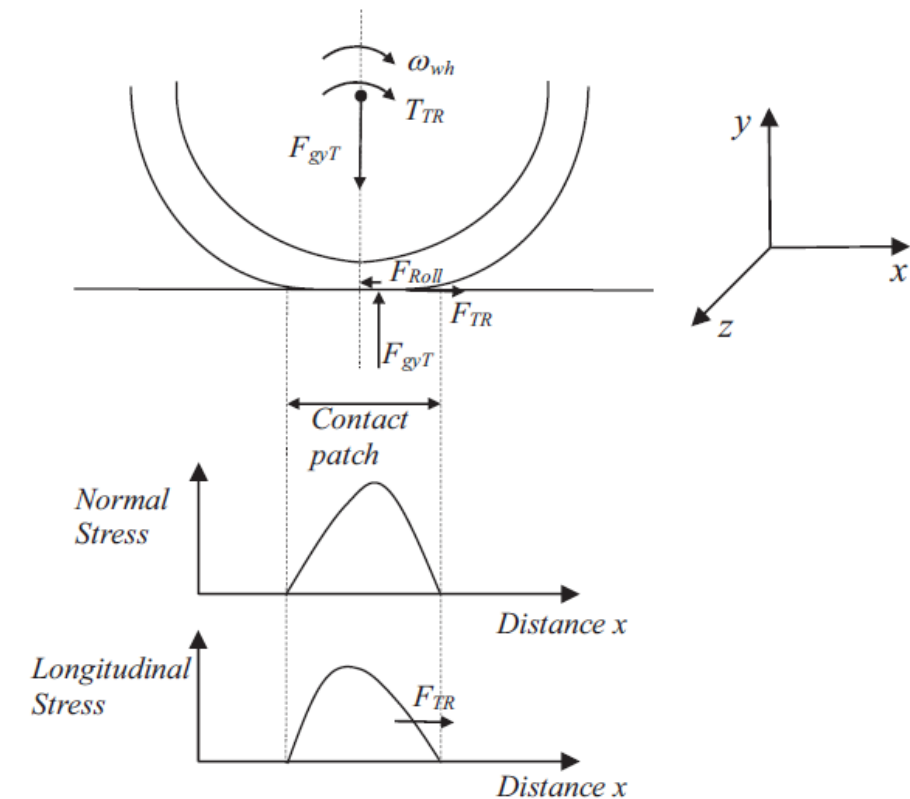


FIGURE 2.18 Forces on the wheel and stress distribution at the tire-road interface.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Traction force

at tire – road interface

- ▶ Επιπλέον, υπάρχει κανονική τάση λόγω του βάρους που φέρει ο άξονας του τροχού, η οποία λειτουργεί στην κατακόρυφη διεύθυνση y .
- ▶ Η κατακόρυφη ή κανονική πίεση μετατοπίζεται προς τα εμπρός λόγω της παραμόρφωσης του ελαστικού στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος.
- ▶ Κατά συνέπεια, το κέντρο βάρους της κανονικής δύναμης αντίδρασης του δρόμου μετατοπίζεται προς τα εμπρός και δεν ευθυγραμμίζεται με τον άξονα περιστροφής του τροχού.
- ▶ Αυτό παράγει τη δύναμη αντίστασης κύλισης F_{roll} .
- ▶ Το **Σχήμα 2.18** δείχνει επίσης την κανονική κατανομή τάσης στην περιοχή επαφής του κυλιόμενου ελαστικού.
- ▶ Η κανονική κατανομή τάσης που ενσωματώνεται στην περιοχή επαφής έχει ως αποτέλεσμα τη δύναμη κανονικής αντίδρασης του δρόμου F_{gyT} .

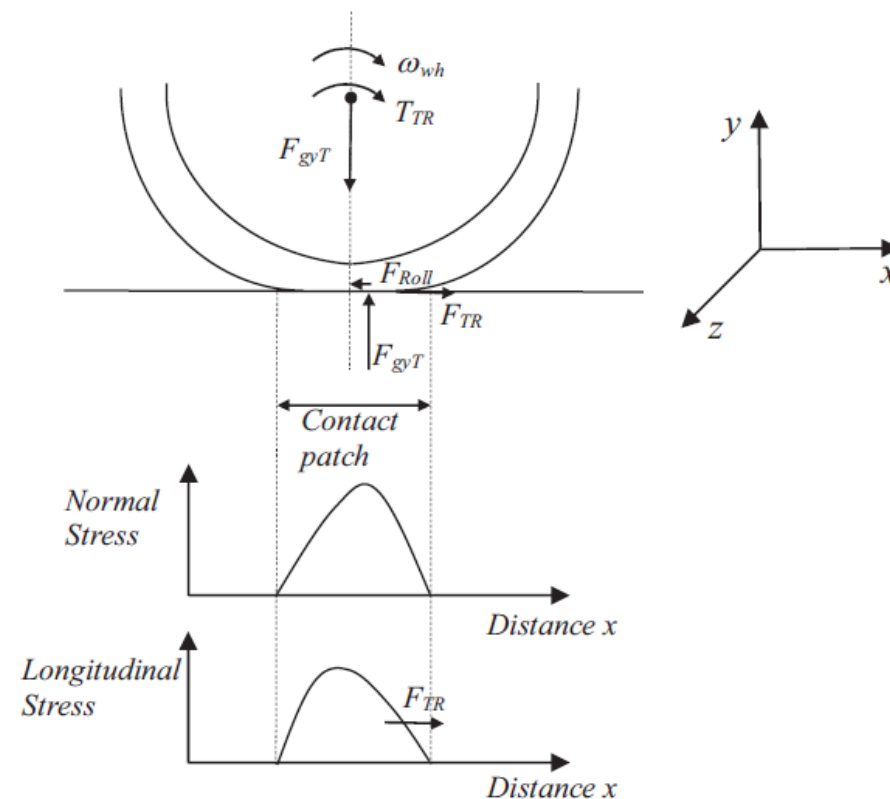


FIGURE 2.18 Forces on the wheel and stress distribution at the tire-road interface.

- ▶ Η κανονική δύναμη F_{gyT} παίζει ισχυρό ρόλο στον προσδιορισμό του ορίου δύναμης πρόσφυσης, το οποίο θα εξετάσουμε παρακάτω.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Force

Transmission at tire-road interface

- ▶ Η διεπαφή ελαστικού-δρόμου μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μηχανισμός γραναζιών που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή της δύναμης έλξης.
- ▶ Η μετατροπή της περιστροφικής κίνησης των τροχών σε γραμμική κίνηση του οχήματος μπορεί να συγκριθεί με τη διάταξη σφαιρικού κοχλία που φαίνεται στο **Σχήμα 2.19**, η οποία είναι ένας μηχανισμός γραναζιών που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δύναμης μαζί με τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική κίνηση.
- ▶ Ας θεωρήσουμε ότι η ισχύς μεταδίδεται από το περιστροφικό γρανάζι στο γραμμικό γρανάζι με το τελευταίο να διατηρείται ακίνητο.

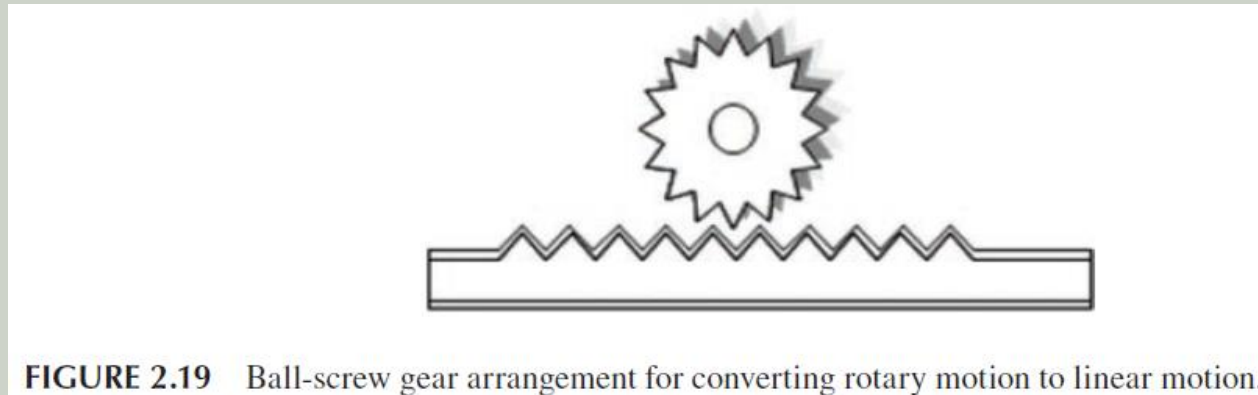


FIGURE 2.19 Ball-screw gear arrangement for converting rotary motion to linear motion.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Force

Transmission at tire-road interface

- ▶ Το περιστροφικό γρανάζι κινείται κατά μήκος του άξονα περιστροφής του από έναν περιστροφικό κινητήρα, ο οποίος επιτρέπει στο περιστροφικό σύστημα του κινητήρα και του γραναζιού να κινείται κατά μήκος του γραμμικού συστήματος γραναζιών.
- ▶ Με αυτό το σύστημα, όταν εφαρμόζεται ροπή από τον περιστροφικό κινητήρα, αναπτύσσεται δύναμη τριβής στο σύστημα γραναζιών που βοηθά το περιστροφικό σύστημα να κινείται προς τα εμπρός ή προς τα πίσω.
- ▶ Αυτός ο τύπος δύναμης τριβής επιτρέπει την πρόωση του οχήματος κατά μήκος της επιφάνειας του οδοστρώματος, εκτός από το ότι ένα πνευματικό ελαστικό και μια ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη της δύναμης τριβής, η οποία έχει επισημανθεί ως δύναμη έλξης F_{TR} .

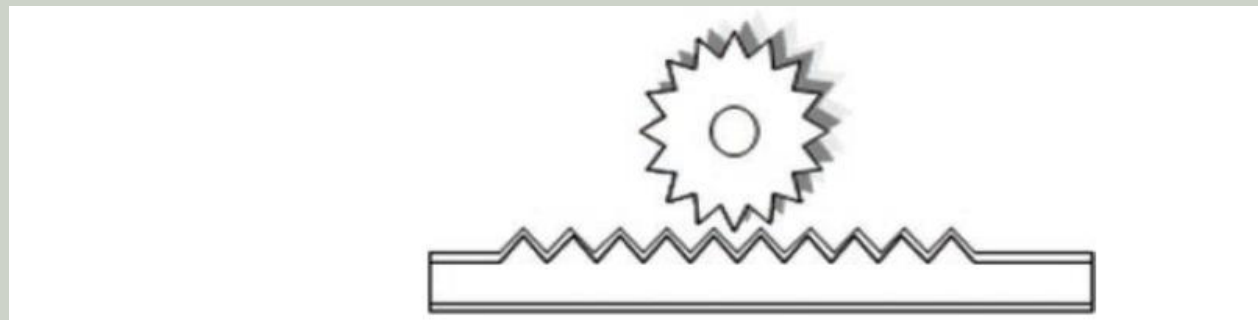
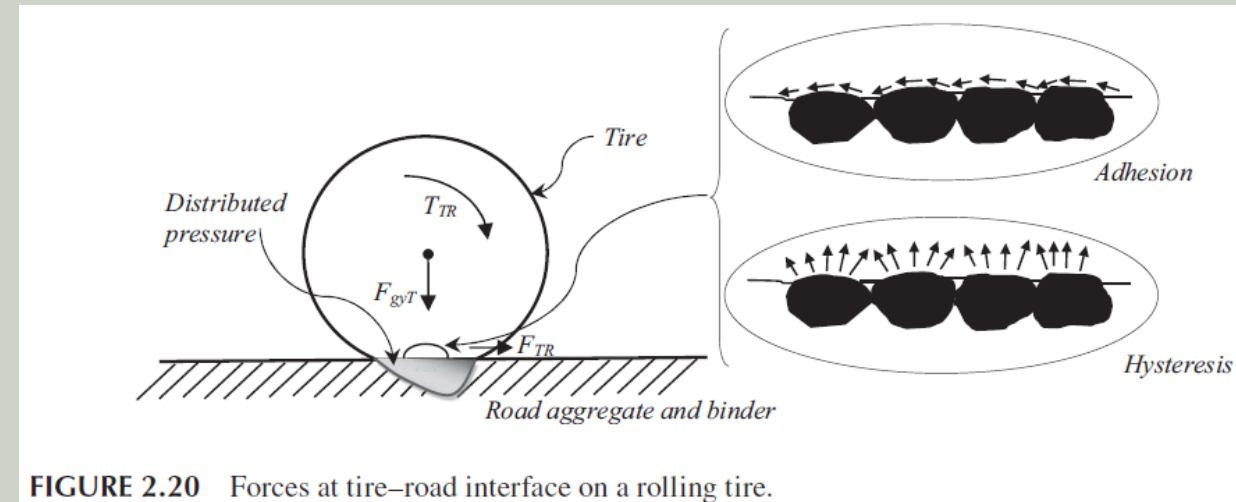


FIGURE 2.19 Ball-screw gear arrangement for converting rotary motion to linear motion.

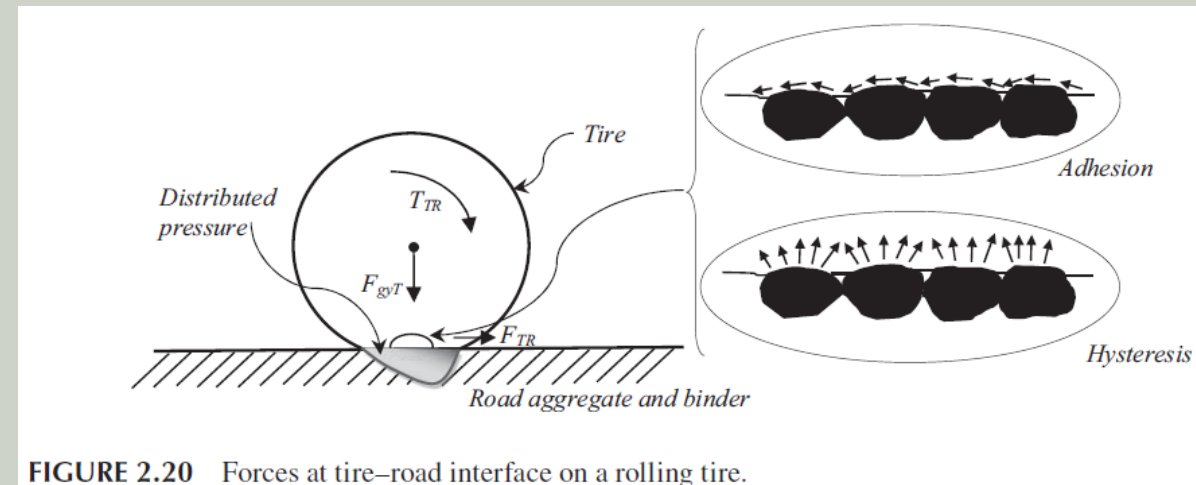
TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Force Transmission at tire-road interface

- ▶ Δύο μηχανισμοί συμβάλλουν στη σύζευξη τριβής στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος σε ένα όχημα: αυτοί είναι η πρόσφυση και η υστέρηση [3].
- ▶ Οι δυνάμεις τριβής πρόσφυσης και υστέρησης που παράγονται στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος λόγω της ροπής πρόωσης του οχήματος φαίνονται στο **Σχήμα 2.20**.
- ▶ Η πρόσφυση στο οδόστρωμα είναι αποτέλεσμα των διαμοριακών δεσμών μεταξύ του καουτσούκ και των αδρανών υλικών της επιφάνειας του οδοστρώματος.



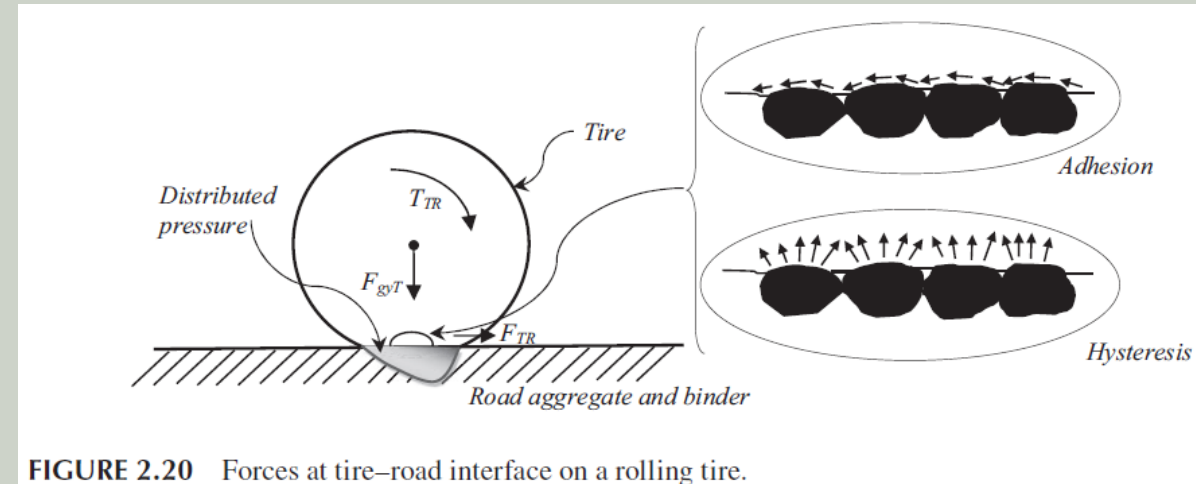
TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Force Transmission at tire-road interface

- ▶ Σε μικροσκοπικό επίπεδο, η επιφάνεια του οδοστρώματος δεν είναι λεία αλλά έχει τις κορυφές και τις κοιλάδες των επιφανειακών αδρανών υλικών όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.20**.
- ▶ Η τριβή πρόσφυσης κυριαρχεί σε στεγνά οδοστρώματα, αλλά η συμβολή της μειώνεται υπό υγρές συνθήκες.
- ▶ Η υστέρηση είναι η παραμόρφωση του καουτσούκ όταν ολισθαίνει πάνω στα αδρανή υλικά του οδοστρώματος.
- ▶ Το συστατικό της τριβής προέρχεται από την απώλεια ενέργειας λόγω της υστέρησης.
- ▶ Το νερό δεν επηρεάζει σημαντικά την τριβή υστέρησης.
- ▶ Τα ελαστικά με βελτιωμένη πρόσφυση σε βρεγμένο οδόστρωμα έχουν σχεδιαστεί με καουτσούκ υψηλής υστέρησης στο πέλμα.



TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Force Transmission at tire-road interface

- ▶ Οι δυνάμεις τριβής πρόσφυσης και υστέρησης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την παραμόρφωση του ελαστικού στη διεπιφάνεια ελαστικού-οδοστρώματος λόγω των ιδιοτήτων του ελαστικού και της αλληλεπίδρασης των δυνάμεων.
- ▶ Αυτή η παραμόρφωση του ελαστικού έχει ως αποτέλεσμα τη διαμήκη ολίσθηση του οχήματος και η ίδια η ολίσθηση του οχήματος είναι θεμελιώδης για την πρόσφυση του οχήματος.
- ▶ Η ολίσθηση καθορίζει τη δύναμη πρόσφυσης που μπορεί να υποστηρίξει η διεπιφάνεια ελαστικού-οδοστρώματος.
- ▶ Έπομένως, κάποια ολίσθηση είναι απαραίτητη για την πρόσφυση του οχήματος, αλλά η υπερβολική ολίσθηση μειώνει το όριο της δύναμης πρόσφυσης.



TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Quarter car model – 7/12

- ▶ Η μελέτη των νόμων κίνησης συχνά ξεκινά από την εξέταση του ενός τετάρτου του οχήματος οποίο φαίνεται στο **Σχήμα 2.21**.
- ▶ Η διάταξη αυτή επιτρέπει την ανάλυση ξεχωριστά της συμπεριφοράς των κινητήριων (κινητήριων) τροχών και των συρόμενων (μη κινητήριων) τροχών.

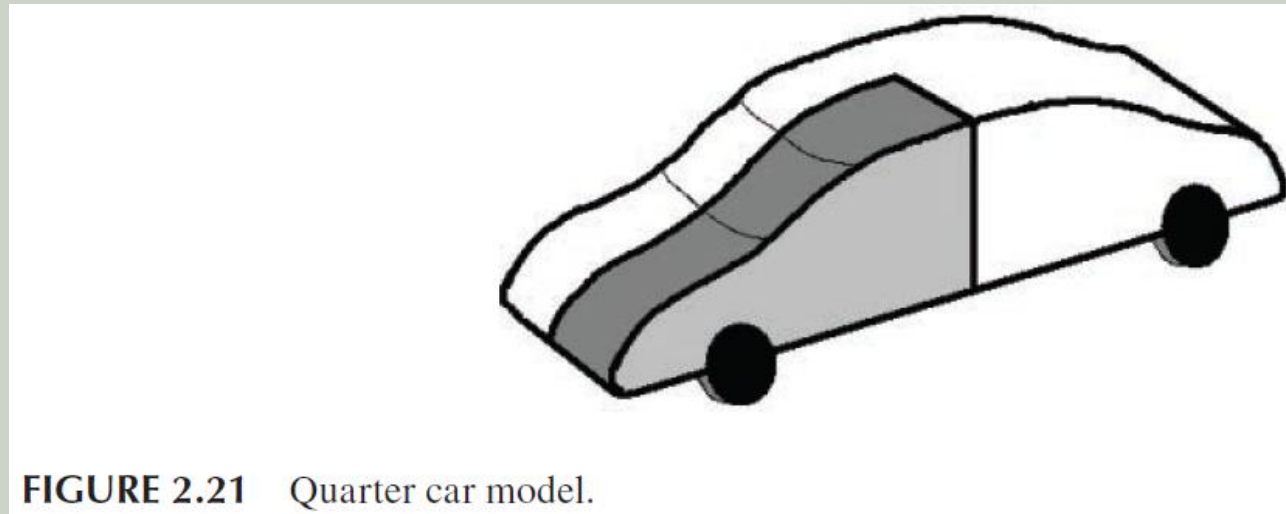


FIGURE 2.21 Quarter car model.

- ▶ Επιπλέον, καθώς η δυναμική του πλαισίου και των τροχών αντιμετωπίζονται ξεχωριστά, αυτό το μοντέλο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη μελέτη της δυναμικής της ανάρτησης εάν ληφθούν υπόψη οι κάθετες συνιστώσες των δυνάμεων.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Quarter car model

- Χρησιμοποιώντας τις ίδιες υποθέσεις όπως στην Ενότητα 2.3 (Vehicle Kinetics), η συνιστώσα x του δεύτερου νόμου κίνησης του Νεύτωνα που εφαρμόζεται στο πλαίσιο είναι

$$F_{Rw} - F_{AD} - F_{gxT} - F_{Rr} = m \frac{dv}{dt}$$

- όπου F_{Rw} είναι η δύναμη αντίδρασης που ανταλλάσσεται μεταξύ του τροχού και του πλαισίου, m είναι η μάζα του ενός τετάρτου του πλαισίου και F_{Rr} είναι η δύναμη αντίδρασης μεταξύ του μπροστινού και του πίσω τμήματος του αυτοκινήτου, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.22**. Τα στοιχεία στον άξονα y παραλείπονται καθώς η δυναμική της ανάρτησης δεν θα αναλυθεί εδώ.

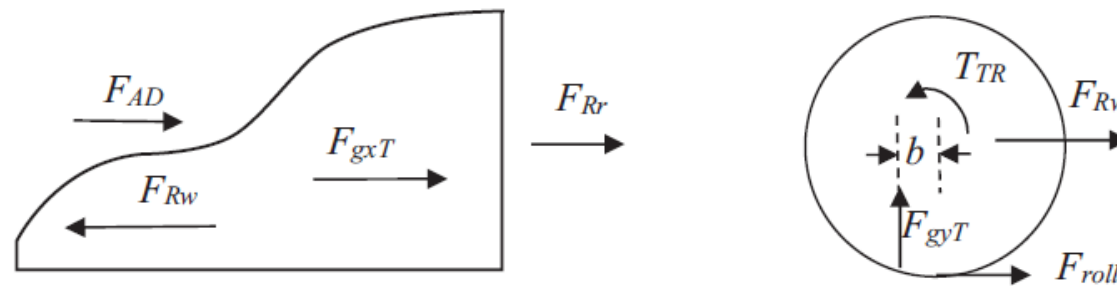


FIGURE 2.22 x -Axis force components of chassis and forces and torques of wheels in the quarter car model.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Quarter car model

- ▶ Η δυναμική των τροχών μπορεί να επιτευχθεί από την ισορροπία δυνάμεων και ροπών ως εξής:

$$-F_{Rw} - F_{roll} = m_w \frac{dv}{dt}$$

$$T_{TR} - F_{gyT}b + F_{roll}r_{wh} = J_w \frac{d\omega_{wh}}{dt}$$

- ▶ όπου T_{TR} είναι η κινητήρια ή ελκτική ροπή, m_w είναι η μάζα του τροχού και r_{wh} είναι η ακτίνα του τροχού.
- ▶ T_{TR} είναι μηδέν για τον υστερούντα τροχό.
- ▶ Η ελκτική δύναμη είναι η δύναμη που παρέχεται από τον ηλεκτροκινητήρα σε ένα ηλεκτροκίνητο όχημα και από τον συνδυασμό ηλεκτροκινητήρα και κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ένα HEV για την αντιμετώπιση του φορτίου από το οδόστρωμα.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Quarter car model

- ▶ Αντικαθιστώντας τις Εξισώσεις της προηγούμενης διαφάνειας στην Εξίσωση της προηγούμενης διαφάνειας, μπορούμε να γράψουμε

$$\frac{T_{TR}}{r_{wh}} - F_{gyT} \frac{b}{r_{wh}} - F_{AD} - F_{gxT} - F_{Rr} = (m + m_w) \frac{dv}{dt} + \frac{J_w}{r_{wh}} \frac{d\omega_{wh}}{dt}$$

- ▶ Μπορεί εύκολα να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η δύναμη οδικής αντίστασης της παραπάνω εξίσωσης έχει τις ίδιες συνιστώσες με αυτήν της εξίσωσης

$$F_{RL} = F_{gxT} + F_{roll} + F_{AD}$$

- ▶ Και ο όρος T_{TR}/r_{wh} παίζει το ρόλο της **δύναμης έλξης**.
- ▶ Για να επιταχυνθεί το όχημα, η **δύναμη έλξης** πρέπει να υπερνικήσει την **αντίσταση κύλισης**, το **αεροδυναμικό φορτίο**, το βάρος και την **ισοδύναμη δύναμη του πίσω** μέρους του αυτοκινήτου.
- ▶ Η δεξιά πλευρά της παραπάνω εξίσωσης 2.29 μπορεί να γραφτεί απλούστερα ως εξής:

$$(m + m_w) \frac{dv}{dt} + \frac{J_w}{r_{wh}} \frac{d\omega_{wh}}{dt} = k_m m \frac{dv}{dt}$$

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Quarter car model

- ▶ Ο όρος $k_m m \frac{dv}{dt}$ είναι μια ισοδύναμη δύναμη αδράνειας που λαμβάνει υπόψη τη μετατοπιζόμενη μάζα του ενός τετάρτου του αυτοκίνητου συν την αδράνεια των περιστρεφόμενων μαζών.
- ▶ Τέλος, η γενική μορφή της δυναμικής εξίσωσης κίνησης στην εφαπτομενική κατεύθυνση έχει την ίδια μορφή με την Εξίσωση 2.5:

$$k_m m \frac{dv}{dt} = F_{TR} - F_{RL} - F_{Rr}$$

- ▶ όπου k_m είναι ο συντελεστής περιστροφικής αδράνειας.
- ▶ Στην Εξίσωση της προηγούμενης διαφάνειας, η εφαπτομενική ταχύτητα του τροχού μπορεί επίσης να διαφέρει από την ταχύτητα περιστροφής του τροχού, ανάλογα με την τιμή της ολίσθησης.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Traction limit & control

- ▶ Η μέγιστη δύναμη αντίστασης κύλισης που μπορεί να διατηρηθεί στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος εξαρτάται από το μέγεθος ολίσθησης του οχήματος και το κατακόρυφο φορτίο στον τροχό.
- ▶ Ένας συντελεστής τριβής που εξαρτάται από την ολίσθηση $\mu(s)$ και το κατακόρυφο φορτίο ορίζουν την αντίσταση κύλισης στον τροχό ως

$$F_{roll}(s) = \mu(s)F_{gyT}$$

- ▶ όπου F_{gyT} είναι η κάθετη δύναμη στον τροχό.
- ▶ Συνεπώς, οι εξισώσεις του τροχού μπορούν να ξαναγραφτούν ως

$$-F_{Rw} - F_{roll}(s) = m_w \frac{dv}{dt}$$

$$T_{TR} - F_{gyT}b + F_{roll}(s)r_{wh} = J_w \frac{d\omega_{wh}}{dt}$$

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Traction limit & control

- ▶ Οι τυπικοί συντελεστές τριβής τόσο για τις διαμήκειες όσο και για τις πλευρικές δυνάμεις ως συνάρτηση της ολίσθησης για μια σταθερή γωνία ολίσθησης φαίνονται στο **Σχήμα 2.23**.
- ▶ Το όριο δύναμης πρόσφυσης στο σημείο επαφής αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την ολίσθηση στην αρχή, καθώς η πλειονότητα των στοιχείων του πέλματος του ελαστικού λειτουργεί πιο αποτελεσματικά χωρίς σημαντική ολίσθηση.

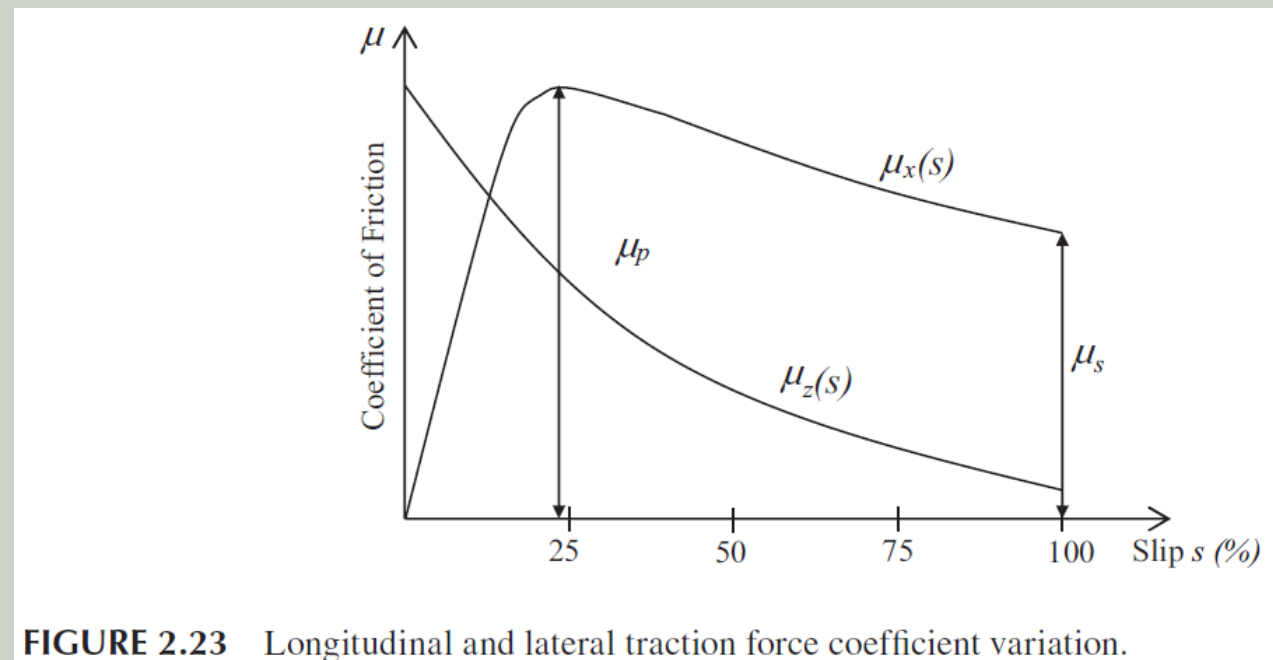


FIGURE 2.23 Longitudinal and lateral traction force coefficient variation.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Traction limit & control

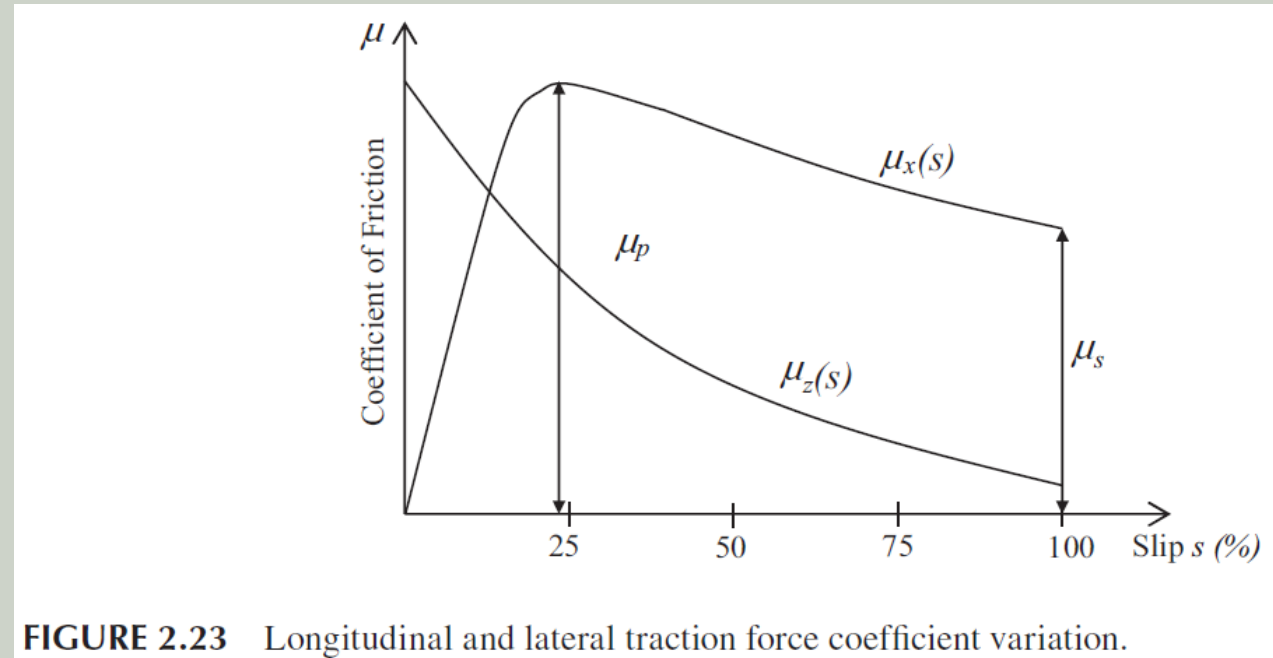


FIGURE 2.23 Longitudinal and lateral traction force coefficient variation.

- ▶ Το όριο δύναμης πρόσφυσης φτάνει στο μέγιστο περίπου στο 20% της ολίσθησης.
- ▶ Η σχέση μεταξύ του ορίου προσπάθειας πρόσφυσης και της ολίσθησης γίνεται μη γραμμική πέρα από την κορυφή.
- ▶ Όταν η ολίσθηση φτάσει το 100%, το όχημα μόνο ολισθαίνει χωρίς γραμμική ταχύτητα.

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Traction limit & control

- ▶ Σε ένα στεγνό οδόστρωμα, η μέγιστη οριακή δύναμη έλξης είναι περίπου το 80%–90% του κατακόρυφου φορτίου. Ο μέγιστος συντελεστής τριβής μ_p ορίζει αυτό το όριο.
- ▶ Ο συντελεστής τριβής όταν η ολίσθηση φτάσει το 100% είναι γνωστός ως συντελεστής ολίσθησης μ_s .
- ▶ Οι συντελεστές τριβής ποικίλλουν ανάλογα με την κατάσταση του οδοστρώματος, αν και το σχήμα των καμπυλών παραμένει το ίδιο.
- ▶ Οι ονομαστικοί συντελεστές μέγιστης τριβής και ολίσθησης για διάφορες συνθήκες εδάφους δίνονται στον Πίνακα 2.1.

TABLE 2.1

Nominal Longitudinal Peak and Sliding Friction Coefficients

| Surface | Peak Coefficient, μ_p | Sliding Coefficient, μ_s |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Asphalt and concrete (dry) | 0.9 | 0.75 |
| Concrete (wet) | 0.8 | 0.7 |
| Asphalt (wet) | 0.6 | 0.5 |
| Gravel | 0.6 | 0.55 |
| Snow | 0.2 | 0.15 |
| Ice | 0.1 | 0.07 |

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Traction limit & control

- ▶ Οι συντελεστές μέγιστης τριβής και ολίσθησης ενός παγωμένου δρόμου θα είναι πολύ μικρότεροι από αυτούς ενός στεγνού οδοστρώματος, πράγμα που σημαίνει ότι ο τροχός θα ολισθαίνει πολύ πιο εύκολα για την ίδια ροπή έλξης από το σύστημα πρόωσης.
- ▶ Σε συνθήκες ολίσθησης τροχού, η διεπαφή ελαστικού-δρόμου δεν μπορεί να αναπτύξει τη δύναμη έλξης λόγω των χαμηλότερων ορίων δύναμης τριβής, παρόλο που υπάρχει ροπή έλξης στους τροχούς.
- ▶ Η θέση όπου θα εμφανιστεί η κορυφή εξαρτάται από τη γωνία ολίσθησης.
- ▶ Για μικρότερες γωνίες ολίσθησης, η κορυφή εμφανίζεται σε μικρότερες τιμές ολίσθησης.

TABLE 2.1
Nominal Longitudinal Peak and Sliding Friction Coefficients

| Surface | Peak Coefficient, μ_p | Sliding Coefficient, μ_s |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Asphalt and concrete (dry) | 0.9 | 0.75 |
| Concrete (wet) | 0.8 | 0.7 |
| Asphalt (wet) | 0.6 | 0.5 |
| Gravel | 0.6 | 0.55 |
| Snow | 0.2 | 0.15 |
| Ice | 0.1 | 0.07 |

TIRE-ROAD FORCE MECHANICS – Traction limit & control

- ▶ Το σύστημα ελέγχου πρόσφυσης (TCS) ενσωματώνεται στα σημερινά οχήματα για τον έλεγχο τόσο των διαμηκών όσο και των πλευρικών δυνάμεων.
- ▶ Ο αλγόριθμος διαμήκους ελέγχου περιορίζει τη δύναμη πρόσφυσης για την αποφυγή ολίσθησης.
- ▶ Ο πλευρικός έλεγχος επιτυγχάνεται διατηρώντας την κίνηση εκτροπής στο μηδέν.
- ▶ Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα, ελέγχοντας τη γωνία διεύθυνσης.
- ▶ Η ανεξάρτητη πρόληψη ολίσθησης σε κάθε τροχό ενός οχήματος με τετρακίνηση βελτιώνει σημαντικά την πλευρική σταθερότητα.
- ▶ Η δυναμική των συστημάτων πρόσφυσης είναι εξαιρετικά μη γραμμική και χρονικά μεταβαλλόμενη.
- ▶ Κατά συνέπεια, ο σχεδιασμός του TCS που βασίζεται σε μοντέλα είναι επίσης μη γραμμικός και χρονικά μεταβαλλόμενος.
- ▶ Η κύρια δυσκολία για το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων είναι η εκτίμηση σε πραγματικό χρόνο των χαρακτηριστικών συντελεστή τριβής έναντι ολίσθησης για διαφορετικά ελαστικά και οδικές επιφάνειες.

PROPULSION SYSTEM DESIGN

- ▶ **Η μέγιστη ταχύτητα σταθερής κατάστασης**, η μέγιστη δυνατότητα κλίσης και οι εξισώσεις ταχύτητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο στάδιο του σχεδιασμού για να προσδιοριστεί η απαιτούμενη ισχύς ενός συγκεκριμένου οχήματος.
- ▶ Ας εξετάσουμε την απαιτούμενη ελκτική ισχύ για την αρχική επιτάχυνση, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της ονομαστικής ισχύος της μονάδας πρόωσης.
- ▶ Η αρχική επιτάχυνση ορίζεται από 0 έως v_f σε t_f s.
- ▶ Το πρόβλημα σχεδιασμού είναι να λυθεί για την F_{TR} ξεκινώντας με ένα σύνολο μεταβλητών όπως η μάζα του οχήματος, η αντίσταση κύλισης, ο συντελεστής αεροδυναμικής οπισθέλκουσας, η ποσοστιαία κλίση, η ακτίνα του τροχού κ.λπ., μερικές από τις οποίες είναι γνωστές, ενώ άλλες πρέπει να υποτεθούν.
- ▶ Η επιτάχυνση του οχήματος με βάση αυτές τις μεταβλητές δίνεται από

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{F_{TR} - F_{RL}}{m}$$

PROPULSION SYSTEM DESIGN

- ▶ Η ισχύς έλξης που παράγει ο ηλεκτροκινητήρας για ένα ηλεκτρικό όχημα ή ο συνδυασμός ηλεκτροκινητήρα και κινητήρα εσωτερικής καύσης για ένα **υδραυλικό** όχημα θα είναι συνάρτηση της ταχύτητας του οχήματος.
- ▶ Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά αντίστασης κατά την οδήγηση είναι επίσης συνάρτηση της ταχύτητας, με αποτέλεσμα μια υπερβατική εξίσωση που πρέπει να λυθεί για να προσδιοριστεί η επιθυμητή ισχύς έλξης από τη μονάδα πρόωσης.
- ▶ Οι άλλες απαιτήσεις σχεδιασμού παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της ισχύος έλξης.
- ▶ Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται καλύτερα με μια **προσομοίωση υπολογιστή** όπου οι διάφορες εξισώσεις των Ενοτήτων 2.5 και 2.6 (PROPULSION POWER & VELOCITY AND ACCELERATION) μπορούν να χρησιμοποιηθούν επαναληπτικά για να υπολογιστούν οι απαιτήσεις ισχύος έλξης και ισχύος από τη μονάδα πρόωσης για το δεδομένο σύνολο προδιαγραφών.
- ▶ Οι γνώσεις που αποκτήθηκαν από τα σενάρια που συζητήθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο θα χρησιμοποιηθούν αργότερα για τον προσδιορισμό των ονομαστικών τιμών ισχύος του ηλεκτροκινητήρα και των κινητήρων εσωτερικής καύσης για ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα στο επόμενο κεφάλαιο.
- ▶ ΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΕΒΔΟΜΑΔΑ

3. Vehicle Architectures and Design

3.1 ELECTRIC VEHICLES

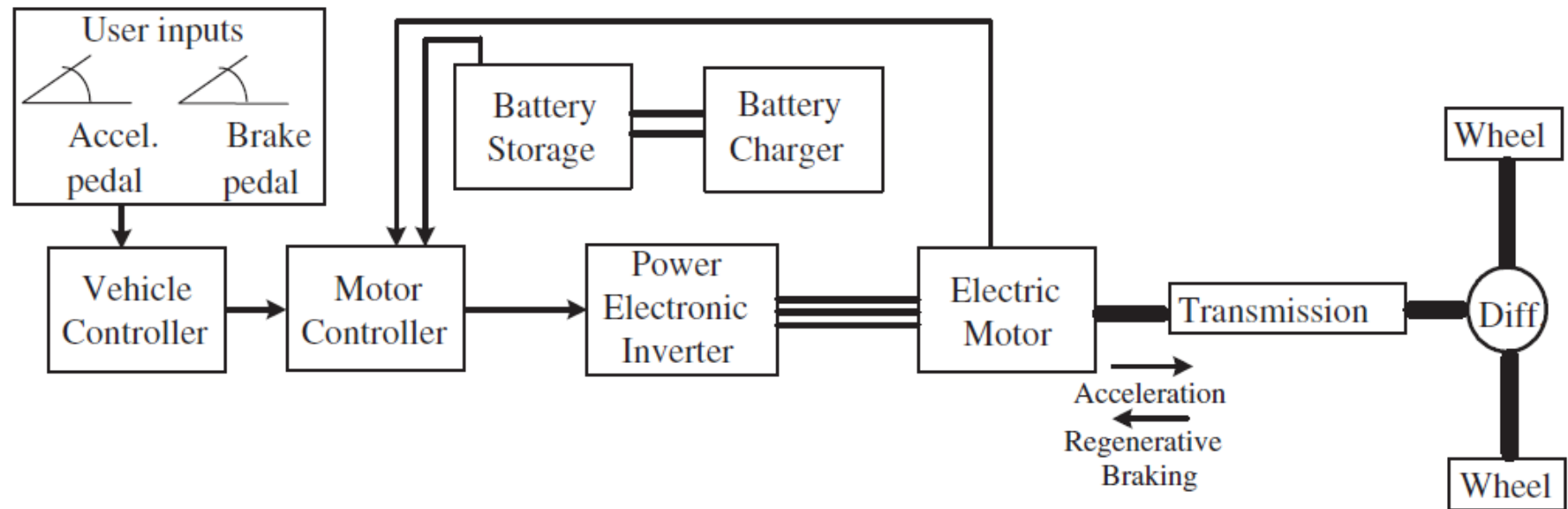


FIGURE 3.1 Major electrical components and choices for an EV system.

- **Φορητή πηγή ενέργειας** και η ελκτική δύναμη προέρχεται αποκλειστικά από **μία ή περισσότερες ηλεκτρικές μηχανές**.
- Απλή αρχιτεκτονική **χωρίς** την ανάγκη **συνδυασμού ισχύος**.
- Τα κύρια εξαρτήματα ενός ηλεκτρικού συστήματος είναι ο **κινητήρας**, ο **ελεγκτής**, η **πηγή ενέργειας** και το **κιβώτιο ταχυτήτων**

3. Vehicle Architectures and Design

- ▶ 3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES
 - ▶ 3.2.1 hybrids based on architecture
 - ▶ 3.2.1.1 Series and Parallel Hybrids

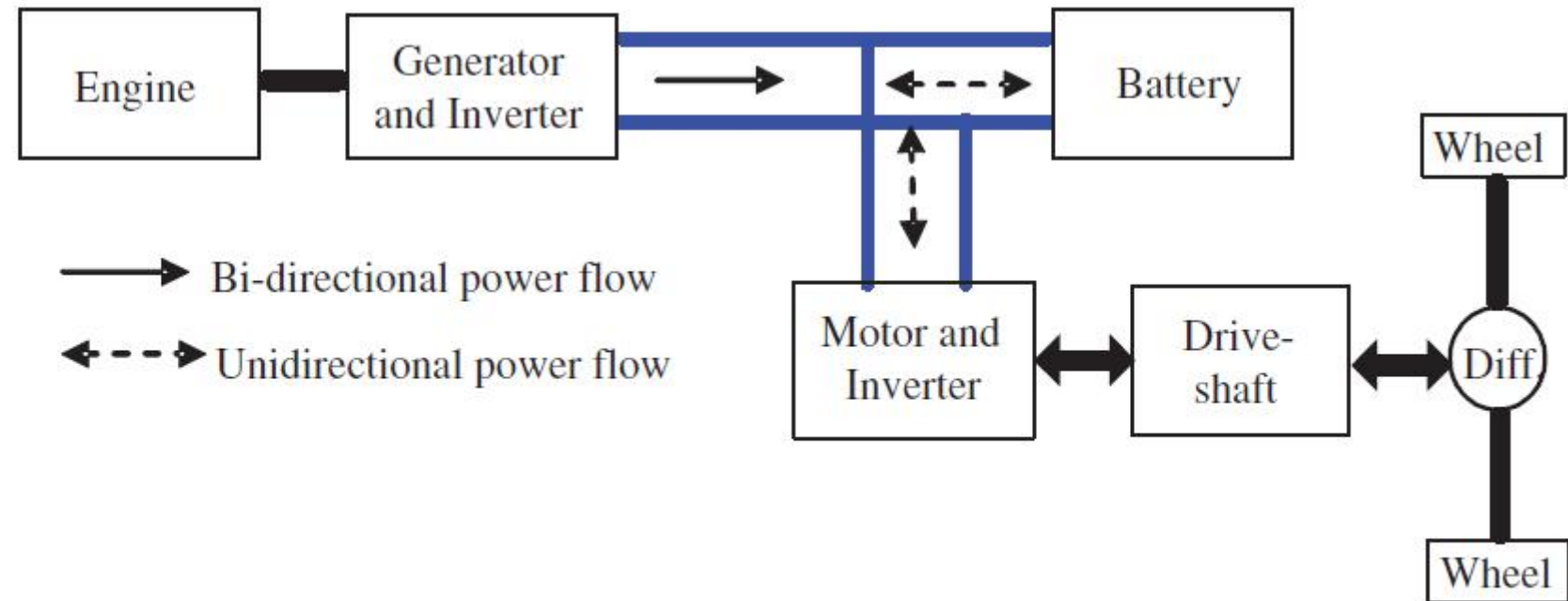
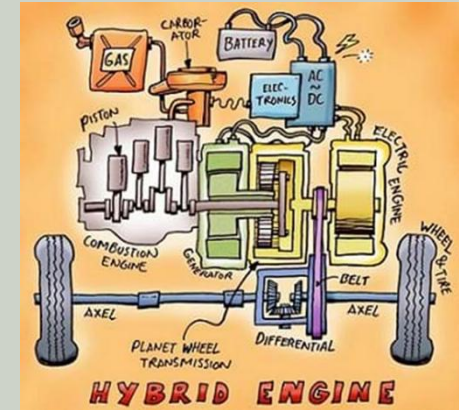


FIGURE 3.2 Series HEV powertrain.

3. Vehicle Architectures and Design

- ▶ 3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES
 - ▶ 3.2.1 hybrids based on architecture
 - ▶ 3.2.1.1 Series and Parallel Hybrids



Πηγή: "Teach Engineering",
https://www.teachengineering.org/curricularunits/view/van_hybrid_design_curricularunit

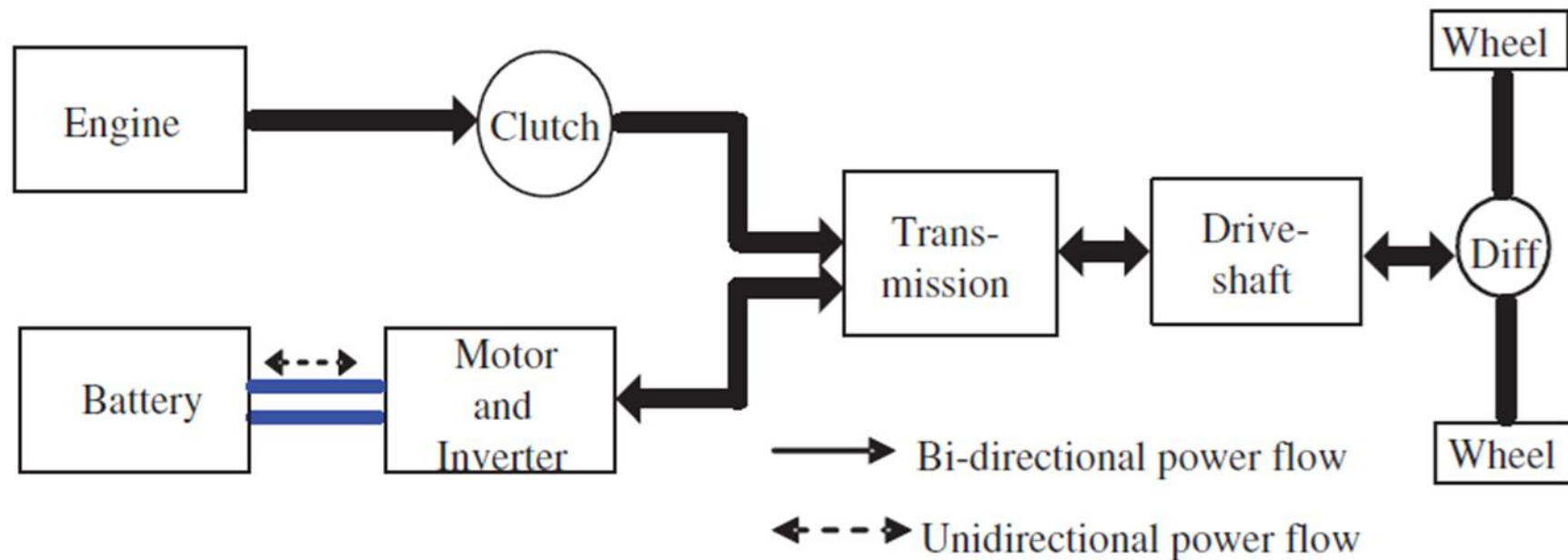


FIGURE 3.3 Parallel HEV powertrain.

3. Vehicle Architectures and Design

- ▶ 3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES
 - ▶ 3.2.1 hybrids based on architecture
 - ▶ 3.2.1.2 Series-Parallel Hybrid

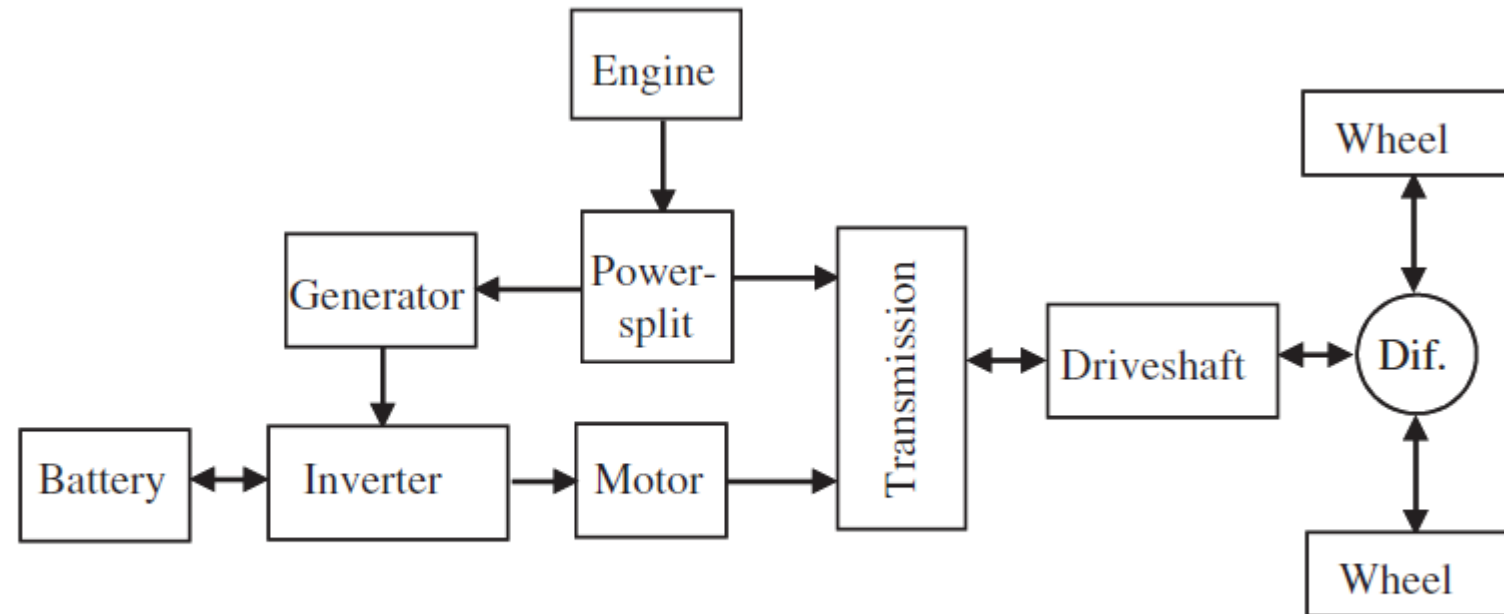


FIGURE 3.4 Series-parallel combination HEV.

3. Vehicle Architectures and Design

3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES

3.2.1 hybrids based on architecture

3.2.1.3 Series-Parallel 2 × 2 Hybrid

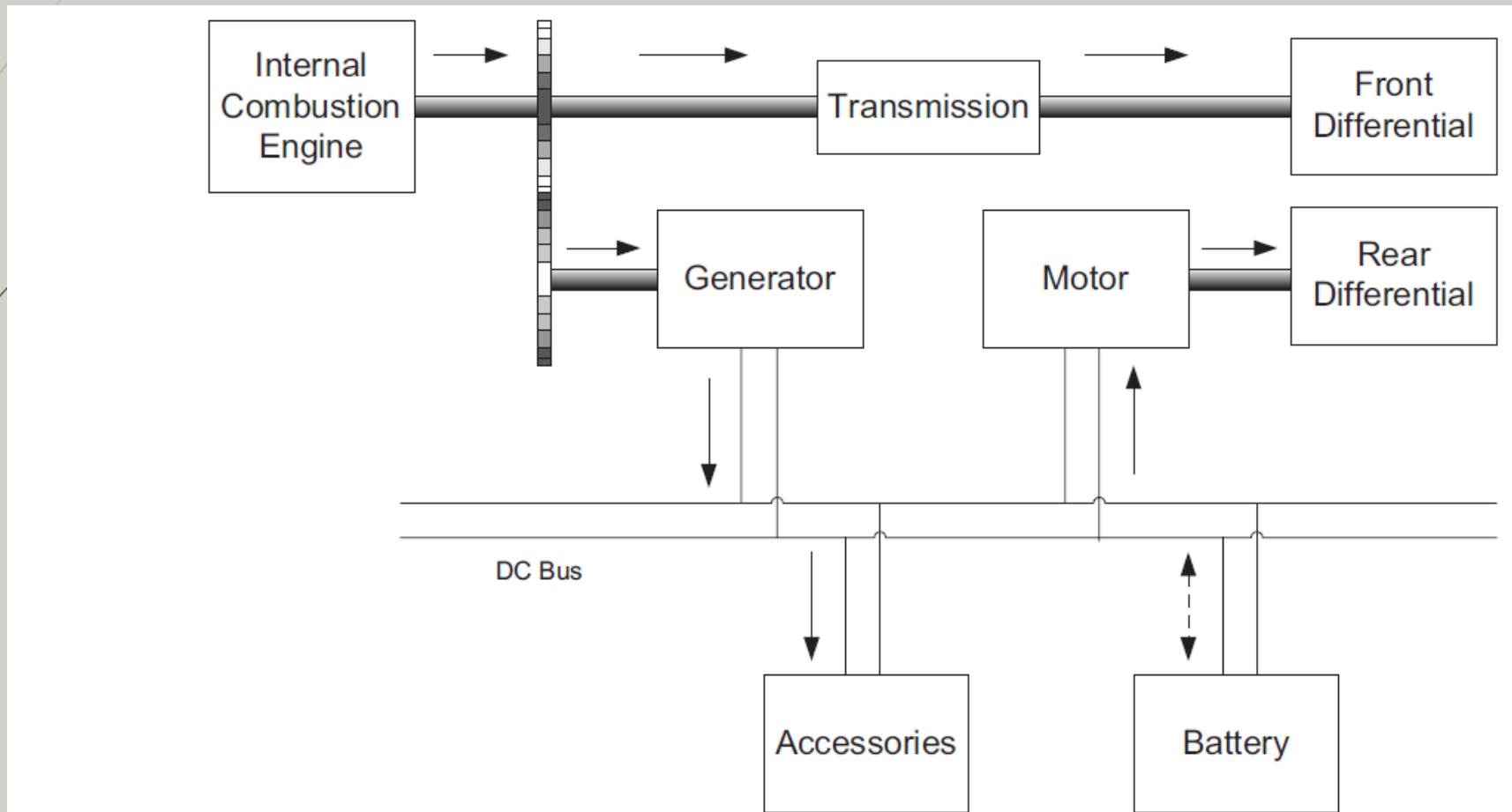


FIGURE 3.5 Series-parallel 2 × 2 vehicle architecture.

3. Vehicle Architectures and Design

3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES

3.2.2 Hybrids based on Transmission assembly

3.2.2.1 Pre- and Post-transmission Hybrids

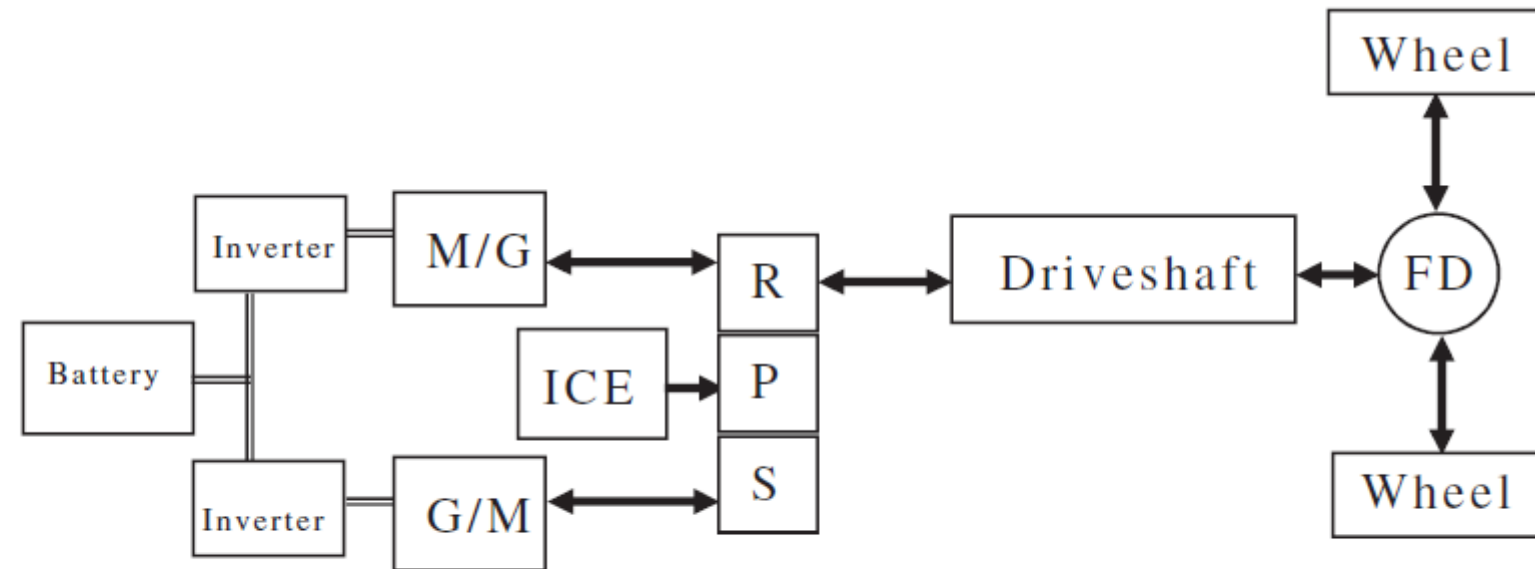


FIGURE 3.6 Power-split pre-transmission hybrid configuration.

3. Vehicle Architectures and Design

▶ 3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES

▶ 3.2.2 Hybrids based on Transmission assembly

▶ 3.2.2.1 Pre- and Post-transmission Hybrids

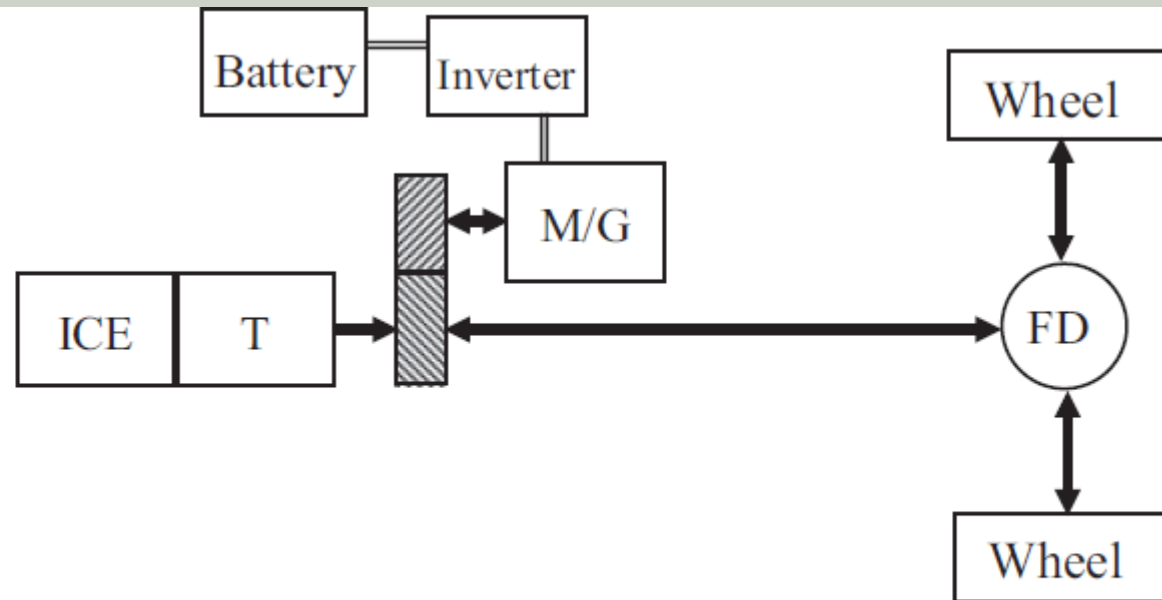


FIGURE 3.7 Parallel post-transmission hybrid configuration.

3. Vehicle Architectures and Design

3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES

3.2.2 Hybrids based on Transmission assembly

3.2.2.2 P0-P4 Hybrid Architectures

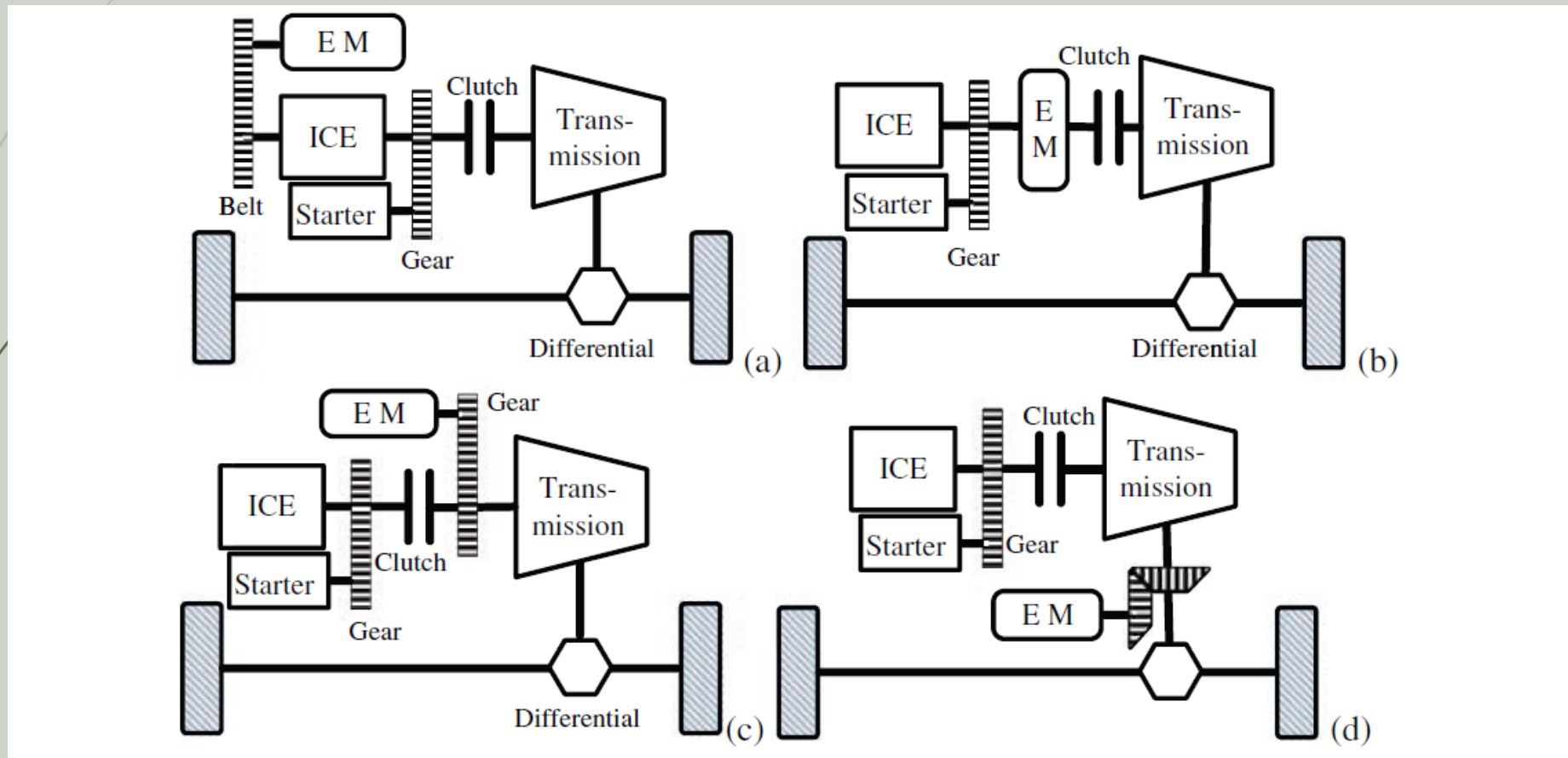


FIGURE 3.8 HEV P0 to P4 architectures: (a) P0 architecture with belt-starter generator; (b) P1 architecture ISG; (c) P2 architecture and (d) P3 or P4 architecture.

3. Vehicle Architectures and Design

3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES

3.2.2 Hybrids based on Transmission assembly

3.2.2.2 P0-P4 Hybrid Architectures

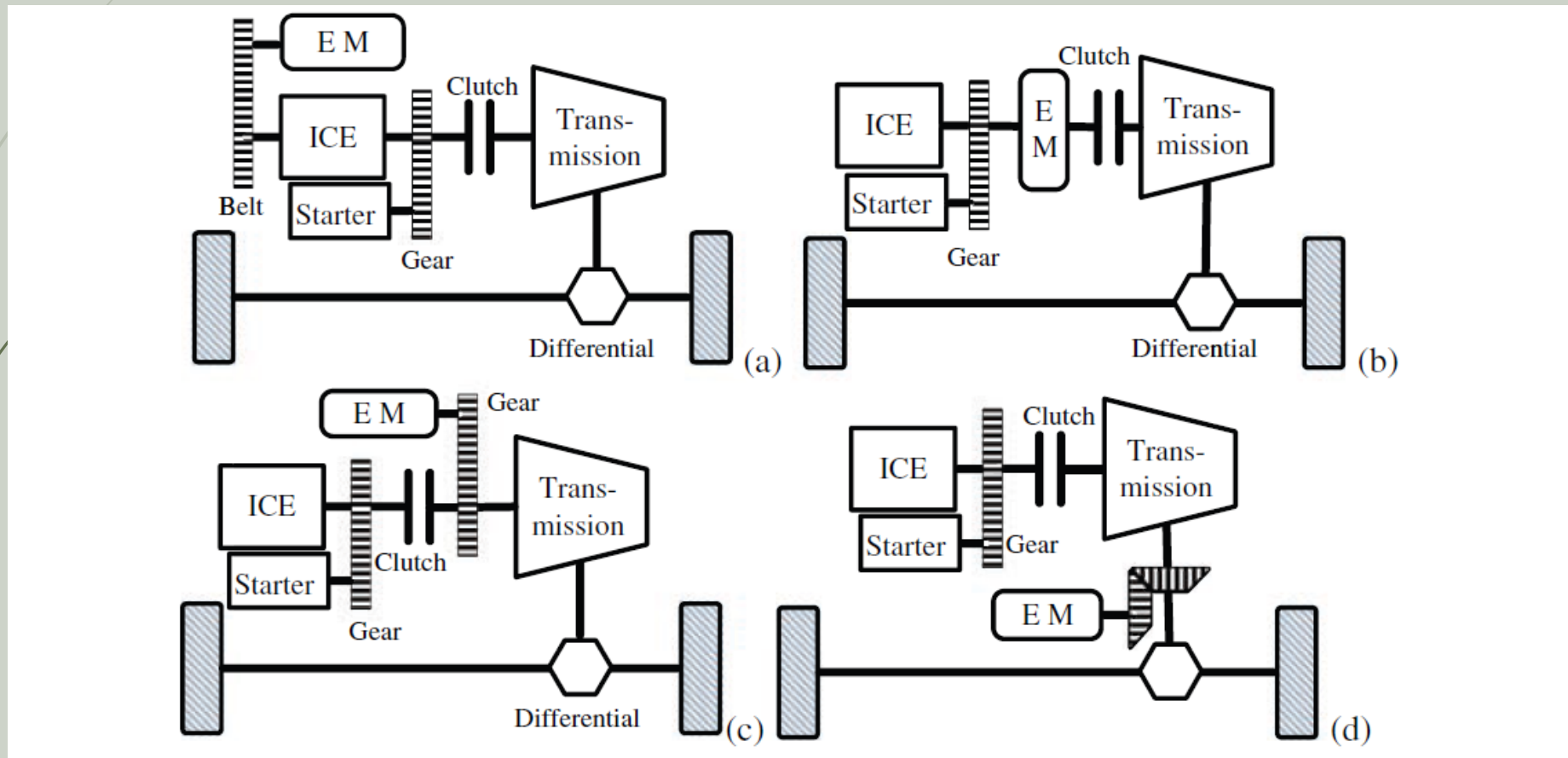
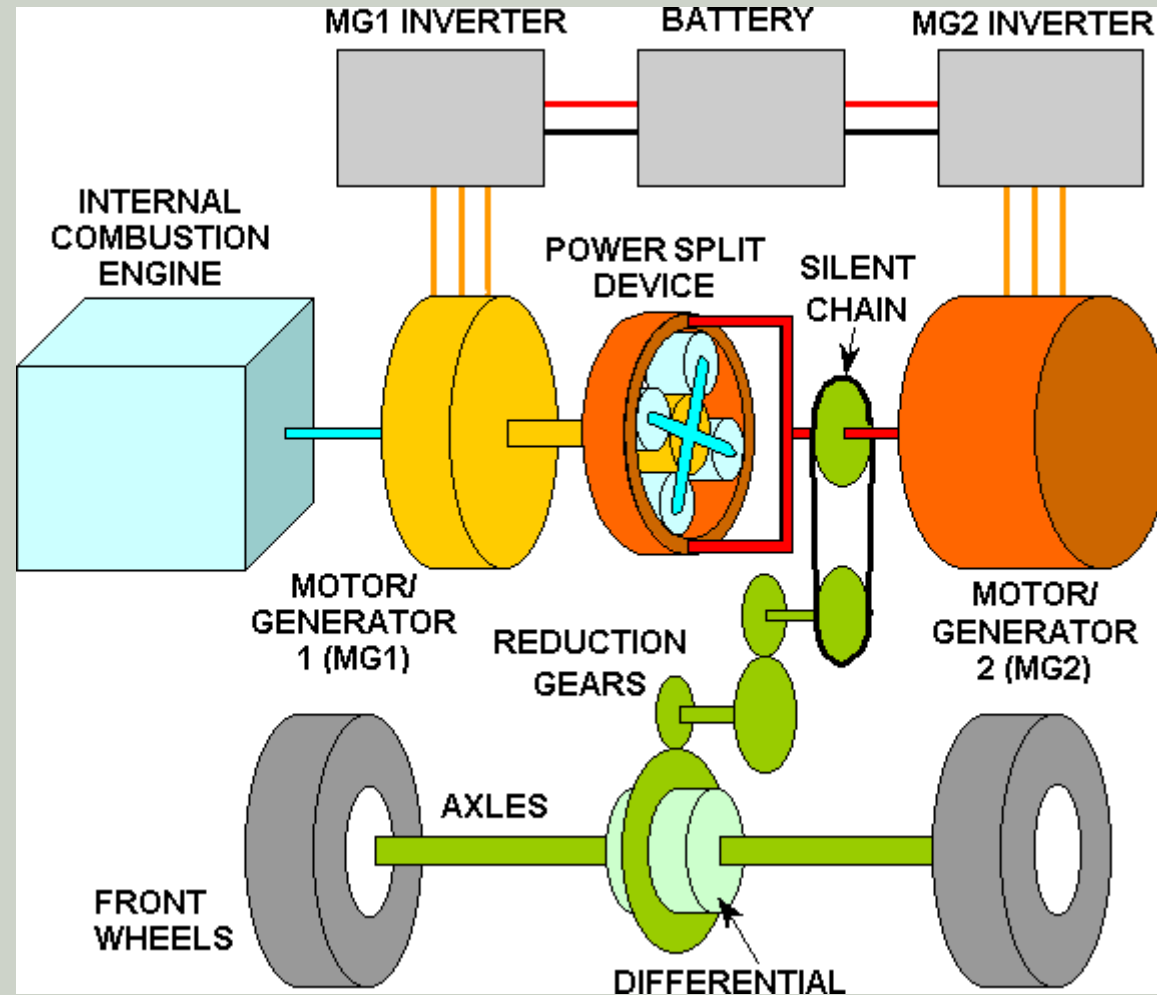


FIGURE 3.8 HEV P0 to P4 architectures: (a) P0 architecture with belt-starter generator; (b) P1 architecture ISG; (c) P2 architecture and (d) P3 or P4 architecture.

3. Vehicle Architectures and Design

► Παραδειγμα: Αρχιτεκτονική, Toyota Prius:



3. Vehicle Architectures and Design

▶ 3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES

▶ 3.2.2 Hybrids based on Transmission assembly

▶ 3.2.2.3 48 V Hybrid Architectures

- ▶ Ένας αυξανόμενος αριθμός αρχιτεκτονικών HEV εξελίσσεται γύρω από ένα σύστημα 48 V, που χρησιμεύει ως μια οικονομική υβριδική εναλλακτική λύση στην κατηγορία των ήπιων υβριδικών.
- ▶ Οι αρχιτεκτονικές 48 V αποτελούν μια λιγότερο ανατρεπτική προσέγγιση ηλεκτροκίνησης οχημάτων για την αύξηση της οικονομίας καυσίμου και τη μείωση των εκπομπών άνθρακα με ηλεκτροκίνηση 48 V.
- ▶ Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ορίσει απαίτηση εκπομπών **CO2 95 g/km** που πρέπει να πληρούν οι κατασκευαστές οχημάτων **έως το 2021***, η οποία δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο με βελτιώσεις στα ICEV.
- ▶ *κατά 15 % για την περίοδο 2025–2029 (επιβατικά και ελαφρά φορτηγά)
- ▶ Αυτό οδηγεί τη ζήτηση και την αγορά μικρο-υβριδικών οχημάτων στην Ευρώπη με ηλεκτροκίνητα συστήματα κίνησης χαμηλότερης τάσης.

3. Vehicle Architectures and Design

▶ 3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES

▶ 3.2.2 Hybrids based on Transmission assembly

▶ 3.2.2.3 48 V Hybrid Architectures*Theory Question

- ▶ Οι μπαταρίες χαμηλότερης τάσης και υψηλότερης ισχύος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λειτουργία εκκίνησης-σταματήματος, υποβοήθηση ηλεκτρικής πρόωσης, ανάκτηση αναγεννητικής ενέργειας και κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων φορτίου του οχήματος.
- ▶ Με ηλεκτροκίνηση 15–25 kW, τα υβριδικά 48 V **μπορούν να προσφέρουν** βελτιώσεις στην **οικονομία καυσίμου***, να **χειρίζονται βοηθητικά συστήματα υψηλότερης ισχύος** και να παρέχουν **βελτιωμένο χειρισμό, οδηγησιμότητα και άνεση** σε σύγκριση με τα ICEV.
- ▶ Τα χαρακτηριστικά ασφαλείας είναι επίσης καλά διαχειριζόμενα με συστήματα 48 V σε σύγκριση με τα συστήματα υψηλότερης τάσης.
- ▶ Αυτά τα ήπια υβριδικά γεφυρώνουν το χάσμα με τα πλήρως υβριδικά και τα BEV, όπου οι καταναλωτές ιστορικά ήταν απρόθυμοι να αγοράσουν λόγω του υψηλού κόστους.

3. Vehicle Architectures and Design

▶ 3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES

▶ 3.2.3 hybrids based on degree of hybridization

- ▶ Η ταξινόμηση που βασίζεται στον βαθμό υβριδισμού αντιστοιχεί στην αποστολή που έχει σχεδιαστεί για να επιτύχει το όχημα **[5]**.
- ▶ Πρόκειται για μια μέθοδο ταξινόμησης που χρησιμοποιείται περισσότερο από την αυτοκινητοβιομηχανία.
- ▶ Υπάρχουν τρεις κατηγορίες «βασισμένες στην αποστολή»: **ήπια υβριδικά, υβριδικά ισχύος και υβριδικά ενέργειας.**
- ▶ Τα «**ήπια**» υβριδικά έχουν τον χαμηλότερο βαθμό υβριδισμού με μέτρια επίδραση στην οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων. Η **τυπική ηλεκτρική ισχύς** ενός ήπιου υβριδικού θα κυμαινόταν από **5-10 kW**, με ενεργειακή ισχύ στην περιοχή των **1-3 kWh**.
- ▶ Τα **υβριδικά «ισχύος»** έχουν μεγαλύτερο ηλεκτρικό συστατικό πρόωσης, με ηλεκτρική ισχύ έως και **40 kW**. Αυτά τα υβριδικά επιτρέπουν σημαντική μεταφορά ισχύος μεταξύ της μπαταρίας και του συστήματος κίνησης του κινητήρα, αν και η αποθήκευση της μπαταρίας έχει σχεδιαστεί με σχετικά χαμηλή ενεργειακή ισχύ (**3-4 kWh**). Τα υβριδικά ισχύος έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες να παρέχουν βελτιώσεις στην οικονομία καυσίμου.

3. Vehicle Architectures and Design

▶ 3.2 HYBRID ELECTRIC VEHICLES

▶ 3.2.3 hybrids based on degree of hybridization

- ▶ Αυτά έχουν επίσης καλύτερες εκπομπές ρύπων εκτός κινητήρα λόγω ενός πιο **στοχευμένου προγράμματος λειτουργίας του κινητήρα**. Τα υβριδικά οχήματα ισχύος, όπως και τα ήπια υβριδικά, είναι τύπου διατήρησης φόρτισης, λαμβάνοντας όλη την κινητήρια ενέργεια από την καύση του ορυκτού καυσίμου.
- ▶ Το «**ενεργειακό**» υβριδικό σύστημα χρησιμοποιεί ένα σύστημα μπαταρίας υψηλής ενέργειας ικανό να κινεί το όχημα για σημαντική αυτονομία χωρίς λειτουργία του κινητήρα, γνωστά και στην αγορά ως PHEV- Plugin Hybrid Electric Vehicle.
- ▶ Η ηλεκτρική ισχύς και η χωρητικότητα της μπαταρίας κυμαίνονται συνήθως στο εύρος των **70-100 kW και 15-20 kWh**. Μια **αυτονομία μηδενικών εκπομπών 50 μιλίων (80km έως και 130 km σήμερα)*** θα κάλυπτε την ημερήσια αυτονομία μετακίνησης της πλειοψηφίας του πληθυσμού με βάση τις μέσες οδηγικές συνήθειες περίπου 15.000 χλμ/έτος στην ΕΕ. Τα υβριδικά οχήματα ισχύος είναι προφανώς τύπου εξάντλησης φόρτισης με πρόβλεψη για ηλεκτρική επαναφόρτιση των μπαταριών στο σπίτι. Αυτά τα οχήματα αποτελούν αντικείμενο επεξεργασίας στην επόμενη ενότητα.
- ▶ *Η ηλεκτρική αυτονομία αυξάνεται συνεχώς λόγω αυστηρότερων Προδιαγραφών Ρύπων.

3. Vehicle Architectures and Design

3.3 PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE

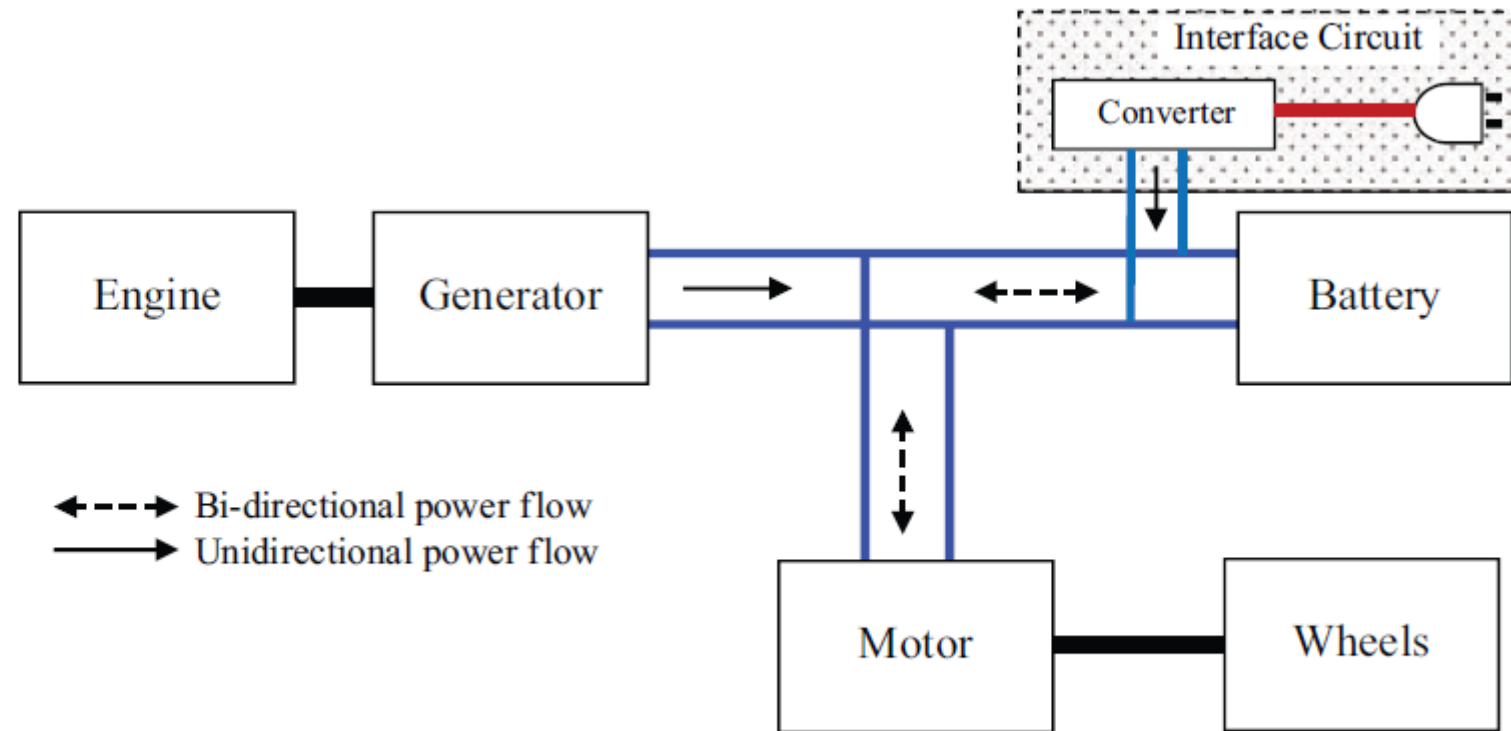


FIGURE 3.9 Block diagram of a series PHEV.

3. Vehicle Architectures and Design

3.4 ELECTRIC VEHICLES: SKATEBOARD CHASSIS

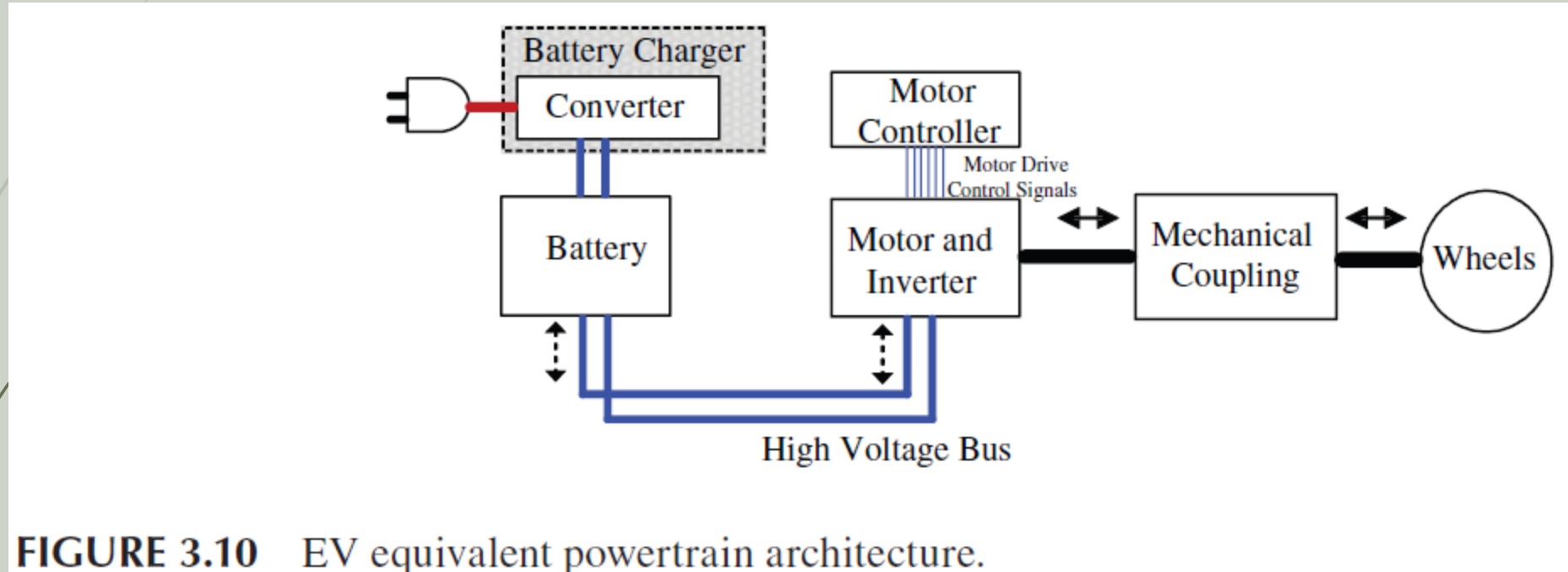


FIGURE 3.10 EV equivalent powertrain architecture.

3. Vehicle Architectures and Design

3.4 ELECTRIC VEHICLES: SKATEBOARD CHASSIS

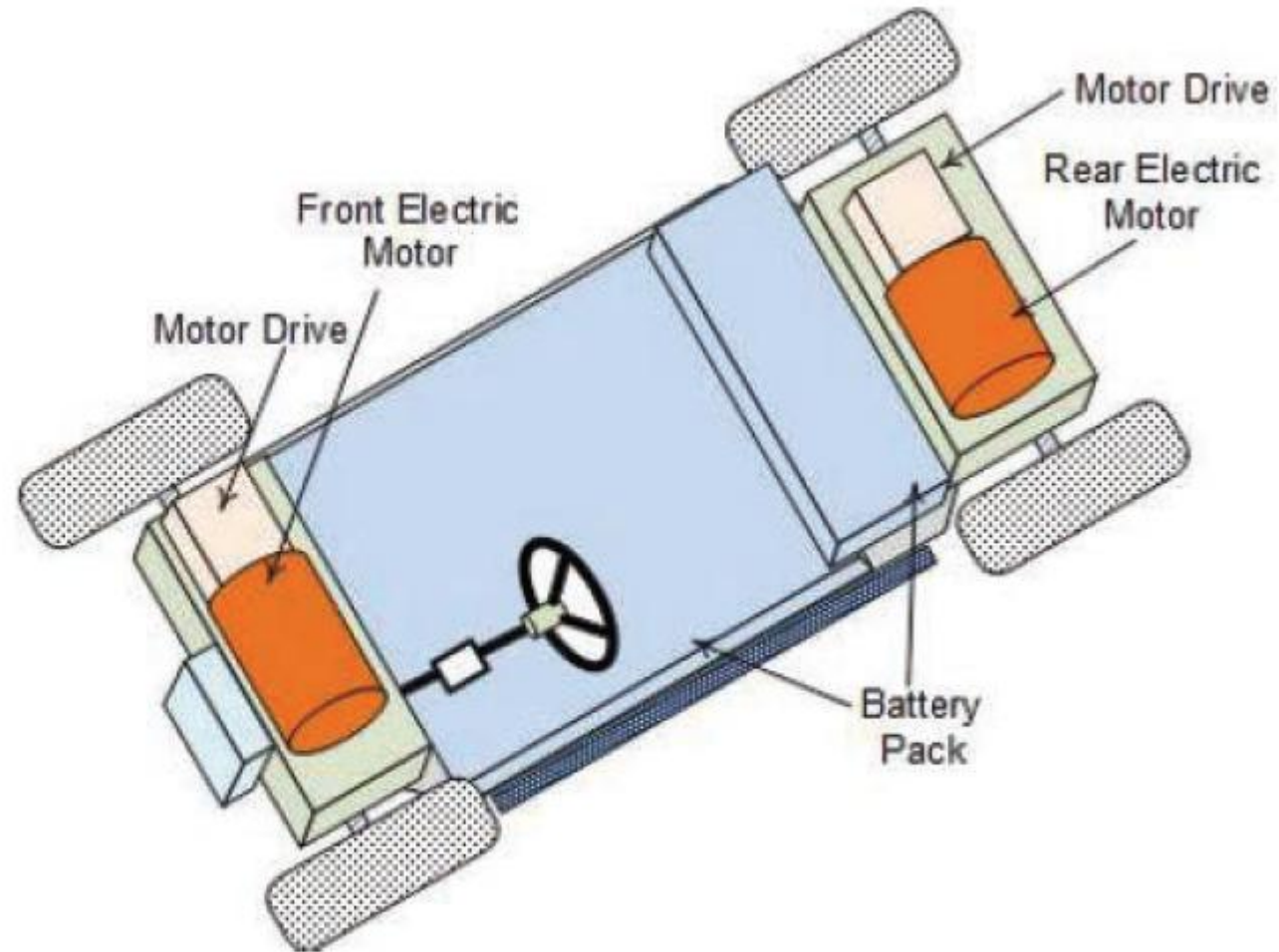


FIGURE 3.11 Skateboard chassis layout for EVs.

3. Vehicle Architectures and Design – 15/12

- ▶ 3.5 POWERTRAIN COMPONENT SIZING
- ▶ Ο πλήρης σχεδιασμός ενός οχήματος είναι πολύπλοκος και περιλαμβάνει,
 - ▶ πολυάριθμες μεταβλητές,
 - ▶ περιορισμούς,
 - ▶ σκέψεις και
 - ▶ κατανόηση των αλληλεπιδράσεων των συστημάτων.
- ▶ Οι αλληλεπιδράσεις είναι συνήθως **διεπιστημονικές** και απαιτούν **πολυφυσική ανάλυση και προσομοιώσεις**.
- ▶ Η **πλήρης αντιμετώπιση του σχεδιασμού ενός οχήματος** είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής αυτού του Μαθήματος αλλά,
 - ▶ από τα βασικά στοιχεία του οδοστρώματος,
 - ▶ τη δυναμική του οχήματος και
 - ▶ τις αρχιτεκτονικές που παρουσιάστηκαν μέχρι στιγμής,
 - ▶ μπορούμε να εξετάσουμε τους **θεμελιώδεις υπολογισμούς** που εμπλέκονται στη **διαστασιολόγηση των εξαρτημάτων του συστήματος** μετάδοσης κίνησης.

3. Vehicle Architectures and Design -

➤ 3.5 POWERTRAIN COMPONENT SIZING

- Οι υπολογισμοί παρέχουν τα δεδομένα σχεδιασμού για την **έναρξη της μοντελοποίησης** σε υπολογιστή και της προσομοίωσης για λεπτομερή ανάλυση σύνθετων συστημάτων EV και HEV.
- Η **μοντελοποίηση σε υπολογιστή και η προσομοίωση συνεχίζονται με επαναλήψεις** σχεδιασμού και αλλαγή μεγέθους υποσυστημάτων και ενημερώσεις ελεγκτών μέχρι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να πληρούν τις προδιαγραφές.
- Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι **βασικές εξισώσεις και οι αρχές** που θέτουν τα θεμέλια για τον **σχεδιασμό ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων**.
- Οι σκέψεις σχεδιασμού θα επισημανθούν όταν είναι απαραίτητο.

3. Vehicle Architectures and Design -

➤ 3.5 POWERTRAIN COMPONENT SIZING

- Οι κύριες προδιαγραφές σχεδιασμού που σχετίζονται με τη διαστασιολόγηση του συστήματος μετάδοσης κίνησης είναι:
 - (i) η αρχική επιτάχυνση,
 - (ii) η ονομαστική ταχύτητα σε μια δεδομένη κλίση,
 - (iii) η μέγιστη % κλίση και
 - (iv) η μέγιστη ταχύτητα σταθερής κατάστασης.
- Το **αυτονομία μηδενικών εκπομπών** είναι η πιο σημαντική προδιαγραφή για τη διαστασιολόγηση της χωρητικότητας της μπαταρίας μιλώντας για HEVs.
- Η **ενέργεια που απαιτείται για μια δεδομένη επιτάχυνση και σταθερή ταχύτητα σταθερής κατάστασης** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη **διαστασιολόγηση του ενεργειακού συστήματος**.

3. Vehicle Architectures and Design -

- 3.5.1 EV powertrain sizing
- Τα κύρια εξαρτήματα του συστήματος μετάδοσης κίνησης ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV) είναι ο **ηλεκτροκινητήρας και το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας**.
- Η **διαστασιολόγηση του ηλεκτροκινητήρα** περιλαμβάνει:
 - Την **εύρεση της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα και**
 - **του εύρους στροφών λειτουργίας.**
- Η **ονομαστική τάση και οι περιορισμοί συσκευασίας των εξαρτημάτων (πχ. Μπαταριών)** πρέπει επίσης να καθοριστούν στο στάδιο του σχεδιασμού σε επίπεδο συστήματος.
- Ο **σχεδιασμός** της ίδιας της μηχανής γίνεται από την **ηλεκτρική μηχανή** που έχει σχεδιαστεί για να **πληροί τις απαιτήσεις που ορίζονται σε επίπεδο συστήματος**.
- Άμεσα παρακάτω θα ασχοληθούμε με την **ονομαστική ισχύ της ηλεκτρικής μηχανής** για την κάλυψη των απαιτήσεων απόδοσης του οχήματος.
- Η διαστασιολόγηση της συσκευής **αποθήκευσης ενέργειας** θα εξεταστεί αργότερα στην **ενότητα σχεδιασμού υβριδικών οχημάτων**.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.1 EV powertrain sizing
- ▶ Οι ηλεκτροκινητήρες έχουν τρία κύρια τμήματα στα χαρακτηριστικά ροπής-ταχύτητας:
- ▶ (i) Περιοχή σταθερής ροπής,
- ▶ (ii) περιοχή σταθερής ισχύος και
- ▶ (iii) περιοχή φυσικής λειτουργίας.
- ▶ Η περιβάλλουσα περιοχή των χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας του ηλεκτροκινητήρα φαίνεται στο **Σχήμα 3.12**.

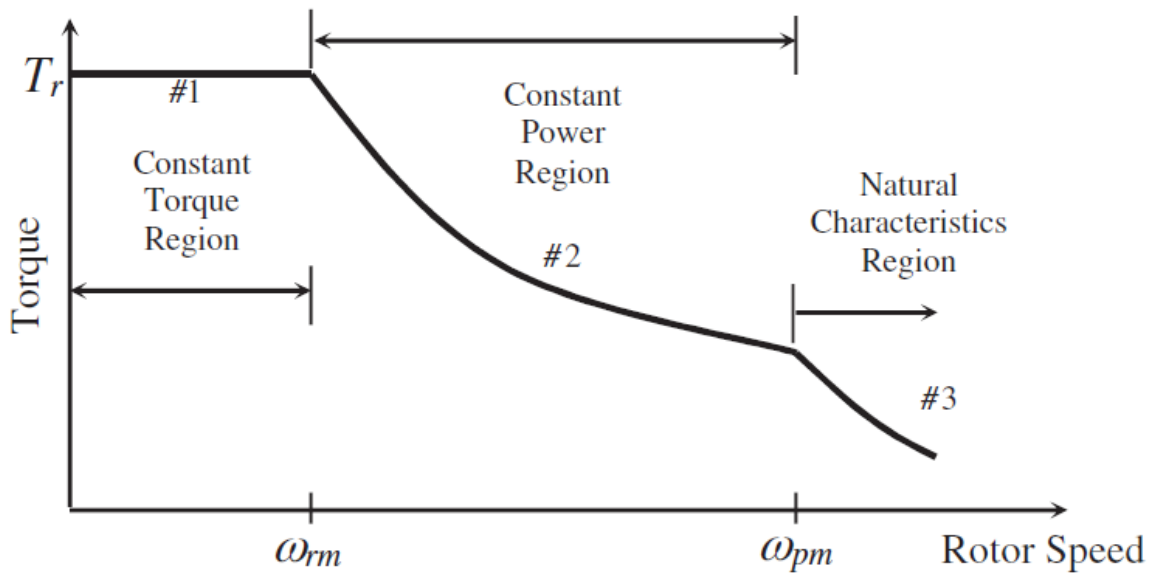


FIGURE 3.12 Electric motor torque–speed envelope.

3. Vehicle Architectures and Design -

➤ 3.5.1 EV powertrain sizing

- Ο κινητήρας παρέχει ονομαστική ροπή έως τη βασική ταχύτητα ή την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα όταν φτάσει στην ονομαστική του κατάσταση ισχύος.
- Η ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα ορίζεται ως η ταχύτητα με την οποία ο κινητήρας μπορεί να παρέχει ονομαστική ροπή στην ονομαστική ισχύ.
- Ο κινητήρας λειτουργεί σε λειτουργία σταθερής ισχύος πέρα από την ονομαστική ταχύτητα, όπου η ροπή μειώνεται σταθερά με ρυθμό αντιστρόφως ανάλογο προς την ταχύτητα.
- Ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να λειτουργεί σε ταχύτητες υψηλότερες από την ονομαστική χρησιμοποιώντας εξασθένηση πεδίου στην περιοχή σταθερής ισχύος.
- Υπάρχει μια τρίτη περιοχή φυσικής λειτουργίας για πολύ υψηλές ταχύτητες κινητήρα όπου η ροπή μειώνεται γρήγορα: είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας.
- Η περιοχή φυσικής χαρακτηριστικής μπορεί να αποτελέσει σημαντικό μέρος της συνολικής καμπύλης ροπής-ταχύτητας ορισμένων κινητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα.
- Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, η μέγιστη ταχύτητα του οχήματος θεωρείται ότι βρίσκεται στο τέλος της περιοχής σταθερής ισχύος.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.1 EV powertrain sizing
- ▶ Σημειώστε ότι οι καμπύλες στο Σχήμα 3.12 δείχνουν το εύρος (περίβλημα), δηλαδή τη ροπή λειτουργίας και τα όρια ταχύτητας σε διαφορετικές περιοχές.

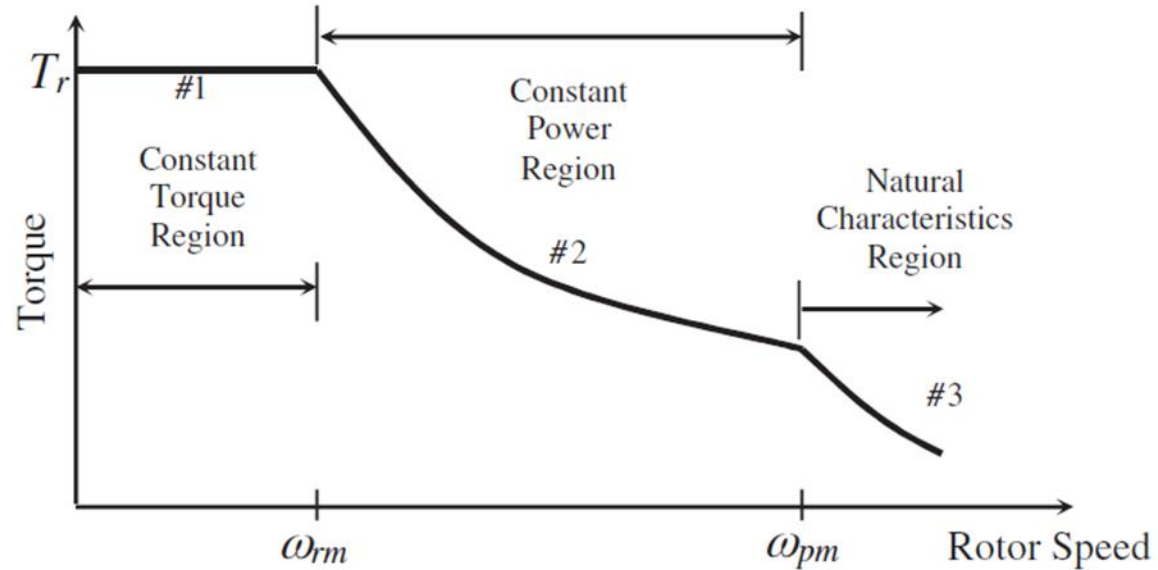


FIGURE 3.12 Electric motor torque–speed envelope.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.1 EV powertrain sizing

- ▶ Ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε σημείο εντός του περιβλήματος μέσω της τροφοδοσίας από ένα εξάρτημα κίνησης κινητήρα που βασίζεται σε ηλεκτρονικά ισχύος.
- ▶ Το κύριο χαρακτηριστικό των χαρακτηριστικών μεγάλου εύρους στροφών λειτουργίας ενός ηλεκτροκινητήρα καθιστά δυνατή την εξάλειψη πολλαπλών σχέσεων μετάδοσης και του συμπλέκτη σε ηλεκτρικά οχήματα και άλλες εφαρμογές.
- ▶ Ένα κιβώτιο ταχυτήτων μίας σχέσης μετάδοσης είναι επαρκές για τη σύνδεση του ηλεκτροκινητήρα με τον άξονα μετάδοσης κίνησης.
- ▶ Ηλεκτροκινητήρες με εκτεταμένα χαρακτηριστικά σταθερής περιοχής ισχύος είναι απαιτούμενοι για την ελαχιστοποίηση του μεγέθους των γραναζιών στα ηλεκτρικά οχήματα.

3. Vehicle Architectures and Design -

➤ 3.5.1 EV powertrain sizing

- Το μέγεθος ενός ηλεκτροκινητήρα εξαρτάται από τη μέγιστη ροπή που απαιτείται από το όχημα. Όσο υψηλότερη είναι η μέγιστη ροπή που απαιτείται, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το μέγεθος του κινητήρα. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το μέγεθος και το βάρος, οι ηλεκτροκινητήρες σχεδιάζονται για λειτουργία υψηλής ταχύτητας για μια δεδομένη ονομαστική ισχύ.
- Χρησιμοποιούνται γρανάζια για να ταιριάζουν η υψηλότερη ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα με τη χαμηλότερη ταχύτητα των τροχών.
- Οι τυπικές ταχύτητες του κινητήρα μπορεί να είναι κοντά στις 15.000 στροφές/m για τυπικές ταχύτητες τροχών περίπου 1.000 στροφές/m για ελαφρά επιβατικά οχήματα.
- Το κιβώτιο ταχυτήτων επιτυγχάνει αυτή τη μείωση ταχύτητας στην περιοχή ~10–15:1, συνήθως σε δύο στάδια μείωσης ταχύτητας 3–4:1.
- Το μέγεθος του κιβωτίου ταχυτήτων εξαρτάται από το αν η απόδοση του ηλεκτρικού οχήματος σε χαμηλή ή υψηλή ταχύτητα είναι πιο σημαντική, με βάση την ονομαστική ισχύ που καθορίζεται για το ηλεκτρικό όχημα.

3. Vehicle Architectures and Design -

3.5.1 EV powertrain sizing

- ▶ Τα χαρακτηριστικά της ελκτικής δύναμης έναντι της ταχύτητας του συστήματος πρόωσης μπορούν να διαφέρουν σημαντικά για δύο σχέσεις μετάδοσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.13.
- ▶ Σημειώστε ότι οι ονομαστικές ταχύτητες που εμφανίζονται αφορούν τη μονάδα μετάδοσης κίνησης που αποτελείται από τον ηλεκτροκινητήρα και το σύστημα μετάδοσης κίνησης και ότι η ονομαστική ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα διαφέρει από αυτές τις τιμές.
- ▶ Η ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα μπορεί πρώτα να μετατραπεί σε ταχύτητα μονάδας μετάδοσης κίνησης ή σε ταχύτητα τροχού οχήματος χρησιμοποιώντας τη σχέση μετάδοσης όπως φαίνεται προηγουμένως.

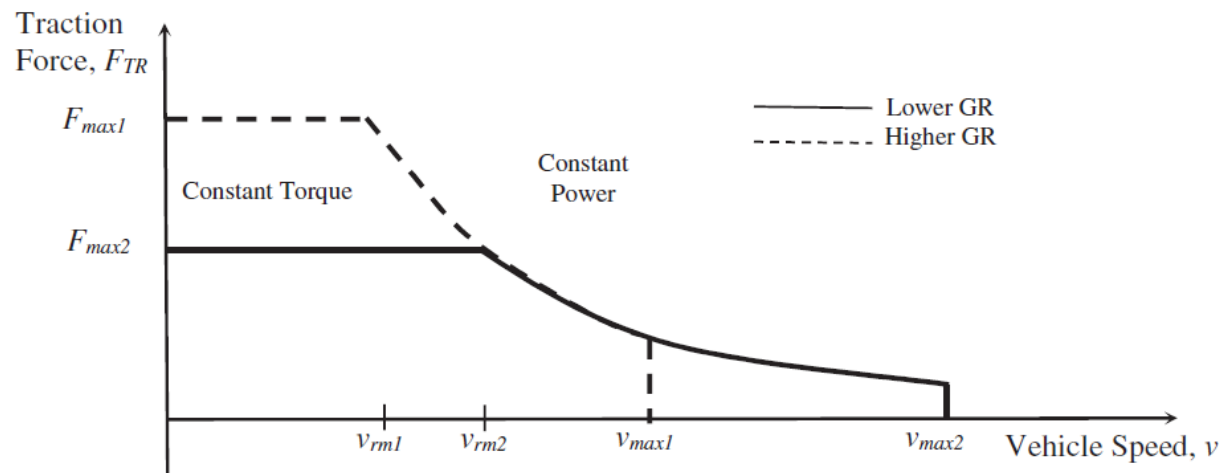


FIGURE 3.13 Electric motor torque–speed characteristics in terms of traction force and vehicle speed for two gear ratios.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.1 EV powertrain sizing

- ▶ Η ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα στον τροχό $\omega_{m,wh}$ σε rad/s μπορεί να μετατραπεί σε γραμμική ταχύτητα του οχήματος χρησιμοποιώντας $v_{rm} = \omega_{m,wh} r_{wh}$, όπου r_{wh} είναι η ακτίνα του τροχού.
- ▶ Το σύμβολο v_{rm} αναφέρεται εδώ ως η ισοδύναμη γραμμική ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα, αφού ληφθούν υπόψη ο μηχανισμός μετάδοσης και η ακτίνα του τροχού.
- ▶ Μεγαλύτερη ταχύτητα τροχού ή ταχύτητα οχήματος μπορεί να επιτευχθεί με μικρότερη σχέση μετάδοσης, αλλά η μέγιστη δύναμη πρόσφυσης που μπορεί να προσφέρει το σύστημα μετάδοσης κίνησης θα είναι μικρότερη.
- ▶ Η μικρότερη δύναμη πρόσφυσης θα περιορίσει την αρχική επιτάχυνση και τις μέγιστες δυνατότητες κλίσης του οχήματος.
- ▶ Από την άλλη πλευρά, εάν χρησιμοποιηθεί υψηλή σχέση μετάδοσης στο κιβώτιο ταχυτήτων για τον ίδιο ηλεκτροκινητήρα, η μέγιστη δύναμη πρόσφυσης που είναι διαθέσιμη στους τροχούς θα είναι υψηλότερη, αλλά η μέγιστη ταχύτητα του οχήματος v_{max} θα είναι περιορισμένη.
- ▶ Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η σχέση μετάδοσης εξαρτάται από την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα, την ονομαστική ταχύτητα του οχήματος, τη μέγιστη ταχύτητα του οχήματος, την ακτίνα του τροχού και τη μέγιστη ικανότητα κλίσης.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.1 EV powertrain sizing
- ▶ Πρέπει να παρατηρηθεί ότι μια υψηλότερη σχέση μετάδοσης συνεπάγεται μεγαλύτερο μέγεθος γρاناζιού.
- ▶ Επομένως, η σχέση μετάδοσης και η ονομαστική ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα πρέπει να επιλέγονται ταυτόχρονα για να βελτιστοποιηθούν οι συνολικές απαιτήσεις μεγέθους και απόδοσης.
- ▶ Για το σχεδιασμό του ηλεκτροκινητήρα λαμβάνονται υπόψη,
 - ▶ οι καθορισμένες απαιτήσεις της αρχικής επιτάχυνσης,
 - ▶ της ονομαστικής ταχύτητας σε μια δεδομένη κλίση,
 - ▶ της μέγιστης σταθερής ταχύτητας και
 - ▶ της μέγιστης κλίσης.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.1 EV powertrain sizing
- ▶ Κατά τη διαδικασία, θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες παράμετροι:
 - ▶ ονομαστική ισχύς κινητήρα P_m ,
 - ▶ ονομαστική ταχύτητα κινητήρα ω_m ,
 - ▶ ονομαστική ταχύτητα τροχού ω_{fw} , ονομαστική ταχύτητα οχήματος v_f ,
 - ▶ συνολική μάζα οχήματος m ,
 - ▶ μετωπική επιφάνεια οχήματος A_F ,
 - ▶ συντελεστές αντίστασης κύλισης C_0 και C_1 και αεροδυναμικός
 - ▶ συντελεστής οπισθέλκουσας C_D .
- ▶ Η διαδικασία σχεδιασμού ξεκινά με ένα σύνολο γνωστών παραμέτρων και κάποιες εμπειριστατωμένες εικόνες και τελειώνει με τις τελικές τιμές σχεδιασμού που πληρούν τις απαιτήσεις μετά από αρκετές επαναλήψεις.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.1 EV powertrain sizing

▶ 3.5.1.1 Initial Acceleration

- ▶ Η αρχική επιτάχυνση ορίζεται ως 0 έως v_f σε t_f s. v_f είναι η ονομαστική ταχύτητα του οχήματος που λαμβάνεται από $v_f = f_{wh} r_{wh}$.
- ▶ Το πρόβλημα σχεδιασμού είναι να λυθεί για την F_{TR} ξεκινώντας με ένα σύνολο παραμέτρων που περιλαμβάνουν,
 - ▶ τη μάζα του οχήματος,
 - ▶ την αντίσταση κύλισης,
 - ▶ τον αεροδυναμικό συντελεστή οπισθέλκουσας,
 - ▶ την ποσοστιαία κλίση,
 - ▶ την ακτίνα του τροχού κ.λπ.,
 - ▶ μερικές από τις οποίες είναι γνωστές, ενώ άλλες πρέπει να υποτεθούν.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.1 EV powertrain sizing
 - ▶ 3.5.1.1 Initial Acceleration
- ▶ Η επιτάχυνση του οχήματος ως προς αυτές τις μεταβλητές δίνεται από την Εξίσωση 2.32, η οποία επαναλαμβάνεται εδώ για ευκολία:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{F_{TR} - F_{RL}}{m}$$

- ▶ Η ονομαστική ισχύς του κινητήρα μπορεί να ληφθεί λύνοντας την παραπάνω διαφορική εξίσωση για ένα δεδομένο προφίλ δύναμης-ταχύτητας, όπως ένα από τα δύο που φαίνονται στο **Σχήμα 3.13**, και τις ακόλουθες οριακές συνθήκες:
 - ▶ Στον $t = 0$, ταχύτητα οχήματος $v = 0$.
 - ▶ Στον $t = t_f$, ταχύτητα οχήματος $v = v_f$.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.1 EV powertrain sizing
 - ▶ 3.5.1.1 Initial Acceleration
- ▶ Η **δύναμη αντίστασης φορτίου** οδοστρώματος F_{RL} **μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της ταχύτητας** όπως φαίνεται στο Κεφάλαιο 2 για **δεδομένες τιμές αντίστασης κύλισης, αεροδυναμικής δύναμης οπισθέλκουσας και κλίσης οδοστρώματος**.
- ▶ Η **Εξίσωση 3.1 της προηγούμενης διαφάνειας** μπορεί στη συνέχεια να λυθεί για την ονομαστική ισχύ του κινητήρα P_m για συγκεκριμένη ονομαστική ταχύτητα οχήματος v_f και ονομαστική ταχύτητα κινητήρα.
- ▶ Σημειώστε ότι η **Εξίσωση 3.1** είναι μια υπερβατική εξίσωση όπου η F_{RL} είναι συνάρτηση της ταχύτητας και μπορεί να λυθεί αριθμητικά για να βρεθεί η ονομαστική ισχύς του κινητήρα P_m .
- ▶ Στην πραγματικότητα, ο εκτεταμένος υπολογισμός και η προσομοίωση σε υπολογιστή βοηθούν σε έναν πρακτικό σχεδιασμό για την εξαγωγή της απαιτούμενης ονομαστικής ισχύος του κινητήρα και της σχέσης μετάδοσης του συστήματος μετάδοσης κίνησης.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.1 EV powertrain sizing

▶ 3.5.1.1 Initial Acceleration

▶ Μια ενδιαφέρουσα ανάλυση έχει παρουσιαστεί στο **[6]** για να τονίσει τη σημασία της εκτεταμένης σταθερής περιοχής ισχύος των χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας του κινητήρα.

▶ Έχει αποδειχθεί ότι για $F_{RL} = 0$, η ονομαστική ισχύς του κινητήρα είναι

$$P_m = \frac{m}{2t_f} (v_{rm}^2 + v_f^2)$$

▶ Η παραπάνω εξίσωση δείχνει ότι η ονομαστική ισχύς του κινητήρα θα είναι ελάχιστη όταν $v_{rm} = 0$, πράγμα που σημαίνει ότι ο ηλεκτροκινητήρας που λειτουργεί εξ ολοκλήρου σε λειτουργία σταθερής ισχύος είναι ο μικρότερος κινητήρας που ικανοποιεί τις απαιτήσεις.

▶ Στην άλλη ακραία περίπτωση, η ισχύς του κινητήρα θα είναι διπλάσια από αυτήν της μικρότερης περίπτωσης εάν ο κινητήρας λειτουργεί εξ ολοκλήρου σε λειτουργία σταθερής ροπής με $v_{rm} = v_f$.

▶ Φυσικά, η εξάλειψη της περιοχής σταθερής ροπής και η λειτουργία εξ ολοκλήρου στην περιοχή σταθερής ισχύος δεν είναι πρακτικά εφικτή.

▶ Σε πρακτικό περιβάλλον, ο ηλεκτροκινητήρας θα πρέπει να σχεδιάζεται με χαμηλή βασική ταχύτητα ή ονομαστική ταχύτητα και ευρεία περιοχή σταθερής ισχύος.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.1 EV powertrain sizing

▶ 3.5.1.1 Initial Acceleration

▶ Μια ενδιαφέρουσα ανάλυση έχει παρουσιαστεί στο **[6]** για να τονίσει τη σημασία της εκτεταμένης σταθερής περιοχής ισχύος των χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας του κινητήρα.

▶ Έχει αποδειχθεί ότι για $F_{RL} = 0$, η ονομαστική ισχύς του κινητήρα είναι

$$P_m = \frac{m}{2t_f} (v_{rm}^2 + v_f^2)$$

▶ Η παραπάνω εξίσωση δείχνει ότι η ονομαστική ισχύς του κινητήρα θα είναι ελάχιστη όταν $v_{rm} = 0$, πράγμα που σημαίνει ότι ο ηλεκτροκινητήρας που λειτουργεί εξ ολοκλήρου σε λειτουργία σταθερής ισχύος είναι ο μικρότερος κινητήρας που ικανοποιεί τις απαιτήσεις.

▶ Στην άλλη ακραία περίπτωση, η ισχύς του κινητήρα θα είναι διπλάσια από αυτήν της μικρότερης περίπτωσης εάν ο κινητήρας λειτουργεί εξ ολοκλήρου σε λειτουργία σταθερής ροπής με $v_{rm} = v_f$.

▶ Φυσικά, η εξάλειψη της περιοχής σταθερής ροπής και η λειτουργία εξ ολοκλήρου στην περιοχή σταθερής ισχύος δεν είναι πρακτικά εφικτή.

▶ Σε πρακτικό περιβάλλον, ο ηλεκτροκινητήρας θα πρέπει να σχεδιάζεται με χαμηλή βασική ταχύτητα ή ονομαστική ταχύτητα και ευρεία περιοχή σταθερής ισχύος.

3. Vehicle Architectures and Design -

➤ 3.5.1 EV powertrain sizing

➤ 3.5.1.2 Rated Vehicle Velocity & 3.5.1.3 Maximum Velocity

➤ Το **σύστημα μετάδοσης κίνησης** που έχει σχεδιαστεί για να **επιταχύνει το όχημα από το 0 στην ονομαστική ταχύτητα** θα έχει πάντα την **επαρκή ισχύ** για να κινηθεί το όχημα με την ονομαστική ταχύτητα, υπό την **προϋπόθεση ότι η κλίση του οδοστρώματος** που καθορίζεται για την **αρχική επιτάχυνση δεν έχει αυξηθεί** για την κατάσταση πορείας με **ονομαστική ταχύτητα**.

➤ Η ισχύς έλξης που απαιτείται για την κίνηση του οχήματος στη μέγιστη ταχύτητα v_{max} είναι

$$P_{TR,max} = mgv_{max} \sin \beta + \left[mgC_1 + \frac{\rho}{2} A_F C_D \right] v_{max}^3 + mgv_{max} C_0$$

➤ κυρίαρχη δύναμη αντίστασης σε υψηλές ταχύτητες είναι η αεροδυναμική δύναμη οπισθέλκουσας, με την απαιτούμενη ισχύ για την υπερνίκηση της να αυξάνεται με κυβικό ρυθμό.

3. Vehicle Architectures and Design -

➤ 3.5.1 EV powertrain sizing

➤ 3.5.1.2 Rated Vehicle Velocity & 3.5.1.3 Maximum Velocity

- Για οχήματα σχεδιασμένα με χαρακτηριστικά γρήγορης επιτάχυνσης, η τιμή P_m είναι πιθανό να είναι μεγαλύτερη από την $P_{TR,max}$.
- Εάν η τιμή $P_{TR,max} > P_m$ υπολογίστηκε νωρίτερα για να ικανοποιηθεί η αρχική απαίτηση επιτάχυνσης, τότε η τιμή $P_{TR,max}$ θα ορίσει την ονομαστική ισχύ του ηλεκτροκινητήρα.
- Η περιοχή φυσικής λειτουργίας των ηλεκτρικών κινητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη πολύ υψηλών απαιτήσεων μέγιστης ταχύτητας του οχήματος, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μέγεθος του κινητήρα.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.1 EV powertrain sizing
 - ▶ 3.5.1.4 Maximum Gradability
- ▶ Η μέγιστη ικανότητα κλίσης ενός οχήματος για δεδομένη σχέση κινητήρα και μετάδοσης μπορεί να προκύψει από

$$\text{Max. \% grade} = \frac{100F_{TR}}{\sqrt{(mg)^2 - F_{TR}^2}}$$

- ▶ Η μέγιστη δύναμη έλξης F_{TR} που είναι διαθέσιμη από τον προκαταρκτικό σχεδιασμό του κινητήρα μπορεί να ενσωματωθεί στην παραπάνω εξίσωση για να ελεγχθεί εάν πληρούνται οι συνθήκες μέγιστης ανακλινόμενης ικανότητας του οχήματος ή όχι.

3. Vehicle Architectures and Design -

➤ 3.5.1 EV powertrain sizing

➤ 3.5.1.4 Maximum Gradability

- Εάν η μέγιστη ισχύς του ηλεκτροκινητήρα που προκύπτει για την επιτάχυνση ή τη μέγιστη ταχύτητα του οχήματος δεν είναι επαρκής για να καλύψει την απαίτηση μέγιστης ανακлинόμενης ικανότητας του οχήματος, τότε πρέπει να αυξηθεί είτε η ονομαστική ισχύς του κινητήρα είτε η σχέση μετάδοσης.
- Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να μην παραβιάζεται η απαίτηση μέγιστης ταχύτητας του οχήματος κατά την αύξηση της σχέσης μετάδοσης.
- Η σχέση μετάδοσης και η ισχύς του κινητήρα αποφασίζονται με συντονισμένο τρόπο ώστε να πληρούνται και οι δύο απαιτήσεις, διατηρώντας παράλληλα ένα λογικό μέγεθος τόσο για τον ηλεκτροκινητήρα όσο και για το κιβώτιο ταχυτήτων.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing
- ▶ Η αρχιτεκτονική και η τεχνική ελέγχου του συστήματος μετάδοσης κίνησης HEV εξαρτάται από τις επιθυμητές απαιτήσεις, συμπεριλαμβανομένων, ενδεικτικά, της απόδοσης, της αυτονομίας και των εκπομπών.
- ▶ Οι απαιτήσεις απόδοσης της αρχικής επιτάχυνσης, της ταχύτητας πλεύσης, της μέγιστης ταχύτητας και της ικανότητας κλιμάκωσης υπαγορεύουν τις απαιτήσεις ισχύος του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του κινητήρα.
- ▶ Οι απαιτήσεις ισχύος μπορούν επίσης να καθοριστούν με βάση πολλαπλά προγράμματα οδήγησης που έχουν ενσωματωμένες τις χειρότερες απαιτήσεις.
- ▶ Η ενέργεια που απαιτείται από το σύστημα μετάδοσης κίνησης για την κάλυψη των προδιαγραφών αυτονομίας υπαγορεύει τον σχεδιασμό του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο μπορεί να είναι μια μπαταρία ή ένας συνδυασμός μπαταρίας και υπερπυκνωτών.
- ▶ Η συμμόρφωση με το πρότυπο εκπομπών εξαρτάται αποκλειστικά από τα χαρακτηριστικά εκπομπών του κινητήρα εσωτερικής καύσης, καθώς ο ηλεκτροκινητήρας έχει μηδενικές εκπομπές.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing
- ▶ Η ισχύς που απαιτείται σε ένα υβριδικό όχημα προέρχεται από έναν συνδυασμό των εξόδων του ηλεκτροκινητήρα και του κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- ▶ Η αποστολή του οχήματος παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανομή της απαιτούμενης ισχύος μεταξύ του ηλεκτροκινητήρα και του θερμικού κινητήρα.
- ▶ Ένα υβριδικό όχημα σχεδιασμένο για αστικές μετακινήσεις θα έχει διαφορετικό συνδυασμό υποσυστημάτων μετάδοσης κίνησης από ένα οικογενειακό sedan που έχει σχεδιαστεί τόσο για αστικές μετακινήσεις όσο και για μετακινήσεις σε αυτοκινητόδρομους.
- ▶ Η απαιτούμενη ισχύς του ηλεκτροκινητήρα και του κινητήρα εσωτερικής καύσης για ένα αστικό όχημα για μετακινήσεις θα είναι σίγουρα χαμηλότερη από αυτήν που απαιτείται για αυτοκίνητα που έχουν σχεδιαστεί για μετακινήσεις σε αυτοκινητόδρομους.
- ▶ Για αστικά οχήματα που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για καθημερινές μετακινήσεις μικρότερες από 160 χιλιόμετρα, ο σχεδιαστής πρέπει να λάβει υπόψη το BEV αντί για ένα PHEV.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing
- ▶ Ο μηχανικός σχεδιασμού αξιολογεί τους συμβιβασμούς σχεδιασμού με βάση την αποστολή και τις προδιαγραφές και επιλέγει μία από τις σειριακές ή παράλληλες διαμορφώσεις που συζητήθηκαν προηγουμένως.
- ▶ Τα υποσυστήματα του συστήματος μετάδοσης κίνησης έχουν τις δικές τους μονάδες ελέγχου και τα εξαρτήματα συντονίζονται μέσω μιας μονάδας ελέγχου εποπτείας.
- ▶ Η αποστολή του οχήματος υπαγορεύει επίσης τον τύπο ελέγχου που θα χρησιμοποιηθεί για το όχημα.
- ▶ Για παράδειγμα, τα οχήματα αυτοκινητοδρόμων απαιτούν μια στρατηγική ελέγχου σχεδιασμένη για τη μεγιστοποίηση της οικονομίας καυσίμου.
- ▶ Το σχεδιασμένο σύστημα πρέπει να είναι ικανό να χειρίζεται όλες τις πραγματικές καταστάσεις εντός των ορίων των απαιτήσεων σχεδιασμού.
- ▶ Κατάλληλα μέτρα ασφαλείας πρέπει επίσης να ενσωματωθούν στον ελεγκτή για την αντιμετώπιση καταστάσεων όταν ορισμένα υποσυστήματα αποτυγχάνουν ή υπολειτουργούν.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing
- ▶ Η διαστασιολόγηση των εξαρτημάτων τόσο του ηλεκτρικού όσο και του μηχανικού συστήματος ξεκινά μόλις σχεδιαστεί η αρχιτεκτονική του συστήματος μετάδοσης κίνησης με βάση την αποστολή του οχήματος.
- ▶ Σε ένα υβριδικό όχημα σειράς, ο σχεδιασμός του ηλεκτρικού συστήματος είναι ο ίδιος με αυτόν ενός ηλεκτρικού οχήματος.
- ▶ Το μέγεθος του κινητήρα IC καθορίζεται για να διατηρεί τις μπαταρίες φορτισμένες.
- ▶ Το μέγεθος των εξαρτημάτων ενός παράλληλου υβριδικού οχήματος είναι πολύ πιο περίπλοκο.
- ▶ Εάν το όχημα έχει σχεδιαστεί με βαρύτερη πόλωση στον κινητήρα IC, τότε οι μπαταρίες μπορούν να μειωθούν και να αναδιαμορφωθούν για μέγιστη ειδική ισχύ αντί για μέγιστη ειδική ενέργεια.
- ▶ Η μπαταρία και ο κινητήρας χρησιμεύουν για την παροχή μέγιστης ζήτησης ισχύος κατά την επιτάχυνση και την προσπέραση χωρίς να αποφορτίζονται πλήρως.
- ▶ Η μπαταρία λειτουργεί επίσης ως δεξαμενή για την ενέργεια αναγεννητικής πέδησης.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing
- ▶ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπερπυκνωτές αντί για μπαταρίες, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούν τις απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της μέγιστης ζήτησης ισχύος.
- ▶ Εάν το όχημα πρόκειται να πολωθεί περισσότερο από την μπαταρία, τότε το σύστημα διαμορφώνεται έτσι ώστε η ενέργεια της μπαταρίας να εξαντλείται έως και περίπου 80% από την πλήρως φορτισμένη χωρητικότητά της στο τέλος του μεγαλύτερου ταξιδιού.
- ▶ Μόλις κατανεμηθούν οι απαιτήσεις ισχύος του ηλεκτρικού και μηχανικού συστήματος για το παράλληλο υβριδικό όχημα, τα ηλεκτρικά εξαρτήματα σχεδιάζονται με βάση την ισχύ που έχει οριστεί για το ηλεκτρικό σύστημα, χρησιμοποιώντας την ίδια φιλοσοφία σχεδιασμού όπως αυτή που χρησιμοποιείται για τα εξαρτήματα του ηλεκτρικού οχήματος.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing
- ▶ Μια φιλοσοφία παράλληλη με αυτή που χρησιμοποιείται για το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό του μηχανικού συστήματος, όπου τα εξαρτήματα διαστασιολογούνται με βάση την αρχική επιτάχυνση, την ονομαστική ταχύτητα πλεύσης, τη μέγιστη ταχύτητα και τη μέγιστη δυνατότητα κλίσης [7].
- ▶ Η σχέση μετάδοσης μεταξύ του κινητήρα εσωτερικής καύσης (IC) και του άξονα τροχού ενός παράλληλου υβριδικού οχήματος μπορεί να επιτευχθεί αντιστοιχίζοντας τη μέγιστη ταχύτητα (IS) του κινητήρα εσωτερικής καύσης με τη μέγιστη ταχύτητα του άξονα μετάδοσης κίνησης.
- ▶ Ένα κιβώτιο ταχυτήτων μίας ταχύτητας είναι επιθυμητό για την ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας.

3. Vehicle Architectures and Design -

➤ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing

➤ 3.5.2.1 Rated Vehicle Velocity

- Σε ένα υβριδικό όχημα, ο ηλεκτροκινητήρας εξυπηρετεί κυρίως την κάλυψη των απαιτήσεων επιτάχυνσης, ενώ ο κινητήρας εσωτερικής καύσης παρέχει την ισχύ για την πλεύση στην ονομαστική ταχύτητα, υποθέτοντας ότι η ενέργεια της μπαταρίας δεν επαρκεί για να παρέχει την απαιτούμενη ισχύ σε όλο το επιθυμητό εύρος.
- Επομένως, το μέγεθος του κινητήρα εσωτερικής καύσης προσδιορίζεται από την απαίτηση ισχύος πλεύσης του οχήματος στην ονομαστική του ταχύτητα, ανεξάρτητα από την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα.
- Έτσι, το μέγεθος του κινητήρα εσωτερικής καύσης θα πρέπει να καθοριστεί πρώτα στην περίπτωση των HEV · το μέγεθός του μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την απαίτηση ισχύος του ηλεκτροκινητήρα που είναι υπεύθυνος για τα χαρακτηριστικά επιτάχυνσης του οχήματος.

3. Vehicle Architectures and Design -

- ▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing
 - ▶ 3.5.2.1 Rated Vehicle Velocity
- ▶ Τα χαρακτηριστικά φορτίου κατά την οδήγηση που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 2 και τα χαρακτηριστικά δύναμης-ταχύτητας του κινητήρα εσωτερικής καύσης (που προέρχονται από τα χαρακτηριστικά ροπής-ταχύτητας ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης) είναι χρήσιμα για τη διαστασιολόγηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- ▶ Το **Σχήμα 3.14** δείχνει ενδεικτικές καμπύλες χαρακτηριστικών κινητήρα εσωτερικής καύσης με τον κυβισμό του κινητήρα ως παράμετρο μαζί με τα χαρακτηριστικά φορτίου κατά την οδήγηση για μια υποτιθέμενη κλίση και παραμέτρους οχήματος.
- ▶ Το σωστό μέγεθος κινητήρα εσωτερικής καύσης καθορίζεται από την τομή των χαρακτηριστικών φορτίου κατά την οδήγηση στη χειρότερη περίπτωση με το προφίλ δύναμης-ταχύτητας του κινητήρα εσωτερικής καύσης στην ονομαστική ταχύτητα, ενώ προστίθεται ένα περιθώριο **10% για την επαναφόρτιση της** μπαταρίας [7].

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing

▶ 3.5.2.1 Rated Vehicle Velocity

- ▶ Το ακριβές ποσό περιθωρίου που απαιτείται αποτελεί αντικείμενο μιας πιο περίπλοκης ανάλυσης, που περιλαμβάνει **τους κύκλους οδήγησης** του οχήματος, **τη χωρητικότητα της μπαταρίας**, τα **χαρακτηριστικά φόρτισης/εκφόρτισης** της μπαταρίας και τα χαρακτηριστικά της **γεννήτριας**.

Σχήμα 3.14. Ενδεικτικές καμπύλες χαρακτηριστικών κινητήρα εσωτερικής καύσης με τον κυβισμό του κινητήρα ως παράμετρο μαζί με τα χαρακτηριστικά φορτίου κατά την οδήγηση για μια υποτιθέμενη κλίση και παραμέτρους οχήματος.

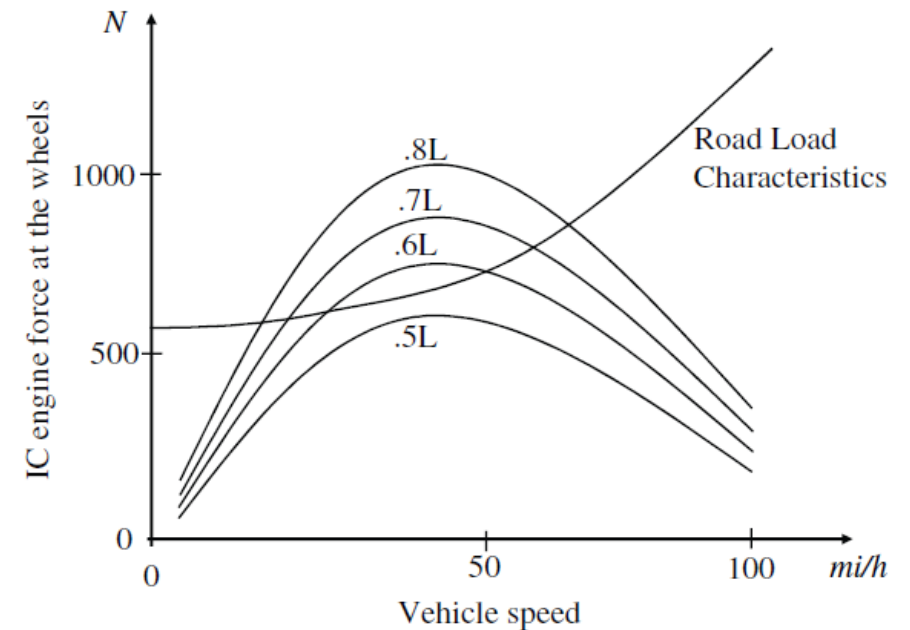


FIGURE 3.14 Typical IC engine force–velocity characteristics and road–load characteristics.

3. Vehicle Architectures and Design -

3.5.2 HEV Powertrain Sizing

3.5.2.2 Initial Acceleration

- ▶ Ο ηλεκτροκινητήρας με τις υψηλότερες δυνατότητες μέγιστης ισχύος χρησιμοποιείται περισσότερο κατά την αρχική επιτάχυνση.
- ▶ Η μηχανική ισχύς που διατίθεται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης μπορεί να αναμειχθεί με την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα για την επιτάχυνση, μειώνοντας έτσι την απαίτηση ισχύος του ηλεκτροκινητήρα.
- ▶ Η ισχύς που απαιτείται από τον κινητήρα εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία ξεκινά η ανάμειξη ροπής από τις δύο μονάδες πρόωσης.

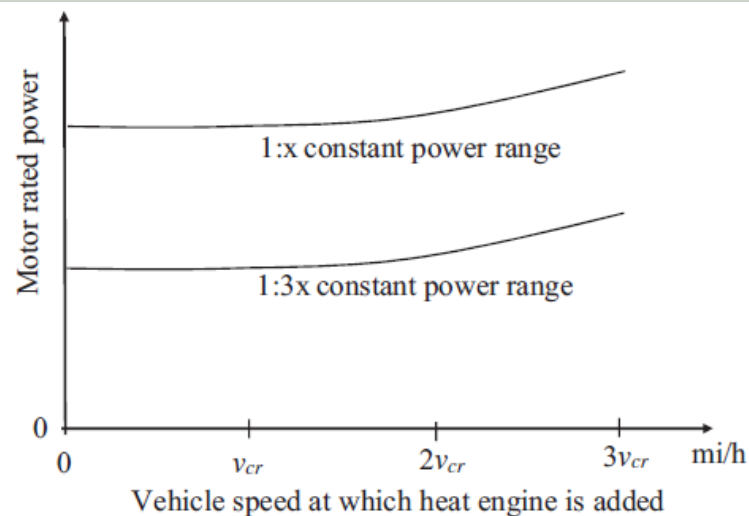


FIGURE 3.15 Electric power requirement as a function of vehicle speed at which IC engine is added.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing

▶ 3.5.2.2 Initial Acceleration

▶ Το **Σχήμα 3.15** δείχνει την επίδραση της ανάμειξης ροπής στην απαίτηση ονομαστικής ισχύος του ηλεκτροκινητήρα κατά την αρχική επιτάχυνση με κιβώτιο ταχυτήτων μίας ταχύτητας για τον κινητήρα εσωτερικής καύσης.

▶ Το σχήμα δείχνει ότι θα υπάρχει πολύ μικρή συνεισφορά ισχύος από τον κινητήρα μέχρι να επιτευχθεί μια ελάχιστη κρίσιμη ταχύτητα v_{cr} mph του οχήματος λόγω της χαμηλής ικανότητας ροπής σε χαμηλές στροφές.

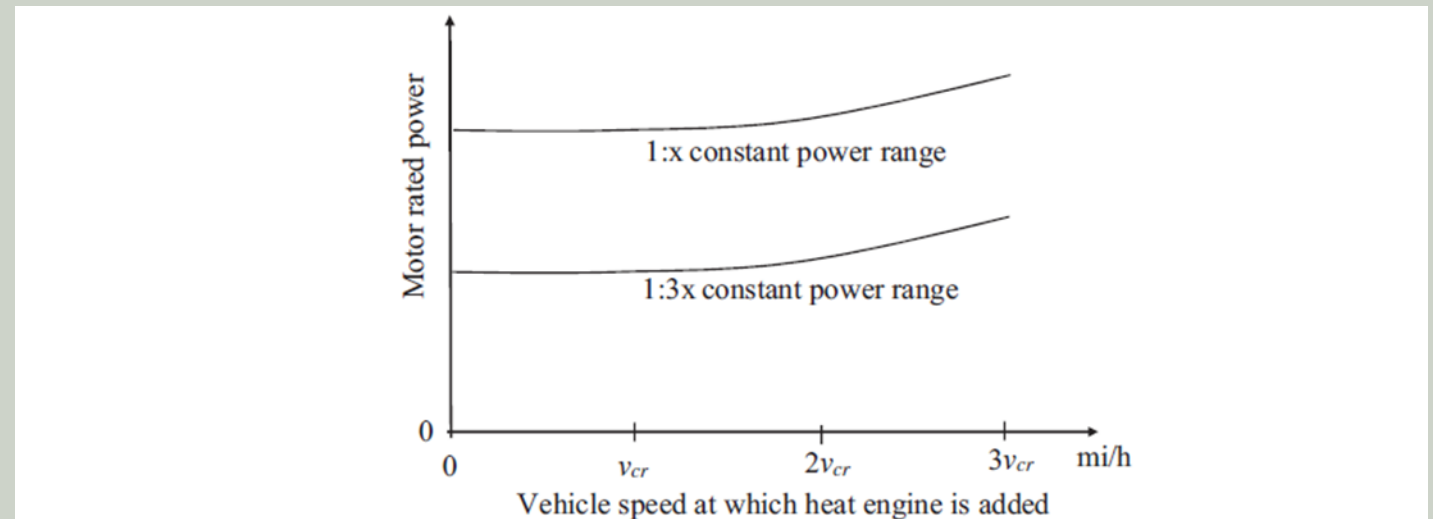


FIGURE 3.15 Electric power requirement as a function of vehicle speed at which IC engine is added.

▶ Επομένως, η ανάμειξη ροπής θα πρέπει να ξεκινήσει αφού το όχημα έχει επιτύχει την κρίσιμη ταχύτητα με κιβώτιο ταχυτήτων μίας ταχύτητας, αποφεύγοντας τη χρήση του κινητήρα για την αρχική επιτάχυνση όσο το δυνατόν περισσότερο χωρίς να αυξηθεί σημαντικά η ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing

▶ 3.5.2.2 Initial Acceleration

- ▶ Η απαίτηση ισχύος από τον ηλεκτροκινητήρα αυξάνεται μη γραμμικά με την ταχύτητα εάν η ανάμειξη ροπής του κινητήρα εσωτερικής καύσης καθυστερήσει πέρα από v_{cr} mph.
- ▶ Το ποιοτικό σχήμα δείχνει δύο καμπύλες με την έκταση της περιοχής σταθερής ισχύος ως παράμετρο, όπου x είναι ένας ακέραιος αριθμός.
- ▶ Η κάτω καμπύλη έχει πολύ ευρύτερη περιοχή σταθερής ισχύος από την άνω καμπύλη.
- ▶ Οι καμπύλες τονίζουν για άλλη μια φορά την ανάγκη για εκτεταμένη περιοχή σταθερής ισχύος λειτουργίας του ηλεκτρικού κινητήρα για την ελαχιστοποίηση του μεγέθους του.
- ▶ Η απαίτηση ισχύος του κινητήρα εσωτερικής καύσης που καθορίζεται από την ονομαστική συνθήκη ταχύτητας του οχήματος θα ήταν συνήθως αρκετή για να παρέχει την αρχική επιτάχυνση σε συνδυασμό με τον ηλεκτροκινητήρα.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing

▶ 3.5.2.3 Maximum Velocity

- ▶ The power requirement from the propulsion system at maximum velocity is $F_{TR} \times v_{max}$, which is supplied by a combination of the engine and the electric motor. This requirement is given by

$$P_{TR,max} = F_{TR} \cdot v_{max} = mgv_{max} \sin \beta + \left[mgC_1 + \frac{\rho}{2} A_F C_D \right] v_{max}^3 + mgv_{max} C_0$$

- ▶ Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα που απαιτείται για την ικανοποίηση των συνθηκών μέγιστης ταχύτητας μπορεί να οριστεί μοναδικά αφαιρώντας την ισχύ του κινητήρα που προσδιορίστηκε για πλεύση στην ονομαστική ταχύτητα από την απαιτούμενη ισχύ μέγιστης ταχύτητας.
- ▶ Η απαιτούμενη ισχύς του ηλεκτροκινητήρα που υπολογίζεται σε αυτό το βήμα θα ήταν, γενικά, μικρότερη από την απαιτούμενη ισχύ για την αρχική επιτάχυνση, εκτός εάν οι απαιτήσεις μέγιστης ταχύτητας είναι πολύ αυστηρές, όπως πολύ υψηλή ταχύτητα σε απότομη κλίση.

3. Vehicle Architectures and Design -

3.5.2 HEV Powertrain Sizing

3.5.2.4 Maximum Gradability

► Η μέγιστη συνθήκη αναβαθμισιμότητας πρέπει να ελεγχθεί μόλις ολοκληρωθεί η διαστασιολόγηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του ηλεκτροκινητήρα από τις προηγούμενες τρεις απαιτήσεις.

► Η μέγιστη αναριχησιμότητα ενός οχήματος δίνεται από

$$\text{Max. \% grade} = \frac{100F_{TR}}{\sqrt{(mg)^2 - F_{TR}^2}}$$

► Εάν η συνθήκη δεν πληρούται, τότε το μέγεθος είτε του κινητήρα είτε του κινητήρα ή και των δύο πρέπει να αυξηθεί ή η σχέση μετάδοσης πρέπει να αλλάξει για να πληροί τις απαιτήσεις αναριχησιμότητας.

► Παρόλο που η φιλοσοφία σχεδιασμού που περιγράφεται παραπάνω αναφέρει ότι το μέγεθος του κινητήρα εσωτερικής καύσης προέρχεται κυρίως από την ονομαστική ταχύτητα πλεύσης και το μέγεθος του ηλεκτροκινητήρα προέρχεται από την αρχική επιτάχυνση, ο πρακτικός σχεδιασμός περιλαμβάνει εκτεταμένη προσομοίωση υπολογιστή χρησιμοποιώντας διάφορους κύκλους οδήγησης, παραμέτρους του οχήματος και χαρακτηριστικά της επιλεγμένης μπαταρίας, του κινητήρα, της γεννήτριας και του κινητήρα εσωτερικής καύσης.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.2 HEV Powertrain Sizing

▶ 3.5.2.4 Maximum Gradability

- ▶ Όπως σε όλες τις περιπτώσεις συστημάτων, η διαστασιολόγηση και ο σχεδιασμός των εξαρτημάτων των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων είναι μια επαναληπτική διαδικασία που τελειώνει όταν πληρούνται όλες οι απαιτήσεις σχεδιασμού.
- ▶ Οι συζητήσεις που παρουσιάζονται παρέχουν τη θεωρητική βάση για τις αρχικές εκτιμήσεις, αποφεύγοντας την περιττή υπερδιαστασιολόγηση των εξαρτημάτων.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

- ▶ Το παράδειγμα διαστασιολόγησης περιλαμβάνει ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης HEV για ένα σειριακό-παράλληλο υβριδικό όχημα 2×2 .
- ▶ Το όχημα ανακατασκευάστηκε από ένα Chevrolet Equinox του 2005 για τον εθνικό διαγωνισμό σχεδιασμού φοιτητικών οχημάτων που ονομάζεται Challenge X.
- ▶ Το όχημα θα αναφέρεται ως **Akron**.
- ▶ Οι παράμετροι του οχήματος και οι απαιτήσεις απόδοσης για τον σχεδιασμό δίνονται στον Πίνακα 3.1.

TABLE 3.1
Akron Hybrid Vehicle Parameters and Requirements

| Description | Requirements |
|--|----------------------|
| Vehicle mass | 4,400 lbs./1,995 kg |
| Driver/one passenger | 176 lbs./80 kg |
| Trailer capacity | 2,500 lbs./1,133 kg |
| Rolling resistance coefficient, C_0 | 0.009 |
| Wheel radius, r_{wh} | 0.3305 m |
| Aerodynamic drag coefficient, C_{AD} | 0.45 |
| Frontal area, A_F | 2.686 m ² |
| 0–60 mph | 9.0 s |
| 50–70 mph | 6.8 s |

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

- ▶ Ο συνολικός στόχος σχεδιασμού για το όχημα είναι η αυξημένη οικονομία καυσίμου και οι μειωμένες εκπομπές ρύπων, χωρίς να θυσιάζονται οι ανέσεις των πελατών.
- ▶ Τα κέρδη στην οικονομία καυσίμου με τον υβριδισμό του οχήματος μπορούν να επιτευχθούν με βάση τη μείωση του μεγέθους του κινητήρα, τη μείωση της λειτουργίας του κινητήρα στο ρελαντί, την ανάκτηση των απωλειών ενέργειας πέδησης και την ευελιξία στην επιλογή του σημείου λειτουργίας του κινητήρα για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης.
- ▶ Τα παραπάνω αποτελούν τη βάση για τη διαστασιολόγηση των εξαρτημάτων και την ανάπτυξη στρατηγικής επιλογής και ελέγχου για το υβριδικό όχημα **Akron**.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

- ▶ Ο σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη την αρχική επιτάχυνση χωρίς το τρέιλερ, αλλά περιλαμβάνει και τη μάζα του οδηγού.
- ▶ Η ταχύτητα πλεύσης του οχήματος είναι 75 mph σε κλίση 3% και έναντι αντίθετου ανέμου 20 mph με υψηλή απόδοση καυσίμου κινητήρα καθώς και υψηλή απόδοση ηλεκτρικής κίνησης. Η αρχιτεκτονική του υβριδικού οχήματος Akron είναι η ίδια με αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 3.5.

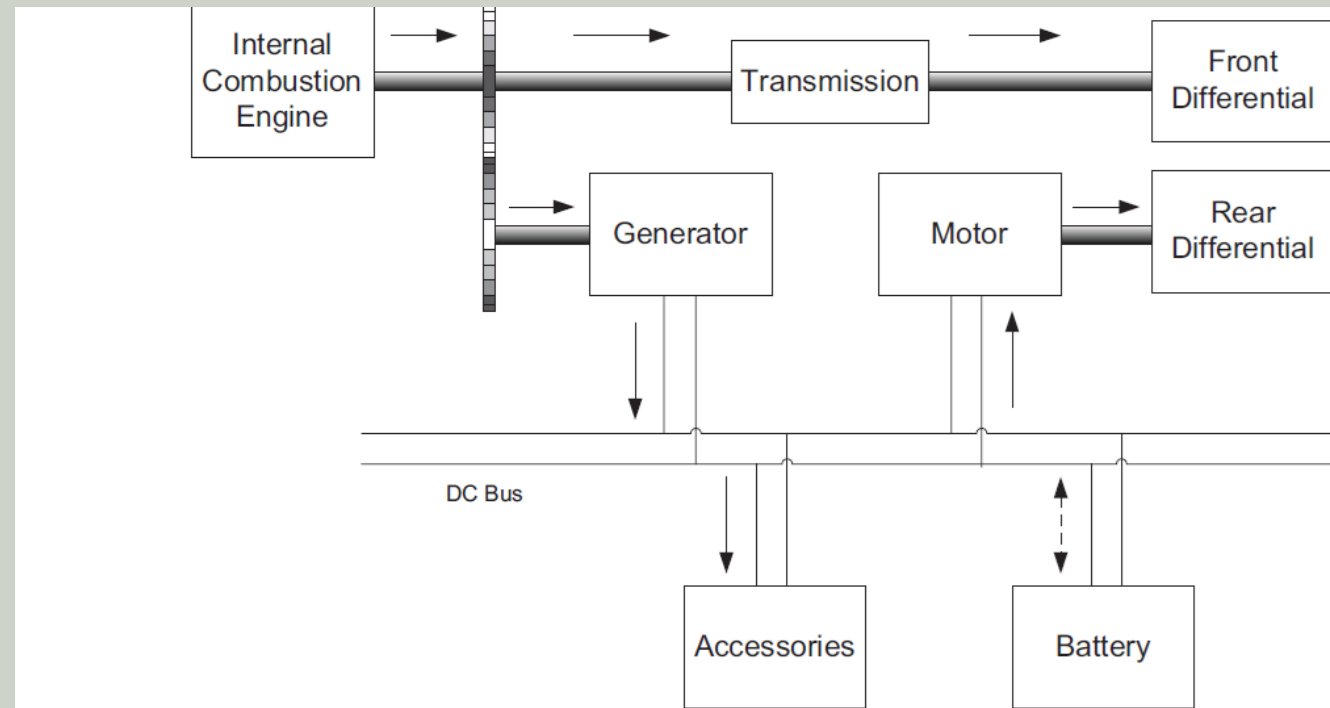


FIGURE 3.5 Series-parallel 2 × 2 vehicle architecture.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

- ▶ Τα εξαρτήματα του οχήματος έχουν διαστασιολογηθεί ώστε να καλύπτουν την αρχική αίτηση επιτάχυνσης μέσω ενός συνδυασμού ισχύος που παρέχεται από τον ηλεκτροκινητήρα και τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, και να διατηρούν τη λειτουργία διατήρησης φόρτισης στην ονομαστική ταχύτητα πλεύσης μόνο με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- ▶ Ο ηλεκτροκινητήρας, με τις υψηλότερες δυνατότητες μέγιστης ισχύος του, θα χρησιμοποιείται εντονότερα κατά την αρχική επιτάχυνση.
- ▶ Η μπαταρία θα έχει διαστασιολογηθεί μόνο για διαχείριση μέγιστης ισχύος και όχι για συνεχή λειτουργία μόνο με ηλεκτρική ενέργεια.
- ▶ Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης και ο ηλεκτροκινητήρας θα λειτουργούν σε σειριακή λειτουργία για συνθήκες αστικής οδήγησης. Η ηλεκτρική γεννήτρια θα έχει διαστασιολογηθεί ώστε να παράγει επαρκή ισχύ με συνεχή λειτουργία κατά την αστική οδήγηση, σύμφωνα και με το μοντέλο μετρήσεων (Κύκλος Οδήγησης).

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.1 Total Power Required: Initial Acceleration

- ▶ Η ισχύς που απαιτείται κατά την επιτάχυνση είναι συνήθως επαρκής για την κάλυψη των μέγιστων απαιτήσεων ταχύτητας και ρυμούλκησης.
- ▶ Επομένως, η ισχύς επιτάχυνσης που προέρχεται από τις συνδυασμένες προσπάθειες του ηλεκτροκινητήρα και του κινητήρα εσωτερικής καύσης υπολογίζεται πρώτα, αλλά αργότερα πρέπει να επαληθευτεί ότι οι άλλες απαιτήσεις ισχύος ικανοποιούνται από τα δύο εξαρτήματα κίνησης.
- ▶ Οι αρχικές απαιτήσεις επιτάχυνσης ικανοποιούνται λειτουργώντας τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και τον ηλεκτροκινητήρα στις μέγιστες δυνατές ροπές τους μέχρι να επιτευχθεί το όριο ισχύος και των δύο.
- ▶ Επομένως, το σύστημα μετάδοσης κίνησης μπορεί να θεωρηθεί ότι λειτουργεί αρχικά με επιτάχυνση σταθερής ροπής (δηλαδή, σταθερή δύναμη F_{TR}) και στη συνέχεια με επιτάχυνση σταθερής ισχύος.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.1 Total Power Required: Initial Acceleration

- ▶ Για να εκτιμηθεί αρχικά η **απαιτούμενη σταθερή δύναμη και η απαιτούμενη μέγιστη ισχύς**, εξετάζονται και αναλύονται **τρία** προφίλ ταχύτητας.
- ▶ Αυτά τα προφίλ ταχύτητας είναι με σταθερή επιτάχυνση δύναμης F_{TR} , ομοιόμορφη επιτάχυνση και ένα τρίτο που ονομάζεται ομαλή επιτάχυνση.
- ▶ Το προφίλ ταχύτητας με σταθερή επιτάχυνση δύναμης F_{TR} δίνεται από:

$$v(t) = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \tanh(\sqrt{K_1 K_2} t)$$

- ▶ Όπου:

$$K_1 = \frac{F_{TR}}{m} - gC_0 - mg \sin \beta > 0$$

$$K_2 = \frac{\rho}{2m} C_D A_F + gC_1 > 0$$

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.1 Total Power Required: Initial Acceleration

▶ Το προφίλ ταχύτητας για σταθερή επιτάχυνση είναι: $v(t) = at$

▶ όπου a είναι η σταθερή επιτάχυνση. Για 0–60 mph σε 9 s, η σταθερή επιτάχυνση είναι:

$$a = 2.98 \text{ m/s}^2$$

▶ Το προφίλ ταχύτητας για ομαλή επιτάχυνση είναι:

$$v(t) = v_f \left(\frac{t}{t_f} \right)^x \quad 3.6$$

▶ Το εύρος του εκθέτη x είναι μεταξύ 0,47 και 0,53, με χαμηλότερες τιμές να χρησιμοποιούνται για οχήματα με αργή επιτάχυνση και υψηλότερες τιμές να χρησιμοποιούνται για οχήματα με γρήγορη επιτάχυνση.

▶ Θα λάβουμε $x = 0,5$ για την αρχική μας ανάλυση.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.1 Total Power Required: Initial Acceleration

- ▶ Τα προφίλ ταχύτητας 0–60 mph για τους τρεις τύπους επιτάχυνσης φαίνονται στο Παρακάτω σχήμα:
- ▶ Έχει υποτεθεί ότι η δύναμη $F_{TR} = 6.000 \text{ N}$ ισχύει για τη σταθερή επιτάχυνση της δύναμης.
- ▶ Το προφίλ ταχύτητας της **Εξίσωσης 3.6** απαιτεί αρχικά σημαντικά μεγάλη δύναμη ή ροπή, ενώ το προφίλ σταθερής επιτάχυνσης απαιτεί υψηλή ισχύ στο τέλος της αρχικής περιόδου επιτάχυνσης.
- ▶ Η ισχύς και η δύναμη που απαιτούνται με σταθερή επιτάχυνση σε $t = 9 \text{ s}$ είναι 6.899 N και 184 kW .

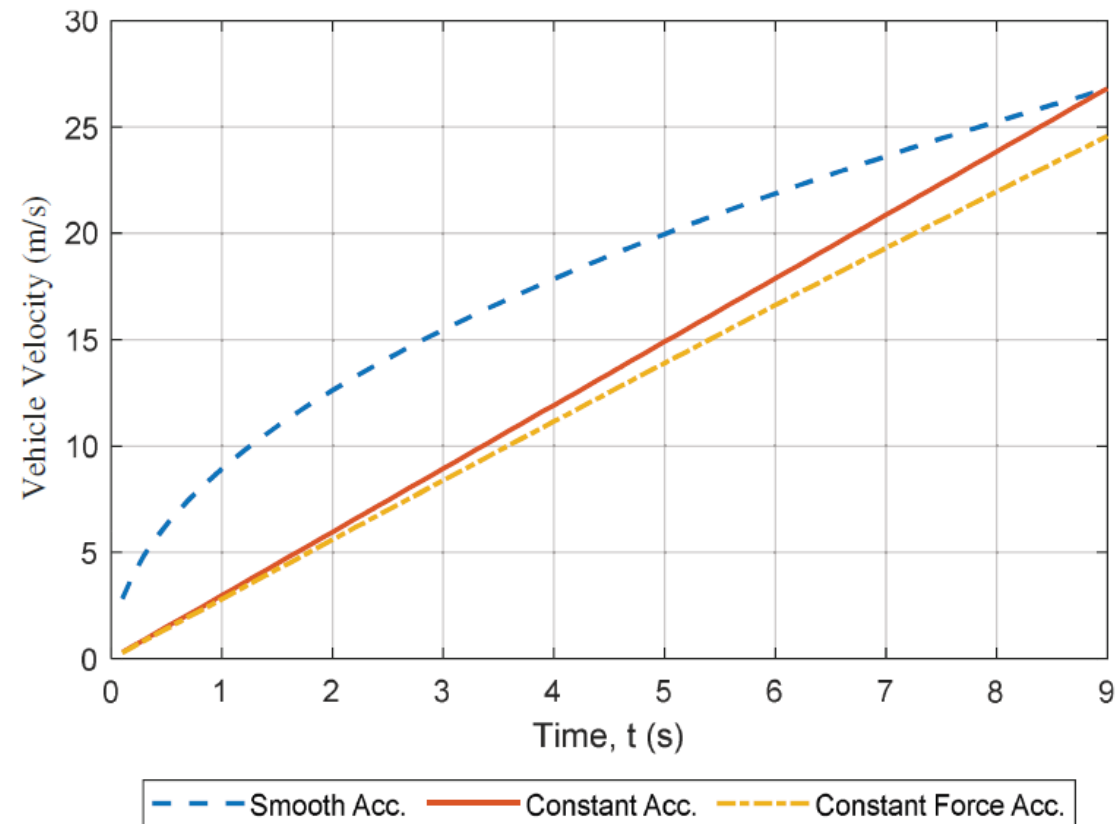


FIGURE 3.16 Velocity profile for the three types of initial acceleration.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.1 Total Power Required: Initial Acceleration

- ▶ Η πρακτική προσέγγιση θα είναι η επιτάχυνση ταχύτερα από το προφίλ σταθερής επιτάχυνσης, αλλά λιγότερο από το προφίλ ομαλής επιτάχυνσης, και η μετάβαση σε επιτάχυνση σταθερής ισχύος περίπου στα μέσα της αρχικής επιτάχυνσης.
- ▶ Η σταθερή δύναμη για αρχική επιτάχυνση έως περίπου 4 δευτερόλεπτα πρέπει προφανώς να είναι μεγαλύτερη από 6.000 N.

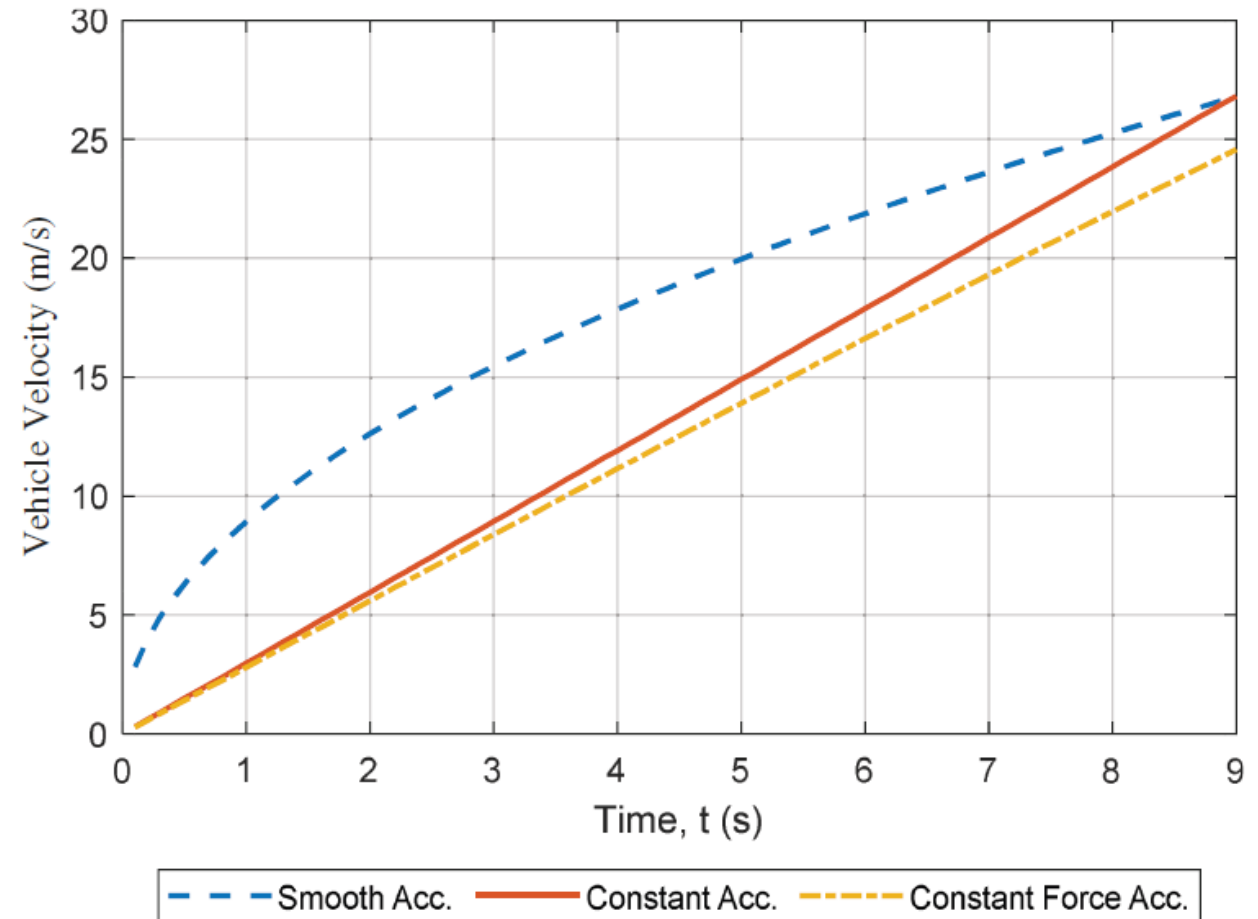


FIGURE 3.16 Velocity profile for the three types of initial acceleration.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.1 Total Power Required: Initial Acceleration

- ▶ Η συνολική ισχύς που απαιτείται για την κάλυψη των απαιτήσεων επιτάχυνσης πριν από τον υπολογισμό των απωλειών του συστήματος μετάδοσης κίνησης υπολογίζεται μέσω επαναλήψεων σχεδιασμού χρησιμοποιώντας προσομοίωση υπολογιστή.
- ▶ Οι αριθμοί που δίνονται στον Πίνακα 3.2 προκύπτουν μετά από μερικές επαναλήψεις σχεδιασμού με διαφορετική μέγιστη ελκτική δύναμη, μέγιστη ελκτική ισχύ και τον χρόνο μετάβασης του αλγορίθμου ελέγχου από τη λειτουργία σταθερής δύναμης στη λειτουργία σταθερής ισχύος.

TABLE 3.2

Final Numbers Following Initial Sizing

| $F_{TR,peak}$ | $P_{TR,peak}$ | Time and Velocity of Mode Transition | Time for 0–60 mph | Time for 50–70 mph |
|---------------|---------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|
| 7,500 N | 120 kW | 4.6s/16 m/s | 9 s | 5 s |

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.1 Total Power Required: Initial Acceleration

- ▶ Η ελκτική δύναμη των 7.500 N παρέχεται από τον συνδυασμό του ηλεκτροκινητήρα και του κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- ▶ Επιπλέον, θα υπάρχει ένα γρανάζι μεταξύ του ηλεκτροκινητήρα και του συστήματος μετάδοσης κίνησης, το οποίο θα καλύψει τις απαιτήσεις ροπής του ηλεκτροκινητήρα αλλά θα αυξήσει την απαίτηση ταχύτητάς του.
- ▶ Το προφίλ FTR έναντι ταχύτητας του Σχήματος 3.17 ταιριάζει καλά με τα χαρακτηριστικά ροπής ταχύτητας που επιτυγχάνονται από ηλεκτροκινητήρες.

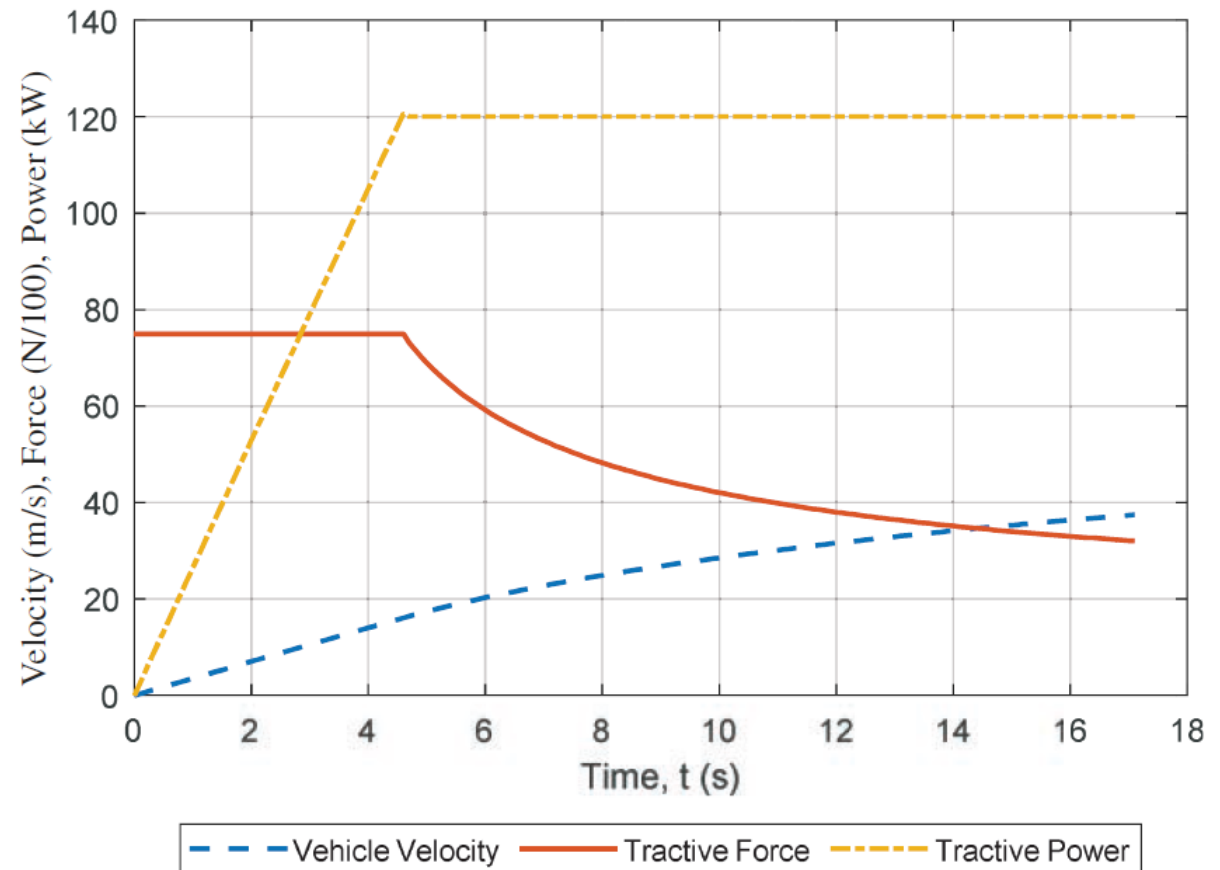


FIGURE 3.17 Tractive power and force requirements with a combination of constant force and constant power modes of acceleration.

3. Vehicle Architectures and Design -

3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

3.5.3.1 Total Power Required: Initial Acceleration

- ▶ Ο λόγος ταχύτητας των χαρακτηριστικών δύναμης μεταξύ της μέγιστης ταχύτητας του οχήματος (60 m/s) και της έναρξης της λειτουργίας σταθερής ισχύος (16 m/s) είναι περίπου 4:1, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί από καλά σχεδιασμένες ηλεκτροκινητήρες.
- ▶ Επομένως, υποθέτοντας ότι η απόδοση του συστήματος μετάδοσης κίνησης είναι περίπου 90%, η ελάχιστη συνδυασμένη ισχύς που απαιτείται είναι 132 kW.

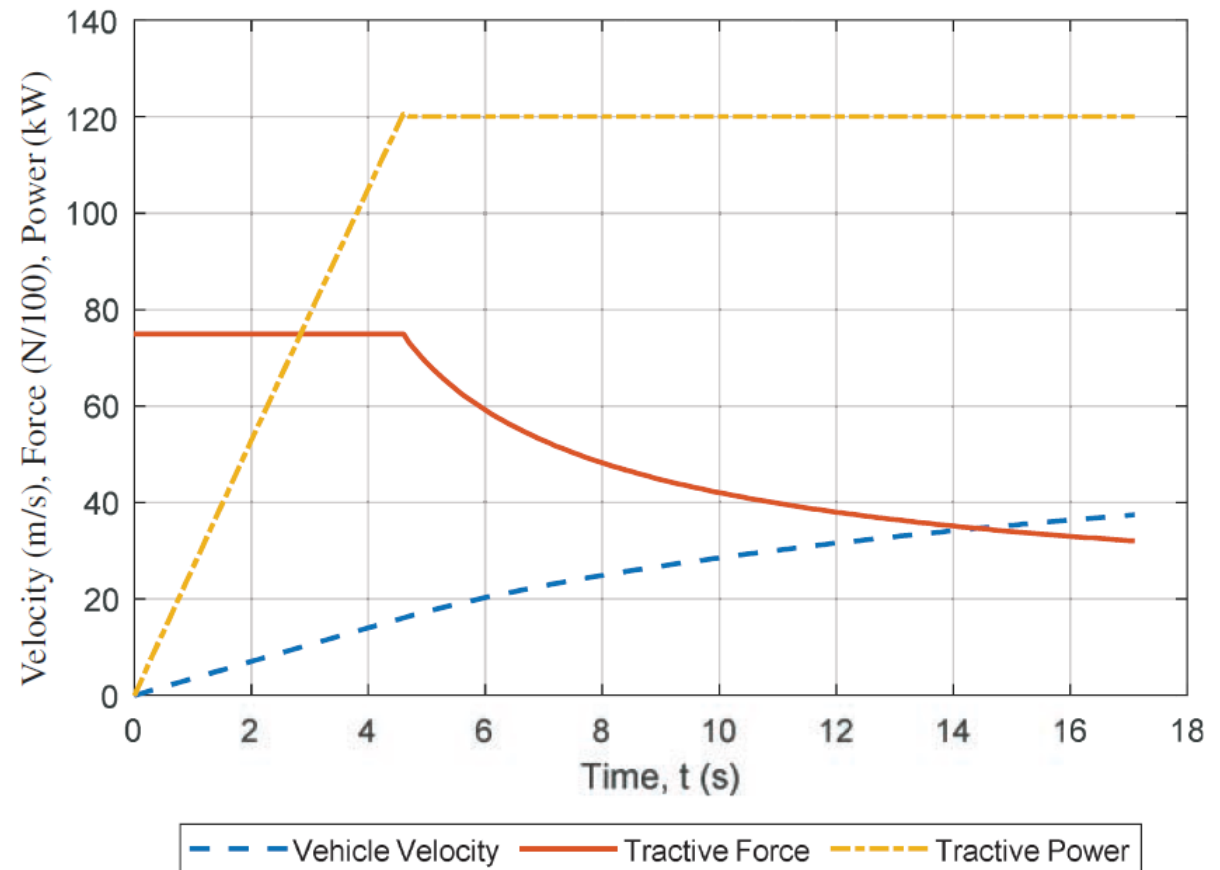


FIGURE 3.17 Tractive power and force requirements with a combination of constant force and constant power modes of acceleration.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.2 IC Engine Power: Cruising Speed

- ▶ Μόλις υπολογιστούν οι αρχικές απαιτήσεις ισχύος επιτάχυνσης, μπορούν να προσδιοριστούν τα μεγέθη του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του ηλεκτροκινητήρα έλξης.
- ▶ Το μέγεθος του κινητήρα εσωτερικής καύσης μπορεί να προσδιοριστεί από την απαίτηση ισχύος πλεύσης του οχήματος στην ονομαστική του ταχύτητα, ανεξάρτητα από την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα.
- ▶ Με αυτήν την προσέγγιση, το μέγεθος του κινητήρα εσωτερικής καύσης θα πρέπει να καθοριστεί πρώτα για το υβριδικό όχημα Akron και στη συνέχεια το υπόλοιπο της απαιτούμενης ισχύος των 130 kW μπορεί να καλυφθεί από έναν ηλεκτροκινητήρα.
- ▶ Η ισχύς του κινητήρα εσωτερικής καύσης μπορεί να υπολογιστεί από:

$$P_{TR}(t) = V \left(mg \sin \beta + \left[mgC_1 + \frac{\rho}{2} A_F C_D \right] V^2 + mgC_0 \right)$$

- ▶ όπου V είναι η ονομαστική ταχύτητα ή ταχύτητα πλεύσης.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.2 IC Engine Power: Cruising Speed

- ▶ Η ισχύς του κινητήρα εσωτερικής καύσης μπορεί να υπολογιστεί από:

$$P_{TR}(t) = V \left(mg \sin \beta + \left[mgC_1 + \frac{\rho}{2} A_F C_D \right] V^2 + mgC_0 \right)$$

όπου V είναι η ονομαστική ταχύτητα ή ταχύτητα πλεύσης.

- ▶ Ο κινητήρας HEV IC μπορεί να διαστασιολογηθεί για την ισχύ του κινητήρα που απαιτείται για τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας σε αυτοκινητόδρομο x mi/h (ας πούμε 75 mi/h), σε κλίση $y\%$ (ας πούμε 3%) και έναντι αντίθετου ανέμου z mi/h (ας πούμε 20) σε υψηλή απόδοση καυσίμου του κινητήρα.
- ▶ Η ισχύς του κινητήρα σε ταχύτητες αυτοκινητόδρομου θα πρέπει επίσης να έχει καλή απόδοση καυσίμου.
- ▶ Το σημείο λειτουργίας της καλύτερης απόδοσης καυσίμου ενός κινητήρα IC δεν είναι απαραίτητα στο σημείο μέγιστης ισχύος του.
- ▶ Επομένως, ο κινητήρας IC μπορεί να επιλεγεί με ισχύ αυτοκινητόδρομου μικρότερη από τη μέγιστη ονομαστική ισχύ του κινητήρα για αποδεκτή απόδοση καυσίμου.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.3 Maximum Velocity

- ▶ Η απαιτούμενη ισχύς από το σύστημα πρόωσης στη μέγιστη ταχύτητα είναι $F_{TRv_{max}}$, η οποία παρέχεται από έναν συνδυασμό του κινητήρα IC και του ηλεκτροκινητήρα.

$$P_{TR,max} = F_{TR} \cdot v_{max} = mgv_{max} \sin \beta + \left[mgC_1 + \frac{\rho}{2} A_F C_D \right] v_{max}^3 + mgv_{max} C_0$$

- ▶ Με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και τον ηλεκτροκινητήρα να έχουν διαστασιολογηθεί ώστε να πληρούν τις απαιτήσεις επιτάχυνσης και ταχύτητας πλεύσης, πρέπει να επαληθευτεί ότι ο συνδυασμός των δύο μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις μέγιστης ταχύτητας του οχήματος.
- ▶ Εάν η συνδυασμένη ισχύς είναι μικρότερη από την ισχύ που απαιτείται για τη μέγιστη ταχύτητα, τότε το μέγεθος ενός από τους δύο κινητήρες θα πρέπει να αυξηθεί.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.4 Generator Sizing

- ▶ Η γεννήτρια έχει διαστασιολογηθεί ώστε να διατηρεί τη σειριακή λειτουργία του οχήματος για τυπικές συνθήκες αστικής οδήγησης.
- ▶ Οι υπολογισμοί έδειξαν ότι η οδήγηση με σταθερή ταχύτητα 64 χλμ/ώρα με οδηγό και συνοδηγό σε κλίση 1% και απώλειες 10% στο σύστημα μετάδοσης κίνησης απαιτεί 12 kW.
- ▶ Λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ για την επαναφόρτιση των μπαταριών, η γεννήτρια μπορεί να διαστασιολογηθεί στα 20 kW για το υβριδικό όχημα Akron.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.5 Battery Sizing

- ▶ Η ενέργεια που απαιτείται από τον ηλεκτροκινητήρα για αρχική επιτάχυνση και μια ελάχιστη εμβέλεια μηδενικών εκπομπών με σταθερή ταχύτητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του μεγέθους της μπαταρίας.
- ▶ Η ενέργεια για την αρχική επιτάχυνση, που υπολογίζεται με την ολοκλήρωση της ισχύος που απαιτείται για επιτάχυνση μεταξύ 0 και 9 s, είναι 1,62 MJ ή 450 Wh.
- ▶ Η ενέργεια που απαιτείται για πλεύση με σταθερή ταχύτητα 40 mph με οδηγό και επιβάτη σε κλίση 1% και απώλειες 10% στο σύστημα μετάδοσης κίνησης είναι 3 kWh για αυτονομία 10 μιλίων (15 λεπτά) μόνο με μπαταρία ή 1,5 kWh για αυτονομία 5 μιλίων (7,5 λεπτά) μόνο με μπαταρία.
- ▶ Για μια μπαταρία 300 V, αυτό απαιτεί μια μπαταρία 10 Ah ή 5 Ah, αντίστοιχα. Προσθέτοντας περιθώριο 10%, οι μπαταρίες με 11 Ah ή 5,5 Ah μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτονομία ZEV 10 ή 5 μιλίων, αντίστοιχα.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.5.3 HEV Powertrain Sizing **example**

▶ 3.5.3.5 Battery Sizing

- ▶ Οι εκτιμώμενες μάζες για τρεις τύπους χημικής σύστασης μπαταριών που πληρούν αυτές τις απαιτήσεις δίνονται στον Πίνακα 3.3 με βάση τις ονομαστικές πυκνότητες ενέργειας.
- ▶ Η τάση της μπαταρίας θεωρείται ότι είναι 300 V DC..

TABLE 3.3

Battery Energy Requirements and Mass Estimates

| Battery Type | Peak Acceleration and 10-mile ZEV Range at 40 mph Urban Driving | | | Peak Acceleration and 5-mile ZEV Range at 40 mph Urban Driving | | |
|--------------|--|-----------|---------------|---|-----------|---------------|
| | Energy (kWh) | Mass (kg) | Capacity (Ah) | Energy (kWh) | Mass (kg) | Capacity (Ah) |
| Lead acid | 3.5 | 94.3 | 11 | 2 | 47.2 | 5.5 |
| NiMH | 3.5 | 51.2 | 11 | 2 | 25.6 | 5.5 |
| Li-ion | 3.5 | 36.8 | 11 | 2 | 18.2 | 5.5 |

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.6 MASS ANALYSIS AND PACKAGING

- ▶ Ο προϋπολογισμός μάζας του οχήματος πρέπει να αξιολογείται κατά τον σχεδιασμό ενός υβριδικού οχήματος, είτε αυτό κατασκευάζεται εξ αρχής είτε ανακατασκευάζεται από όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- ▶ Η οικονομία καυσίμου και οι εκπομπές ρύπων του οχήματος θα βελτιωθούν καθώς μειώνεται η μάζα του οχήματος.
- ▶ Τα υβριδικά τείνουν να είναι λίγο βαρύτερα σε σύγκριση με ένα όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης παρόμοιου μεγέθους λόγω της χρήσης τόσο ηλεκτρικών όσο και μηχανικών εξαρτημάτων στο σύστημα μετάδοσης κίνησης.
- ▶ Ωστόσο, ένας καλός σχεδιασμός μπορεί να αποφέρει συγκρίσιμες μάζες για υβριδικά παρόμοιας κατηγορίας και οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- ▶ Ο μειωμένος κινητήρας στο υβριδικό όχημα μπορεί να αντισταθμίσει με το παραπάνω τις μάζες που προστίθενται λόγω του υβριδισμού, ο οποίος περιλαμβάνει μάζες για ηλεκτρικά μηχανήματα, τους ελεγκτές και τα συστήματα ψύξης τους, καθώς και την μπαταρία έλξης και τα εξαρτήματά της.
- ▶ Πλεονεκτήματα μάζας μπορούν επίσης να αποκτηθούν στα υβριδικά μειώνοντας το μέγεθος του συστήματος καυσίμου και αφαιρώντας την μπαταρία 12 V.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.6 MASS ANALYSIS AND PACKAGING

- ▶ Μια σύγκριση μάζας οχημάτων crossover μεταξύ του Chevrolet Equinox και του μετατρεπόμενου υβριδικού Akron δίνεται στον Πίνακα 3.4.
- ▶ Η μείωση του μεγέθους του κινητήρα από έναν βενζινοκινητήρα V6 3,6 λίτρων σε έναν πετρελαιοκινητήρα 1,9 λίτρων δεν έδωσε σημαντικό πλεονέκτημα μάζας, καθώς οι πετρελαιοκινητήρες τείνουν να είναι μεγαλύτεροι και βαρύτεροι από τους βενζινοκινητήρες για συγκρίσιμα μεγέθη. Στην πραγματικότητα υβριδικά ντίζελ δεν υπάρχουν πολλά. Συν'θως χρησιμοποιούνται μικροί σε κυβισμό βενζινοκινητήρες με υπερπλήρωση (~1000 – 1300 cc MILLER) αντί πολύ μεγαλύτεροι ατμοσφαιρικοί βενζινοκινητήρες (<2000cc).
- ▶ Η μάζα του συστήματος εξάτμισης αυξήθηκε λόγω της προσθήκης εξαρτημάτων μετεπεξεργασίας ντίζελ.
- ▶ Το μέγεθος της δεξαμενής καυσίμου μειώθηκε κατά 50%, γεγονός που παρείχε κάποια εξοικονόμηση μάζας για το υβριδικό.
- ▶ Οι μάζες των ηλεκτρικών μηχανημάτων, των ελεγκτών, της μπαταρίας έλξης και των συστημάτων θερμικής διαχείρισης εξαρτώνται από τα επιλεγμένα εξαρτήματα. Η αφαίρεση του εναλλάκτη και η μείωση του μεγέθους της μπαταρίας των αξεσουάρ 12 V παρείχαν μικρή εξοικονόμηση μάζας.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.6 MASS ANALYSIS AND PACKAGING

- ▶ Η μάζα του συστήματος κλιματισμού στην καμπίνα είναι κάπως υψηλότερη για το υβριδικό λόγω της μετάβασης σε μια ηλεκτρική αντλία συμπιεστή με κινητήρα.
- ▶ Η ανάλυση παραδείγματος στον Πίνακα 3.4 δείχνει αύξηση 82% στη μάζα του συστήματος μετάδοσης κίνησης για το υβριδικό όχημα Akron.
- ▶ Ο προϋπολογισμός μάζας θα μπορούσε να είχε περιοριστεί σημαντικά εάν είχε χρησιμοποιηθεί ένας βενζινοκινητήρας μικρότερου κυβισμού, αν και αυτό θα είχε επηρεάσει αρνητικά την οικονομία καυσίμου.
- ▶ Η συσκευασία των εξαρτημάτων πρέπει επίσης να αξιολογείται προσεκτικά κατά τον σχεδιασμό ενός υβριδικού οχήματος.
- ▶ Πρέπει να αναπτυχθεί ένα διάγραμμα συσκευασίας εξαρτημάτων για να διασφαλιστεί ότι όλα τα εξαρτήματα του συστήματος ταιριάζουν στο όχημα χωρίς συμβιβασμούς στην ασφάλεια και τις ανέσεις των πελατών.
- ▶ Ένα απλοποιημένο διάγραμμα διάταξης βασισμένο στο υβριδικό Akron φαίνεται στο **Σχήμα 3.18**.
- ▶ Οι γραμμές καυσίμου και οι σωληνώσεις εξάτμισης δεν φαίνονται εδώ για να διατηρηθεί το σχήμα απλό.
- ▶ Η συσκευασία των εξαρτημάτων καυσίμου και εξάτμισης μπορεί να γίνει δυσχερής, ειδικά όταν ένα όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης αναδιαμορφώνεται σε υβριδικό όχημα.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.6 MASS ANALYSIS AND PACKAGING

TABLE 3.4

Mass Analysis of ICEV and HEV

| Component | ICE Vehicle Mass, kg | Hybrid Vehicle Mass, kg |
|---------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Engine and transmission | 147 | 125 |
| Exhaust system | 40 | 50 |
| Fuel system (tank and lines) | 13 | 9 |
| Fuel mass | 38 | 15 |
| Electric drive motor | | 108 |
| Starter/generator | 6 | 22 |
| Starter/generator controller | | 26 |
| Electrical thermal management | | 15 |
| Traction battery | | 75 |
| Battery hardware, cooling | | 28 |
| 12V battery | 14 | 6 |
| Alternator | 5 | |
| Total powertrain | 263 | 479 |
| Climate control and accessory | 26 | 30 |
| Glider with chassis subsystems | 1,445 | 1,449 |
| Total curb mass | 1,734 | 1,954 |

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.6 MASS ANALYSIS AND PACKAGING

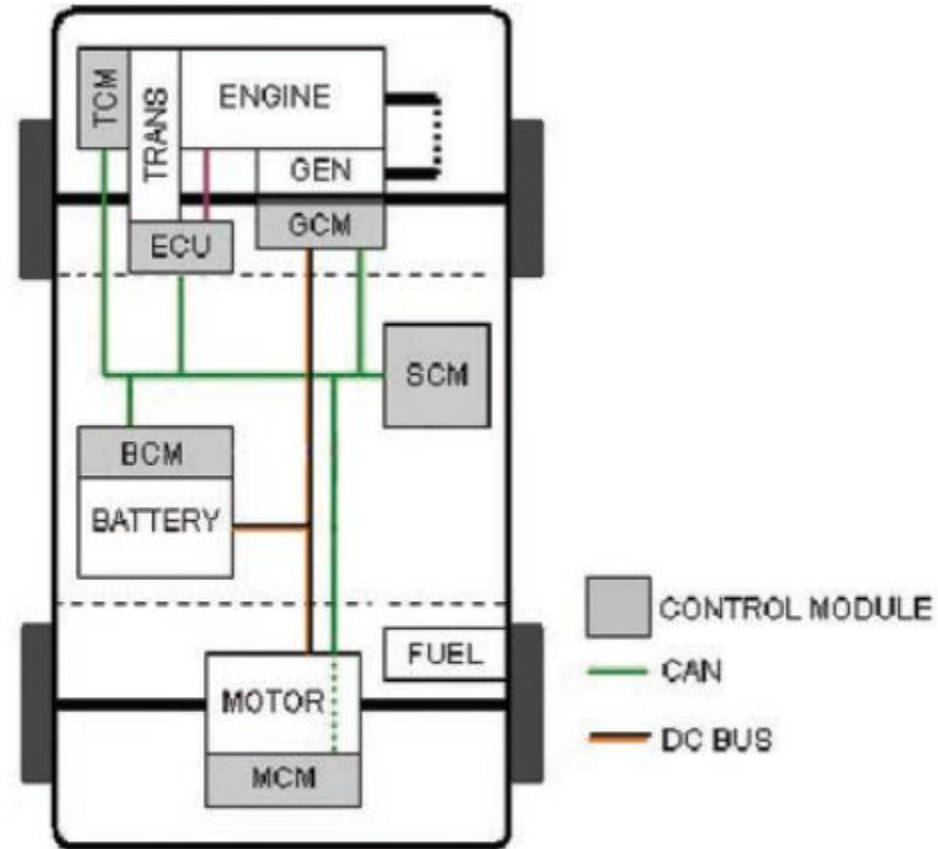


FIGURE 3.18 Component packaging in a hybrid vehicle.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.6 MASS ANALYSIS AND PACKAGING

- ▶ Πρέπει να υπάρχουν επαρκείς χώροι κάτω από το όχημα για τη δρομολόγηση των σωλήνων καυσίμου και των σωληνώσεων εξάτμισης.
- ▶ Πρέπει να αναπτυχθεί ένα διάγραμμα ηλεκτρικού κυκλώματος υψηλής τάσης παράλληλα με το σχέδιο του συστήματος καυσίμου και του συστήματος εξάτμισης.
- ▶ Κατά την ανάλυση της συσκευασίας και της τοποθέτησης των υβριδικών εξαρτημάτων, οι αναλογίες βάρους εμπρός-πίσω πρέπει να διατηρούνται στο 60:40 ή λιγότερο για αποδεκτή οδηγική ικανότητα, απόδοση οδήγησης και δυναμικό φρενάρισμα.
- ▶ Συμπερασματικά, η εξοικονόμηση μάζας στη μείωση του μεγέθους του κινητήρα και του συστήματος καυσίμου σε ένα υβριδικό όχημα θα καταναλωθεί σε μεγάλο βαθμό από τα πρόσθετα εξαρτήματα που προστίθενται.
- ▶ Τα ζητήματα συσκευασίας είναι πολύ πιο περίπλοκα για τα ανασχεδιασμένα οχήματα. Θα ήταν πάντα πλεονεκτικό να σχεδιάζεται ένα υβριδικό από την αρχή παρά να ανακατασκευάζεται και να ανασχεδιάζεται ένα υπάρχον όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7 MISSION-BASED DESIGN WITH VEHICLE SIMULATION

- ▶ Ο σχεδιασμός του οχήματος καθοδηγείται από τον πελάτη, ο οποίος με τη σειρά του καθορίζει το προφίλ αποστολής για το σύστημα του οχήματος και το σύστημα μετάδοσης κίνησης.
- ▶ **Η επιτάχυνση του οχήματος, η μέγιστη ταχύτητα, η πλήρως ηλεκτρική αυτονομία, η οικονομία καυσίμου και η χωρητικότητα επιβατών και φόρτωσης** είναι οι **παράγοντες επιλογής** που ενδιαφέρουν έναν πελάτη είτε εν μέρει είτε πλήρως κατά την επιλογή ενός επιβατικού οχήματος, κάτι που είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαδικασία σχεδιασμού του οχήματος.
- ▶ Οι σκέψεις για τις κρίσιμες παραμέτρους που προκύπτουν από τους παράγοντες επιλογής είναι πολύ **διαφορετικές** κατά το σχεδιασμό **ενός φορτηγού διανομής σε σύγκριση με εκείνες του σχεδιασμού ενός επιβατικού sedan.**
- ▶ Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί μια αύξηση του ενδιαφέροντος και των πωλήσεων σε ηλεκτρικά οχήματα, όπου οι πελάτες είναι πρόθυμοι να πληρώσουν συγκριτικά περισσότερα από ένα ισοδύναμο όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης λόγω ποικίλων λόγων, όπως:
 - ▶ η υψηλή επιτάχυνση,
 - ▶ η περιβαλλοντική συνείδηση,
 - ▶ η ελκυστικότητα της νέας τεχνολογίας,
 - ▶ η αθόρυβη λειτουργία και η ευκολία ανεφοδιασμού/φόρτισης στο σπίτι και στην εργασία.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7 MISSION-BASED DESIGN WITH VEHICLE SIMULATION

- ▶ Η αποστολή καθορίζεται από τον πελάτη, γεγονός που απαιτεί εργαλεία προσομοίωσης και ανάλυσης που ενσωματώνουν τις απαιτήσεις του πελάτη.
- ▶ Μια απλοποιημένη προσέγγιση ενσωμάτωσης των απαιτήσεων του πελάτη στο σχεδιασμό του οχήματος και στη διαστασιολόγηση των εξαρτημάτων είναι η χρήση των **διαφόρων τυποποιημένων κύκλων οδήγησης που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης του οχήματος σε διαφορετικά σενάρια οδήγησης.**
- ▶ Οι διάφοροι **διαθέσιμοι κύκλοι οδήγησης αντικατοπτρίζουν τις προτιμήσεις οδήγησης του πελάτη και την αποστολή του οχήματος [9].**

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7 MISSION-BASED DESIGN WITH VEHICLE SIMULATION

- ▶ Παρακάτω θα γίνει:
 - ▶ αξιολόγηση των απαιτήσεων συστήματος οχήματος,
 - ▶ με βάση το μονοδιάστατο μοντέλο συστήματος οχήματος που αναπτύχθηκε νωρίτερα (στο Κεφάλαιο 2) θα
 - ▶ κατασκευαστεί ένα μοντέλο προσομοίωσης συστήματος για την ανάλυση, προσομοίωση και σχεδιασμό του οχήματος χρησιμοποιώντας τους τυποποιημένους κύκλους οδήγησης.
- ▶ Αν και στην αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιούνται πιο σύνθετα εργαλεία σχεδιασμού και ανάλυσης, ένα γρήγορο και εύχρηστο εργαλείο σχεδιασμού και προσομοίωσης μας βοηθά να κατανοήσουμε το σύστημα οχήματος και τα εξαρτήματά του,
- ▶ να αξιολογήσουμε διαφορετικές τοπολογίες σχεδιασμού και να εντοπίσουμε τις σημαντικές αλληλεπιδράσεις του συστήματος.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7.1 Vehicle simulation model

- ▶ Το μοντέλο προσομοίωσης ενός συστήματος οχήματος είναι ένα απαραίτητο εργαλείο για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση της απόδοσης του οχήματος.
- ▶ Με πολυάριθμες επιλογές διαθέσιμες για ηλεκτρικές και υβριδικές αρχιτεκτονικές, και για τεχνολογίες εξαρτημάτων κινητήρα, η προσομοίωση εξοικονομεί χρόνο και κόστος στην πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας από δεξαμενή σε τροχό, καθώς και σε βάθος των αποτελεσμάτων απόδοσης του οχήματος.
- ▶ Τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν να αναπτυχθούν με ποικίλους βαθμούς πολυπλοκότητας, όπως απαιτείται από τον χρήστη.
- ▶ Σε επίπεδο οχήματος, ένα μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να προβλέψει την οικονομία καυσίμου, τις εκπομπές ρύπων ή τη ροπή των τροχών για έναν ρυθμιζόμενο κύκλο οδήγησης.
- ▶ Σε επίπεδο υποσυστήματος, είναι διαθέσιμες παράμετροι εξαρτημάτων όπως η ροπή του ηλεκτρικού κινητήρα ή του κινητήρα IC.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7.1 Vehicle simulation model

- ▶ Οι στόχοι μιας ανάλυσης προσομοίωσης ποικίλλουν και μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:
 - ▶ **Πρόβλεψη απόδοσης οχήματος** – Διάφορες παράμετροι απόδοσης σε επίπεδο οχήματος, όπως η οικονομία καυσίμου, η αυτονομία και η επιτάχυνση του οχήματος και η ικανότητα μεταφοράς φορτίου, μπορούν να προβλεφθούν, για ένα δεδομένο όχημα με συγκεκριμένα εξαρτήματα κινητήρα υπό διαφορετικά σενάρια οδήγησης. Το μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση και τη ρύθμιση του συστήματος ελέγχου εποπτείας, ενός ηλεκτρικού ή υβριδικού οχήματος.
 - ▶ **Διαστασιολόγηση εξαρτημάτων** – Εκτίμηση των απαιτήσεων ισχύος και ενέργειας των εξαρτημάτων του συστήματος μετάδοσης κίνησης, όπως η ονομαστική ισχύς του ηλεκτρικού μηχανήματος, η απαίτηση kVA του μετατροπέα και η χωρητικότητα της μπαταρίας.
 - ▶ **Δοκιμή εξαρτημάτων** – Το σύστημα μετάδοσης κίνησης και άλλα βοηθητικά εξαρτήματα μπορούν να δοκιμαστούν ως προς την χωρητικότητα και τους περιορισμούς τους, συμπεριλαμβανομένων των εκτιμήσεων απωλειών υπό διαφορετικά σενάρια οδήγησης.
 - ▶ **Οι εκτιμήσεις απωλειών των εξαρτημάτων του συστήματος μετάδοσης κίνησης** είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στο σχεδιασμό θερμικών συστημάτων για ηλεκτρικές μηχανές, ηλεκτρονικά ισχύος και συστήματα μπαταριών.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7.1 Vehicle simulation model

- ▶ Για την προσομοίωση οχημάτων, είναι επιθυμητό ένα μοντέλο με προοπτική, όπου ένα μοντέλο οχήματος ανταποκρίνεται στις εντολές εισόδου του οδηγού για να αναπτύξει και να παρέχει ροπή στους τροχούς παρόμοια με αυτήν που ισχύει σε ένα πραγματικό σενάριο.
- ▶ Μια αρθρωτή δομή του μοντέλου προσομοίωσης είναι ιδιαίτερα επιθυμητή, ώστε τα εξαρτήματα και οι διαμορφώσεις να μπορούν εύκολα να προστεθούν ή να αφαιρεθούν χωρίς να χρειάζεται να ξεκινήσει από την αρχή.
- ▶ Αυτό διευκολύνει τις συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών εξαρτημάτων ή εξαρτημάτων διαφορετικών βαθμολογιών.
- ▶ Η σύγκριση απόδοσης εναλλακτικών υβριδικών αρχιτεκτονικών επιτυγχάνεται επίσης εύκολα με την αρθρωτή δομή.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7.1 Vehicle simulation model

- ▶ Τα μοντέλα αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας τόσο φυσικές αρχές όσο και εμπειρικά δεδομένα.
- ▶ Η δυναμική του οχήματος και οι βασικές αρχές του οδοστρώματος που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2 είναι οι φυσικές αρχές βάσει των οποίων μπορεί να αναπτυχθεί το μοντέλο του οχήματος.
- ▶ Η συμπεριφορά του οδηγού μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας διάφορους κύκλους οδήγησης, οι οποίοι είναι τυποποιημένα προφίλ ταχύτητας και κλίσης δρόμου που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός οχήματος.
- ▶ Για τα εξαρτήματα, χρησιμοποιούνται είτε απλοποιημένα μοντέλα είτε πίνακες αναζήτησης που βασίζονται σε εμπειρικά δεδομένα στην προσομοίωση.
- ▶ Η λεπτομερής δυναμική συμπεριφορά των εξαρτημάτων συχνά δεν απαιτείται, καθώς οι χρονικές αποκρίσεις πολλών από τα υποσυστήματα (όπως η ηλεκτρική μηχανή) είναι πολύ γρηγορότερες από τη δυναμική του οχήματος.
- ▶ Τα απλούστερα μοντέλα υποσυστημάτων ελαχιστοποιούν τον χρόνο προσομοίωσης, καθώς διαφορετικά θα ήταν σημαντικό για ένα τόσο πολύπλοκο σύστημα οχήματος.

3. Vehicle Architectures and Design -

3.7.1 Vehicle simulation model

- ▶ Με αυτήν την προσέγγιση, είναι δυνατό να εκτελεστεί ένας μεγάλος αριθμός προσομοιώσεων προκειμένου να ρυθμιστεί η στρατηγική ελέγχου ώστε να αποδίδει καλά υπό ένα ευρύ φάσμα συνθηκών οδήγησης.
- ▶ Επειδή υπάρχουν τόσο μηχανικές όσο και ηλεκτρικές δυναμικές, απαιτείται ένας άκαμπτος λύτης συστήματος μεταβλητού βήματος.
- ▶ Το διάγραμμα μπλοκ προσομοίωσης ενός συστήματος οχήματος που δείχνει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του οδηγού, του ελεγκτή εποπτείας, των υποσυστημάτων και του μοντέλου οχήματος φαίνεται στο **Σχήμα 3.19**.

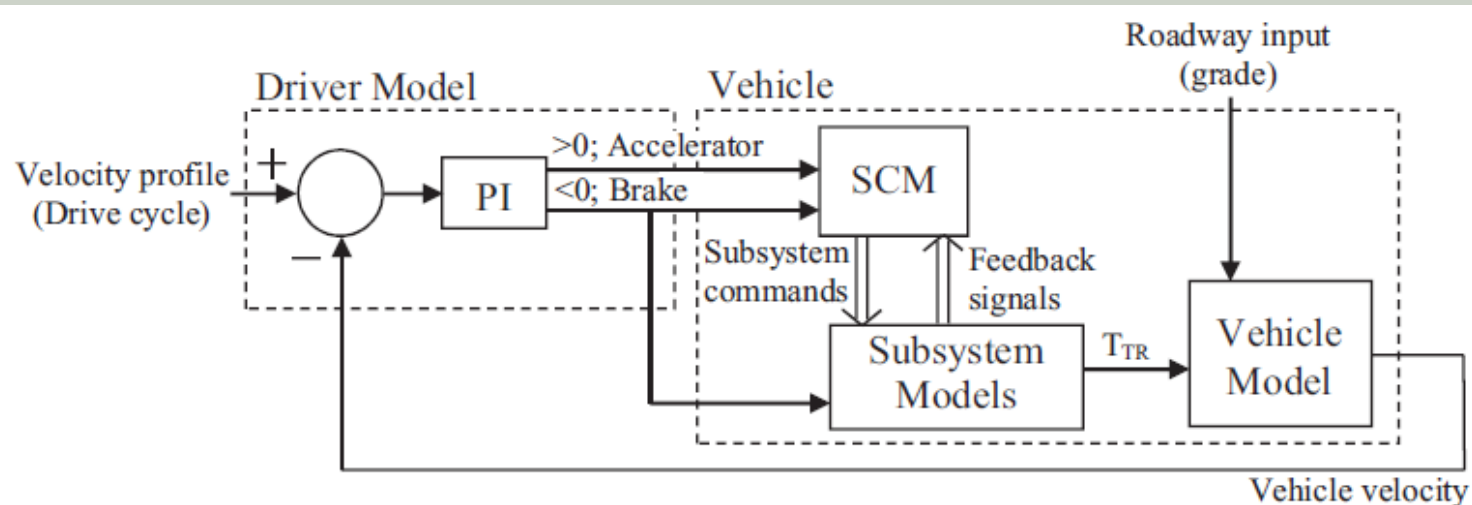


FIGURE 3.19 Vehicle simulation block diagram.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7.1 Vehicle simulation model

- ▶ Ο οδηγός μοντελοποιείται με έναν κύκλο οδήγησης και έναν ρυθμιστή PI σχεδιασμένο για να ελαχιστοποιεί το σφάλμα μεταξύ του προφίλ ταχύτητας του κύκλου οδήγησης και της πραγματικής ταχύτητας του οχήματος.
- ▶ Το προφίλ ταχύτητας του κύκλου οδήγησης θεωρείται ότι είναι η ταχύτητα του οχήματος που επιθυμεί ο οδηγός.
- ▶ Η έξοδος του ρυθμιστή PI δημιουργεί μια θέση πεντάλ η οποία ερμηνεύεται είτε ως η θέση του πεντάλ γκαζιού είτε ως η θέση του πεντάλ φρένου.
- ▶ Υποτίθεται ότι και τα δύο πεντάλ δεν μπορούν να πατηθούν ταυτόχρονα.
- ▶ Η θέση του πεντάλ διαβάζεται στη στρατηγική ελέγχου (που βρίσκεται στο SCM ή στη μονάδα ελέγχου εποπτείας) για να δημιουργήσει τις εντολές του υποσυστήματος.
- ▶ Το σύστημα μετάδοσης κίνησης, που μοντελοποιείται στο μπλοκ υποσυστήματος, παράγει την ροπή έλξης TTR, η οποία αποστέλλεται στο μοντέλο οχήματος.
- ▶ Η είσοδος θέσης πεντάλ φρένου διαβιβάζεται απευθείας στο μοντέλο υποσυστήματος πέδησης για την αντιμετώπιση ζητημάτων ασφάλειας.
- ▶ Ωστόσο, η θέση του πεντάλ φρένου απαιτείται επίσης από τον ελεγκτή εποπτείας για να προσδιορίσει το μέγεθος της εντολής αναγέννησης του συστήματος μετάδοσης κίνησης.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7.1 Vehicle simulation model

- ▶ Ο οδηγός μοντελοποιείται με έναν κύκλο οδήγησης και έναν ρυθμιστή PI σχεδιασμένο για να ελαχιστοποιεί το σφάλμα μεταξύ του προφίλ ταχύτητας του κύκλου οδήγησης και της πραγματικής ταχύτητας του οχήματος.
- ▶ Το προφίλ ταχύτητας του κύκλου οδήγησης θεωρείται ότι είναι η ταχύτητα του οχήματος που επιθυμεί ο οδηγός.
- ▶ Η έξοδος του ρυθμιστή PI δημιουργεί μια θέση πεντάλ η οποία ερμηνεύεται είτε ως η θέση του πεντάλ γκαζιού είτε ως η θέση του πεντάλ φρένου.
- ▶ Υποτίθεται ότι και τα δύο πεντάλ δεν μπορούν να πατηθούν ταυτόχρονα.
- ▶ Η θέση του πεντάλ διαβάζεται στη στρατηγική ελέγχου (που βρίσκεται στο SCM ή στη μονάδα ελέγχου εποπτείας) για να δημιουργήσει τις εντολές του υποσυστήματος.
- ▶ Το σύστημα μετάδοσης κίνησης, που μοντελοποιείται στο μπλοκ υποσυστήματος, παράγει την ροπή έλξης TTR, η οποία αποστέλλεται στο μοντέλο οχήματος.
- ▶ Η είσοδος θέσης πεντάλ φρένου διαβιβάζεται απευθείας στο μοντέλο υποσυστήματος πέδησης για την αντιμετώπιση ζητημάτων ασφάλειας.
- ▶ Ωστόσο, η θέση του πεντάλ φρένου απαιτείται επίσης από τον ελεγκτή εποπτείας για να προσδιορίσει το μέγεθος της εντολής αναγέννησης του συστήματος μετάδοσης κίνησης.

3. Vehicle Architectures and Design -

▶ 3.7.2 Standard drive cycles

- ▶ The standard drive cycles are used by the governmental agencies and automotive industry for performance evaluation of a vehicle, which includes certification of vehicle fuel economy.
- ▶ A drive cycle may have both speed and road grade components, although typically one is held constant while the other is varied.

▶ ΕΚΤΟΣ ΥΛΗΣ ΓΙΑ 2025/2026