

# Zkoušení a schvalování elektrických zařízení vozidel

Studijní materiál

Topologie vozidel, energetické  
toky a komponenty

Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D.



# Historie elektromobility

- 1835 – Holandsko – Sibrandus Strating
  - Primární články, první elektromobil
- 1859 – Francie – Gaston Planté
  - Objev Pb akumulátoru
- 1895 – Čechy – František Křižík
  - Elektricky hnaný kočár – 42 Pb článků, 3,6 kW
- Konec 19. století – Belgie – elektromobil La Jamais Contente
  - 2 x 25 kW, 200 kg,  $v > 100$  km/h !!



# Historie elektromobility

- Počátek 20. století – 40% podíl elektromobilů na trhu silničních vozidel
- Dojezd dostupných elektromobilů až 60 km a rychlost až 30 km/h
- Konkurenční pohony pro silniční vozidla
  - Parní stroj – vysoká hmotnost, nízký výkon, účinnost 5-15%
  - Spalovací motor – nízká hmotnost, účinnost 25-35 %, vynálezce Nicolaus August Otto 60. léta 19. století, velký dojezd
- 1908 – USA – Ford T
  - Levný automobil se spalovacím motorem, dostupný pro širokou veřejnost
  - Dojezd přes 200 km, rychlost až 60 km/h
  - Levný benzín, elektrický startér!
- Úpadek elektromobility
- Vývoj spalovacích motorů
- Klid do roku 1973



# Historie elektromobility

- 1973 – ropná krize
  - Vlivem válečných nepokojů arabská ropná organizace zamezila prodej ropy na půl roku
  - Výrazné zdražení ropy



# Historie elektromobility

- Po roce 1973 postupné hledání nového zdroje energie
- 1974 – Florida – Sebring Vanguard – CityCar – 3 kW, 56 km/h, 60 km
- Tzv. druhá vlna elektromobility
- Vývoj vozu ukončen po snížení ceny ropy
- Škoda Eltra 151L 15,5 kW, Pb, 50 km, 80 km/h, 1991
- Moderní éra elektromobility od roku přibližně 2008 – na trhu se objevila vozidla Tesla Roadster, Nissan Leaf
- Později se přidalo Mitsubishi, Peugeot, Citroen, Hyundai, VW, Škoda, Opel, Toyota, atd.



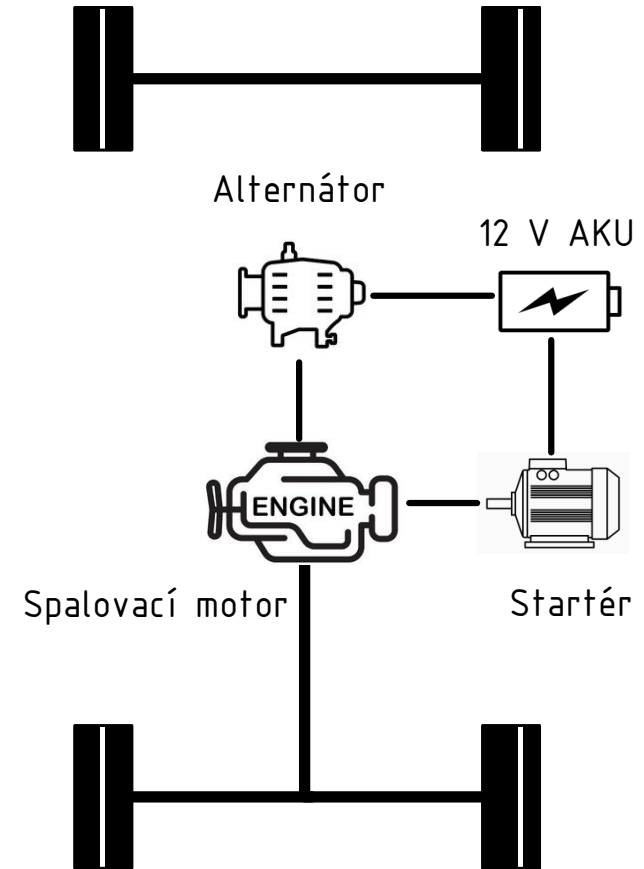
# Topologie současných vozidel

- Spalovací (ICEV – „internal combustion engine vehicle“)
- Hybridní
  - Micro hybrid (MHD)
  - Mild hybrid (MHEV – „mild hybrid electric vehicle“)
  - Full hybrid (HEV)
  - Plug in hybrid (PHEV – „plug in hybrid electric vehicle“)
  - Paralelní
  - Sériový
- Elektrická (EV)



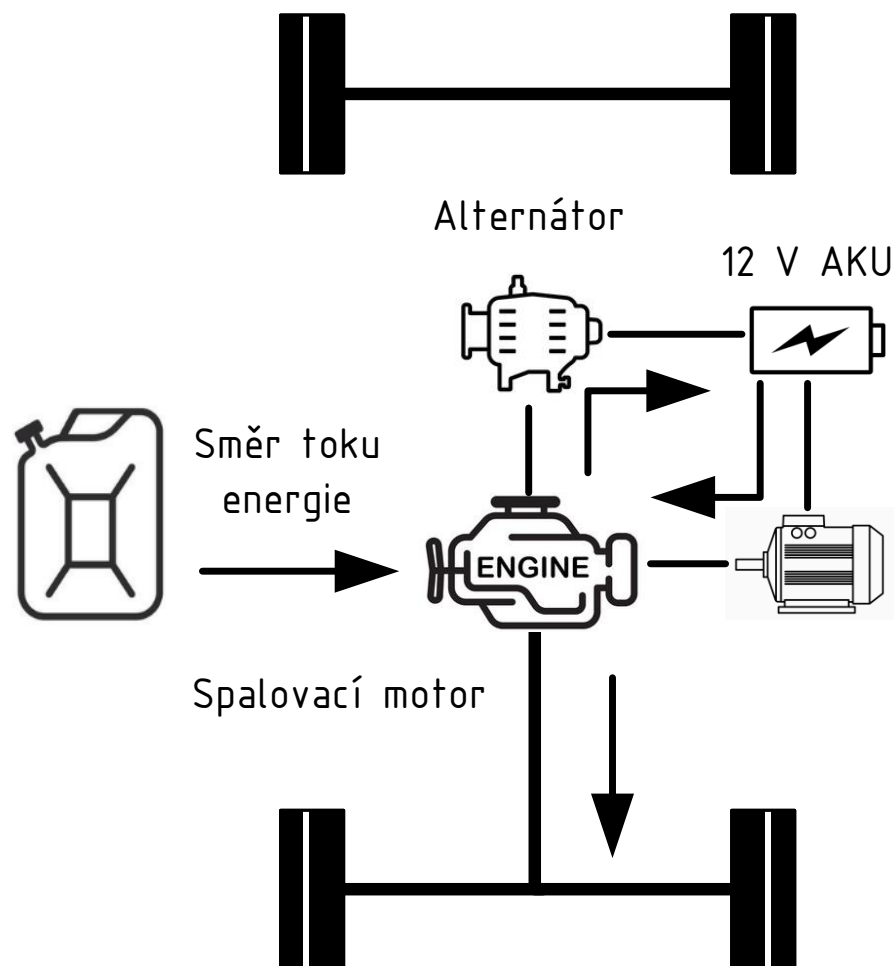
# Spalovací (ICEV)

- Zdroj energie – uhlovodíková paliva
- Spalovací motor 4T, 2T, zážehový, vznětový
- Benzín, nafta, CNG (stlačený zemní plyn), LNG (zkapalněný zemní plyn), LPG (liqified petroleum gas - zkapalněný p. b. + směsi plynů), BIO (bioplyn – rozklad bio. látek, jako CNG)
- Nemožnost rekuperace
- Účinnost do 40%
- Základ hybridních vozidel



# Spalovací (ICEV) – energetická bilance

- Jednosměrný tok energie
- Nemožnost rekuperace
- Energie z alternátoru pouze pro dobíjení palubní AKU a pomocné spotřeby
- Start SM – energie z palubní AKU



# Hybridní vozidla (HEV)

- K pohonu využity dva zdroje energie – spalovací motor a elektromotor
- Výhoda – možnost rekuperace energie – úspora paliva až 20 %
- Krátkodobé zvýšení výkonu - SM + EM
- Možnost krátkého provozu pouze na elektromotor (neplatí pro micro hybrid) pro krátké trasy či provoz vozidla v emisních zónách
- Zvýšení účinnosti SM – provoz v optimálním režimu (omezení vlivu uživatele - **podtáčení SM, vytáčení SM, nevhodné řazení** )
- Skladování energie v akumulátorech s malou kapacitou
- Nevýhoda – složitost systému
- Možnosti akumulace energie:
  - Elektrochemické akumulátory
  - Ultrakapacitory



# Micro hybrid (MHD)

- První generace:
  - Konvenční vozidlo se spalovacím motorem
  - Systém Idle Stop and Go (ISG) – Kia, Hyundai
  - Systém Start Stop – Škoda, VW, Audi, Seat, Volvo a další
  - Použití Pb aku AGM či EFB
  - AGM – absorbent glass mat – tekutý elektrolyt – separátory ze skelných vláken
  - Vyšší nabíjecí a vybíjecí výkon, vyšší cyklická odolnost, bezúdržbové, odolnost proti vytečení elektrolytu, odolnost proti otřesům, provoz v náklonu, nízké samovybíjení
  - EFB – enhanced flooded battery – separátor z polyesterových vláken – silnější desky, 2 x vyšší odolnost proti cyklickému zatěžování v porovnání s konvenčním typem, schopnost provozu i ve stavu hlubokého vybití, nízký  $R_i$ , provoz v náklonu



# Micro hybrid

- Druhá generace:
  - K systému Start-Stop též fce rekuperace energie
  - Použití tzv. reverzibilního alternátoru (start a dobíjení 12V aku)
  - Rekuperovaná energie použita pouze pro pomocné spotřeby a popřípadě start
  - AKU AGM či EFB

Micro hybrid není považován za typického zástupce hybridních vozidel.  
Nemožnost plug-in topologie.

Zástupci:

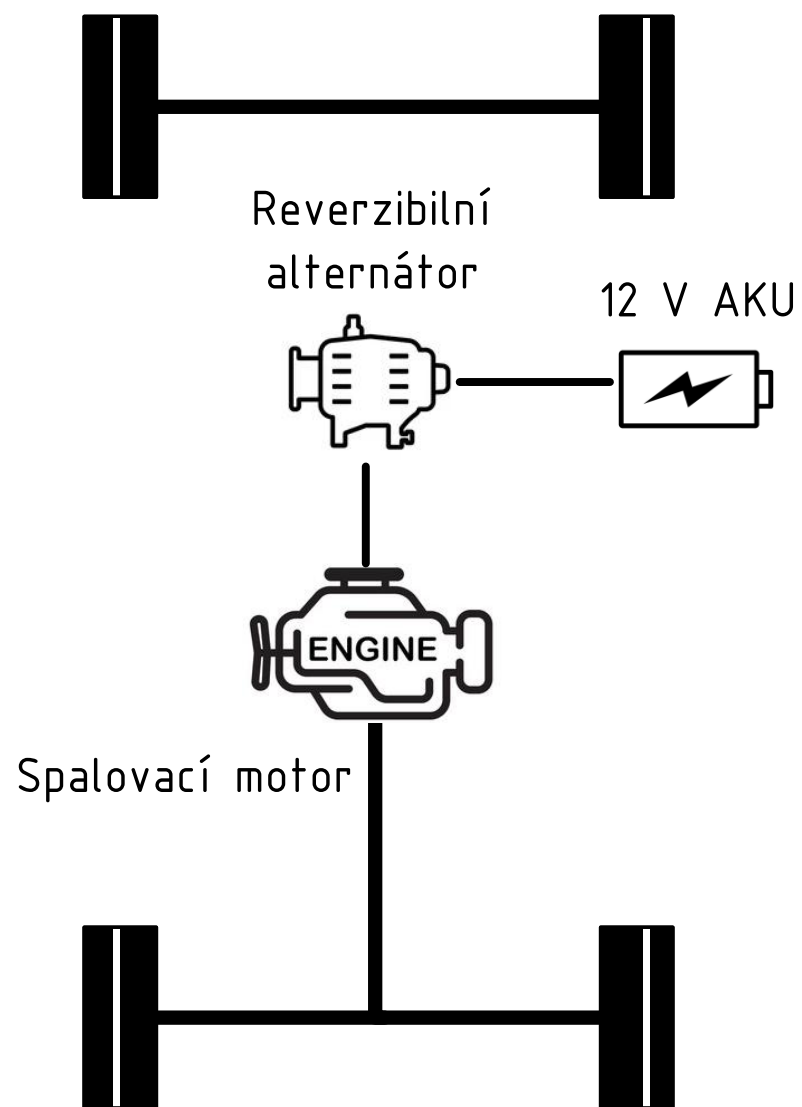
Volvo XC 60 D4

Škoda Kodiaq

BMW 530d

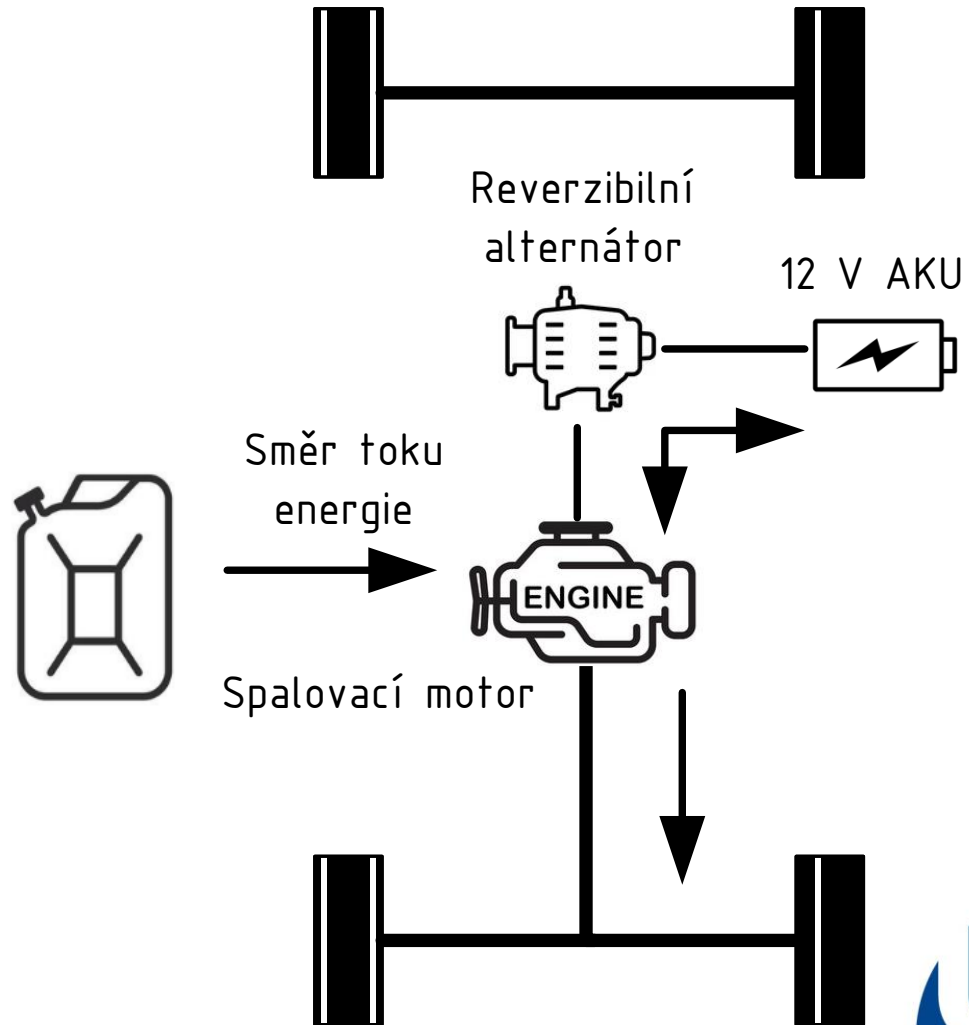
Range Rover Velar





# Micro hybrid – energetická bilance

- Možnost inteligentního dobíjení a rekuperace energie
- Rekuperovaná energie využitelná pro start SM či pomocné spotřeby
- Mírné snížení energetické náročnosti provozu vozidla



# Mild hybrid (MHEV)

- Spojení 48V elektromotoru a spalovacího motoru
- Rekuperace energie a následné využití pro trakci
- Využití při akceleraci
- Snížení spotřeby a emisí přibližně o 10%
- Výkon elektromotoru (ISG – integrovaný startér generátor) - jednotky kW
- Nízká kapacita AKU – do 1 kWh
  - Například Li-ion LTO Toshiba SCiB
- Zástupci:
  - Audi A8 3.0 TFSI
  - Volkswagen Golf 1.5 TSI MHEV
  - Mercedes-Benz CLS 450
  - Dodge RAM 1500 2019



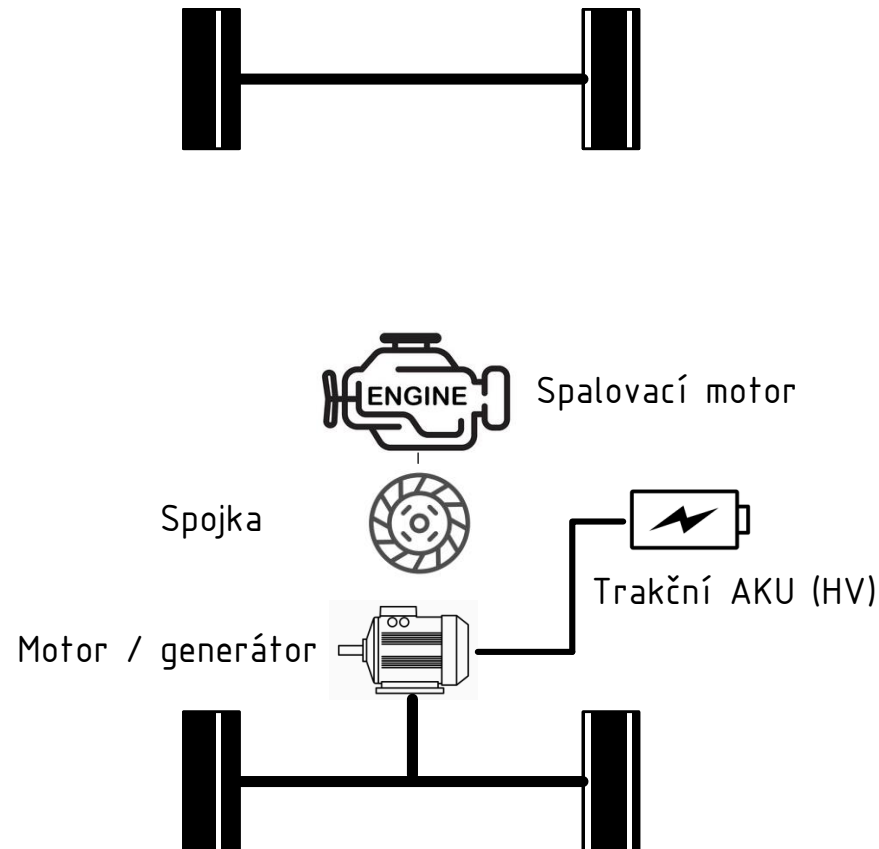
# Full hybrid (HEV)

- Spojení spalovacího motoru a elektromotoru
- Vzájemná spolupráce SM a EM
- Možnost jízdy pouze na EM
- Rekuperace energie
- Snížení spotřeby
- Vysoké pořizovací náklady
- Aku: High Voltage Li-ion (Vysoké napětí nad 60V DC) – kapacita jednotky až desítky kWh
- Motor: desítky kW
- Zástupci:
  - Toyota Prius
  - Kia Niro
  - Hyundai Ioniq Hybrid
  - Lexus IS 300h



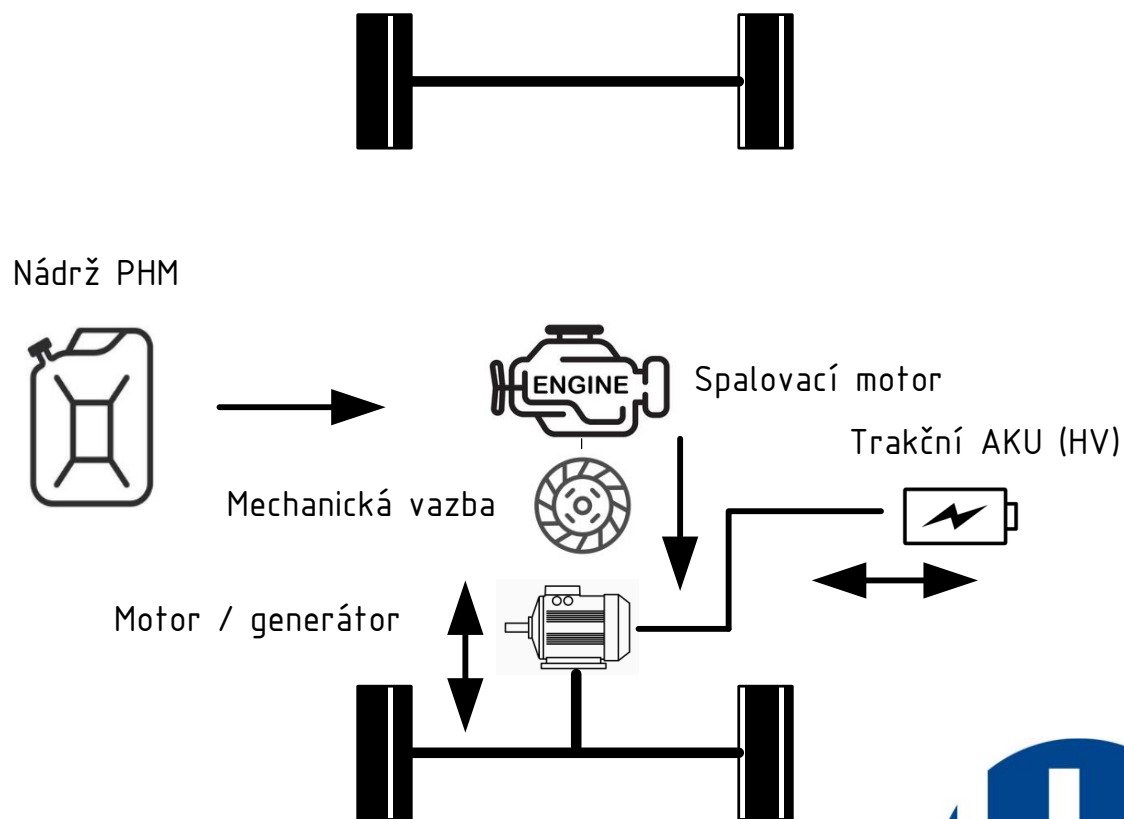
# Paralelní hybrid

- Hnací řetězce SM a EM mohou pracovat současně či odděleně
- Typická koncepce pro silniční vozidla



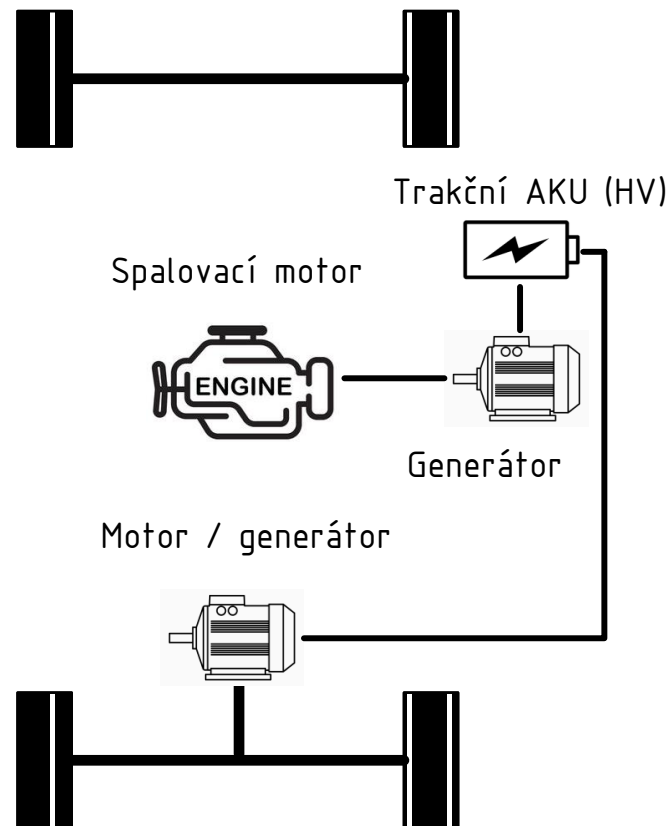
# Paralelní hybrid – energetická bilance

- Možnost obousměrného toku energie mezi motorem a nápravou
- Možnost obousměrného toku energie mezi motorem a trakční AKU
- Zážehový spalovací motor v optimálnějším režimu v porovnání s konvenčním vozem s mechanickou převodovkou



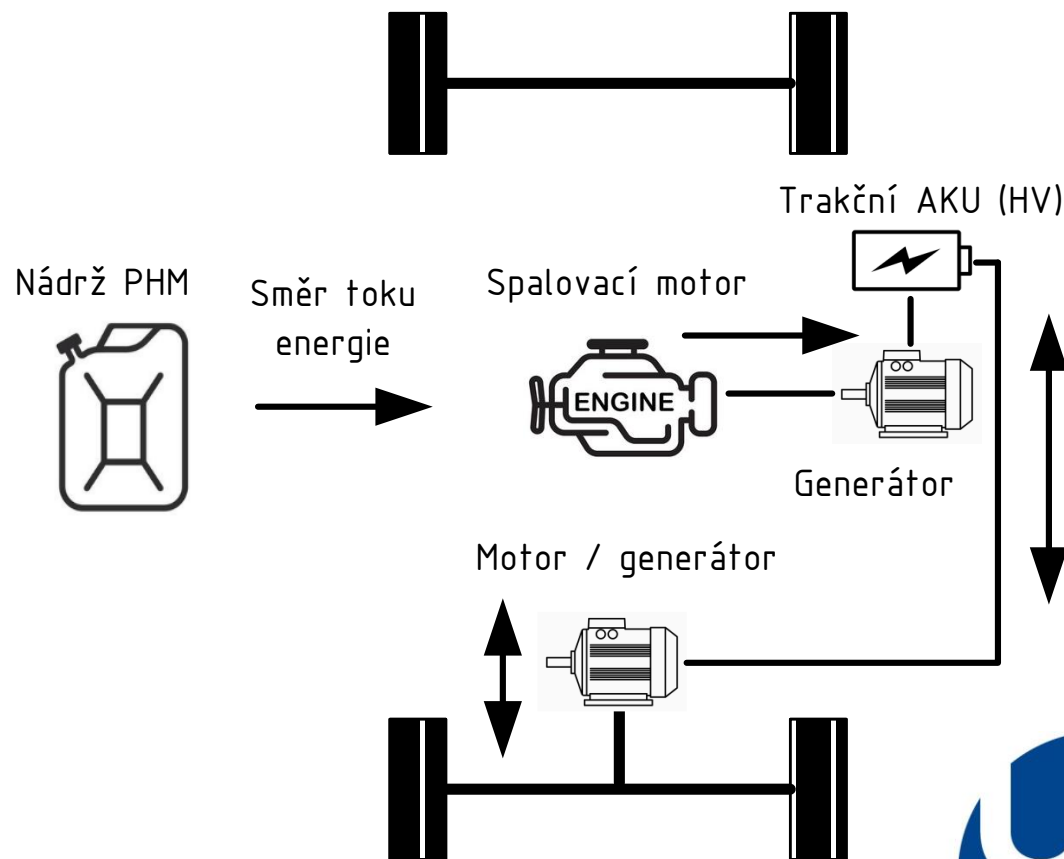
# Sériový hybrid

- Většinou na přední nápravě elektromotor
- Spalovací motor pohání generátor
- SM není s koly spojen mechanickou vazbou
- Energie SM pro dobíjení AKU a pohon EM



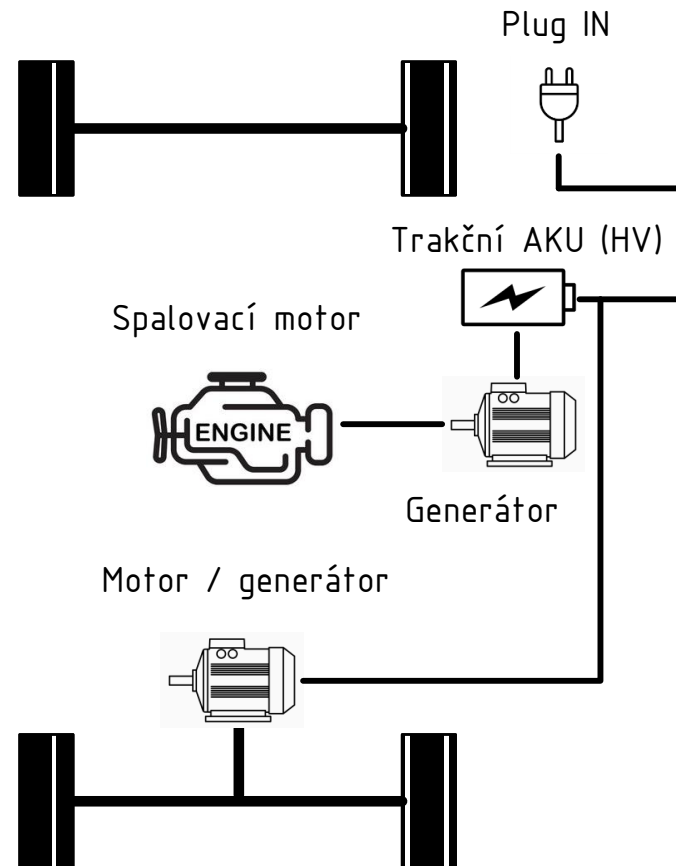
# Sériový hybrid – energetická bilance

- Možnost obousměrného toku energie mezi motorem a nápravou
- Možnost obousměrného toku energie mezi motorem a trakční AKU
- Zážehový spalovací motor v optimálnějším režimu v porovnání s konvenčním vozem s mechanickou převodovkou
- Odpadá možnost provozu pouze na SM, vždy elektrický přenos výkonu



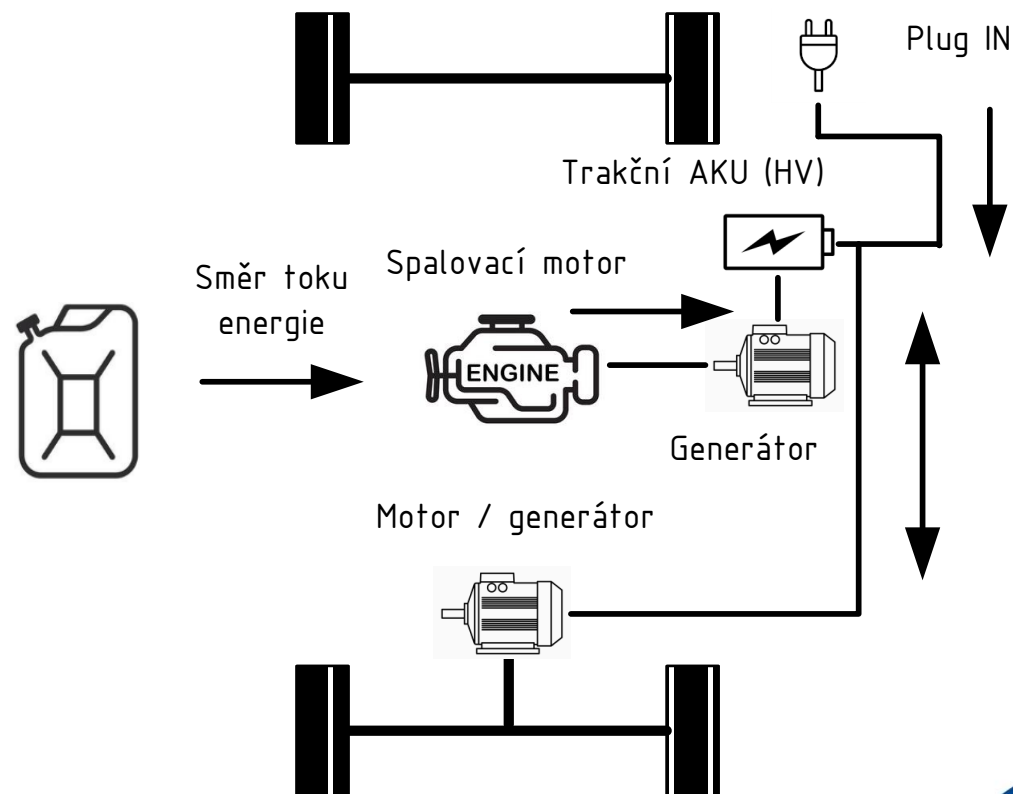
# Plug in hybrid (PHEV)

- Nadstavba HEV, liší se pouze větší baterií
- Možnost nabíjet a provozovat vozidlo pouze v režimu elektrického provozu
- Vhodné pro krátké trasy
- Dojezd desítky km
- Pro delší trasy start SM
- Technicky možná jak sériová, tak paralelní koncepce



# Plug in hybrid (PHEV) – energetická bilance

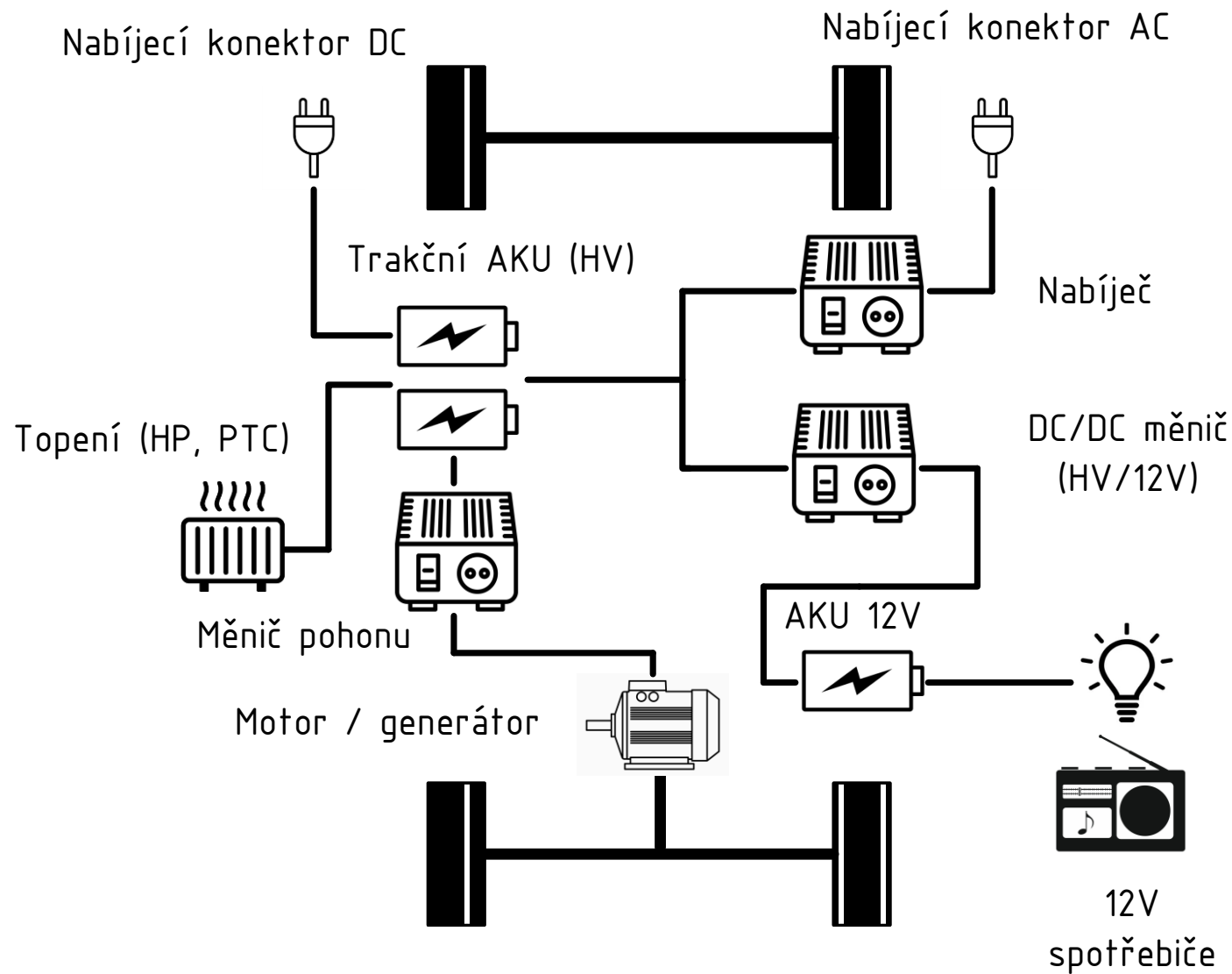
- Možnost obousměrného toku energie mezi motorem a nápravou
- Možnost obousměrného toku energie mezi motorem a trakční AKU
- Zážehový spalovací motor v optimálnějším režimu v porovnání s konvenčním vozem s mechanickou převodovkou
- Odpadá možnost provozu pouze na SM, vždy elektrický přenos výkonu
- V režimu nabíjení tok energie pouze jedním směrem



# Elektrické vozidlo (EV)

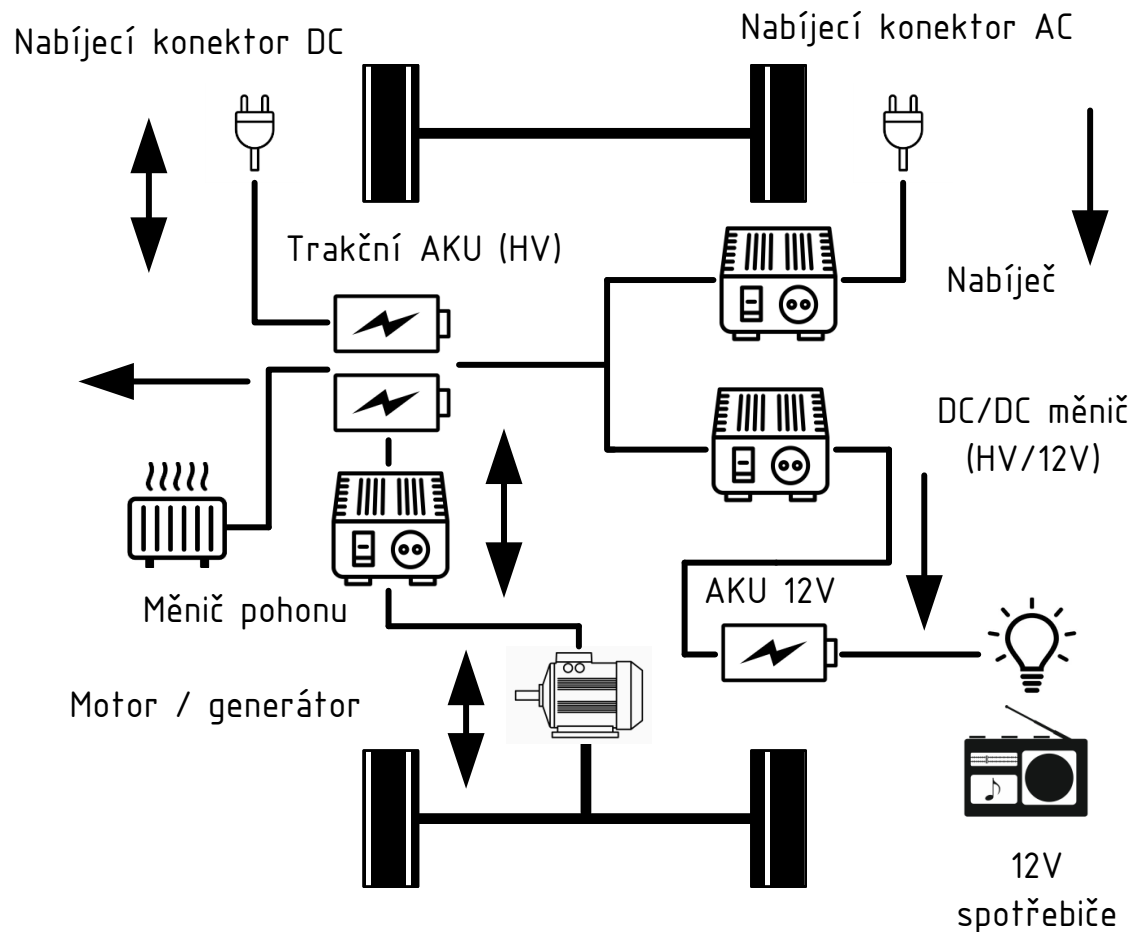
- Provoz bez spalovacího motoru
- Akční rádius závisí na kapacitě trakční HV AKU
- Výkon závisí na výkonu motor / generátoru a výkonu AKU
- Možnost nabíjení doma – wall-box
- Veřejná nabíjecí místa – možnost AC či DC dobíjení
- Nulové emise v místě provozu
- Mechanická jednoduchost
- Nízká spotřeba energie – použití komponent s vysokou účinností (elektromotor, trakční měnič, trakční AKU)
- Možnost rekuperace





# EV – energetická bilance

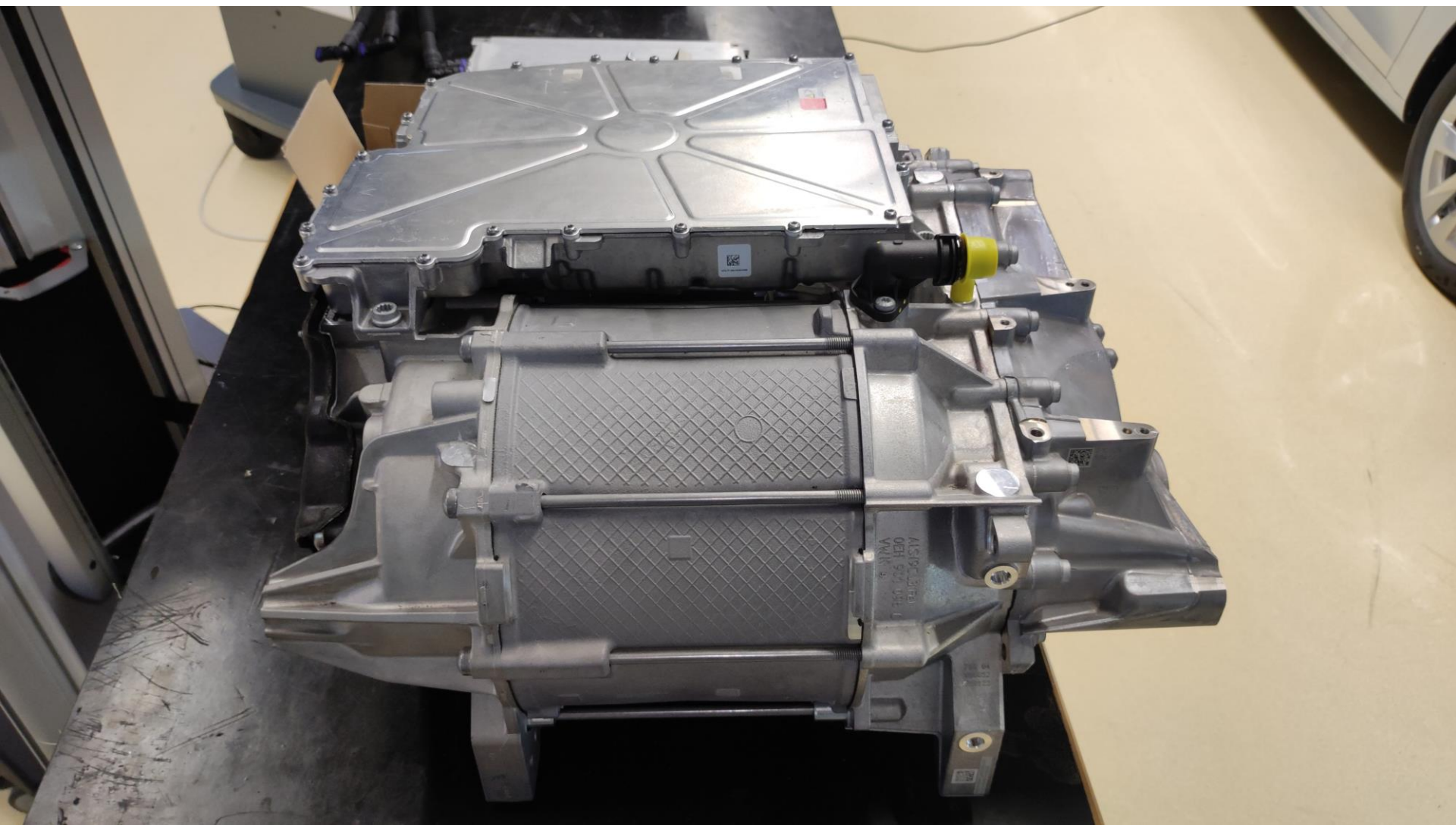
- V případě DC nabíjení snaha o využití obousměrného toku energie (podpora sítě, vehicle to grid)
- V případě AC nabíjení pouze jednosměrný tok energie



# Motor / generátor

- Nejčastěji synchronní motor s permanentními magnety (PMSM) či asynchronní motor (ASM)
- Jeden či dva kusy, možno i kombinace PMSM a ASM
- Nízké hlukové zatížení okolí
- Rychlá reakce za požadavek výkonu, vysoký točivý moment od nulových otáček
- Není třeba řazená převodovka – pouze převodovka s konstantním převodem
- Jednoduchá změna směru otáčení
- Odpadá výměna oleje, nízké vibrace
- Nutnost snímačů teploty a otáček





# Zastoupení motorů ve vybraných vozech

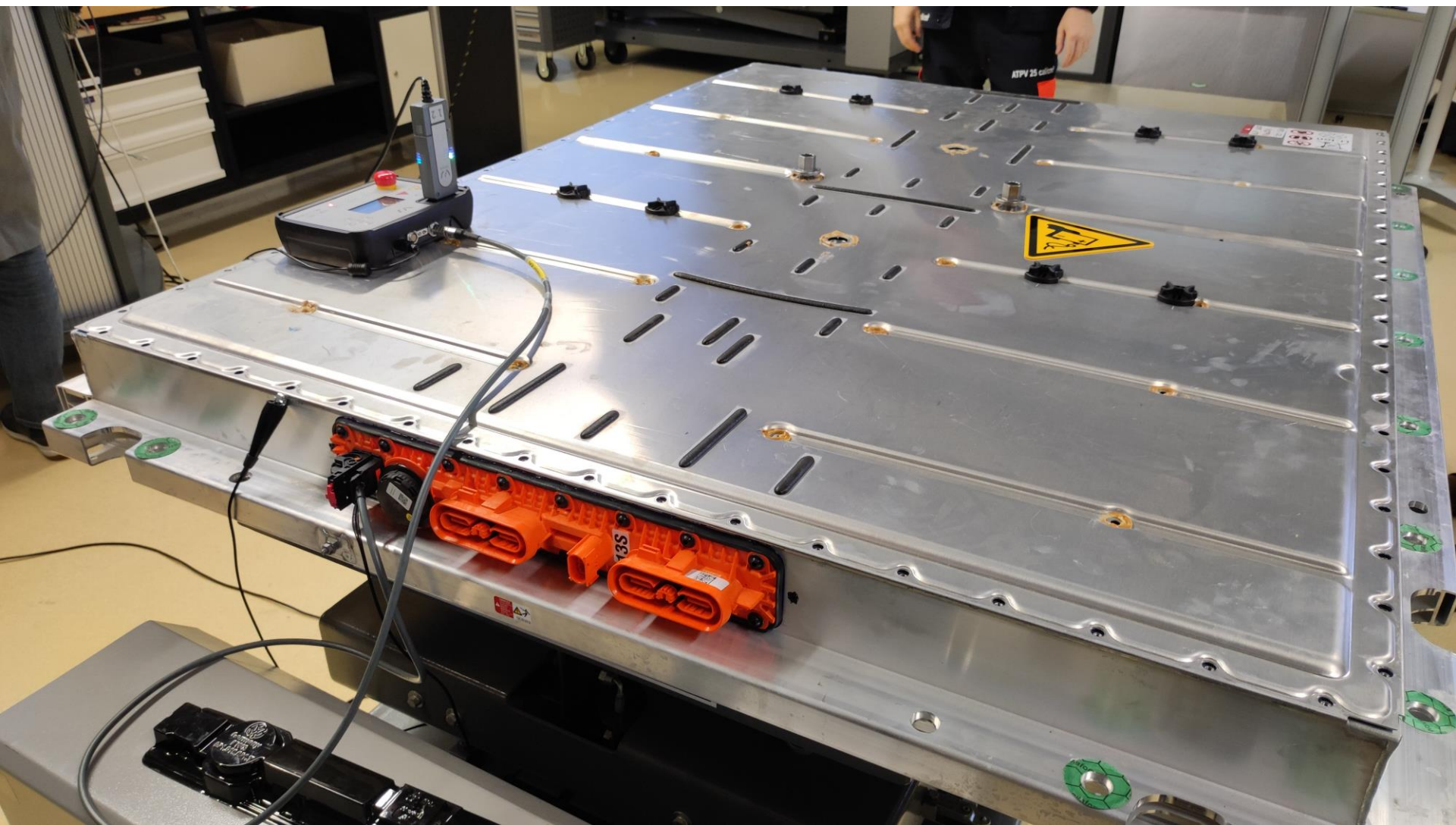
- Ford Focus – PMSM 107 kW
- Tesla Model S – 2 x ASM 285 – 568 kW, 430 – 931 Nm dle modelu a roku výroby
- Nissan Leaf – PMSM – 80 kW, 207 Nm
- Hyundai Kona – PMSM – 100 kW, 395 Nm
- Nissan e-NV200 – PMSM – 80 kW, 254 Nm
- Hyundai Ioniq – PMSM – 88kW, 295 Nm
- Škoda Enyaq iV - 220 – 460 Nm
  - Varianta zadní pohon – PMSM 109 kW, 132 kW, 150 kW
  - Varianta zadní a přední pohon – přední náprava ASM, zadní náprava PMSM 192 kW, 225 kW



# Trakční AKU

- Stěžejní prvek elektromobilu
- Rozhodující parametry – jmenovité napětí, trvalý a krátkodobý vybíjecí proud, účinnost a hustota energie, životnost, technologie
- Výhradně Li-ion AKU
  - Vysoká objemová a hmotnostní hustota energie
  - Netrpí paměťovým efektem – lze dobíjet a vybíjet v jakémkoli stavu DOD
  - Vysoké vybíjecí proudy – až 20C
  - Vysoké nabíjecí proudy
  - Možnost výroby od desetin Ah po stovky Ah
  - Vysoká životnost v počtech cyklů
  - Vhodná vybíjecí charakteristika
  - Vysoká hodnota jmenovitého napětí článku
- Součástí AKU BMS, výkonový stykač
- Kapacita desítky kWh
- Technologie nejčastěji NCA, NMC či LFP











181045  
001401  
0200024

SD1851

# Palubní AKU 12 V

- Slouží k napájení elektroniky vozidla (Měniče, ŘJ, komfort, osvětlovací soustava, brzdový systém, ..)
- Netrakční soustava vozidla vychází k konvenčních vozidel – systém 12V DC
- Stále se využívá standartní 12V Pb aku (zaplavená, AGM, VRLA, Gel)
- Kapacita přibližně 50Ah
- Problém – 12V AKU není dobíjena stále na 100% SOC z měniče HV / 12V
- Možnost sulfatace, snížení životnosti
- Případy vybití 12V palubní AKU – nemožnost oživit vozidlo, nutnost externího dobití
- Většina EV umožňuje výměnu AKU za obdobnou aftermarket (stejně U, C, rozměry), někteří výrobci dbají na výměnu za OEM AKU
- Proč se nevyužívá Li-ion AKU 12V?
- Proč EV umožní vybití 12V aku při dostatečné energii v HV AKU?



# DC / DC měnič, nabíječ, trakční měnič

- Moduly výkonové elektroniky
- Nabíječ – slouží k nabití HV aku ze sítě – možnost jednofázového, dvoufázového a třífázového režimu
- Nabíječ komunikuje s tzv. Wall boxem, jenž slouží jako interface mezi distribuční sítí a nabíječem
- Wall box definuje maximální limity nabíjení, popřípadě upravuje nabíjecí výkon v závislosti na spotřebě domácnosti
- DC/DC měnič zabezpečuje kontinuální napájení 12V spotřebičů ve voze
- DC/DC měnič dobíjí palubní Pb AKU 12V
- Výkonová zatížitelnost i jednotky kW (testy s připojeným měničem 12/230V AC)
- Trakční měnič přeměňuje DC U a I z HV AKU na 3f AC U a I, stěžejní prvek vozidla
- Trakční měnič umožňuje oboustranný tok energie v případě rekuperace



# Topení

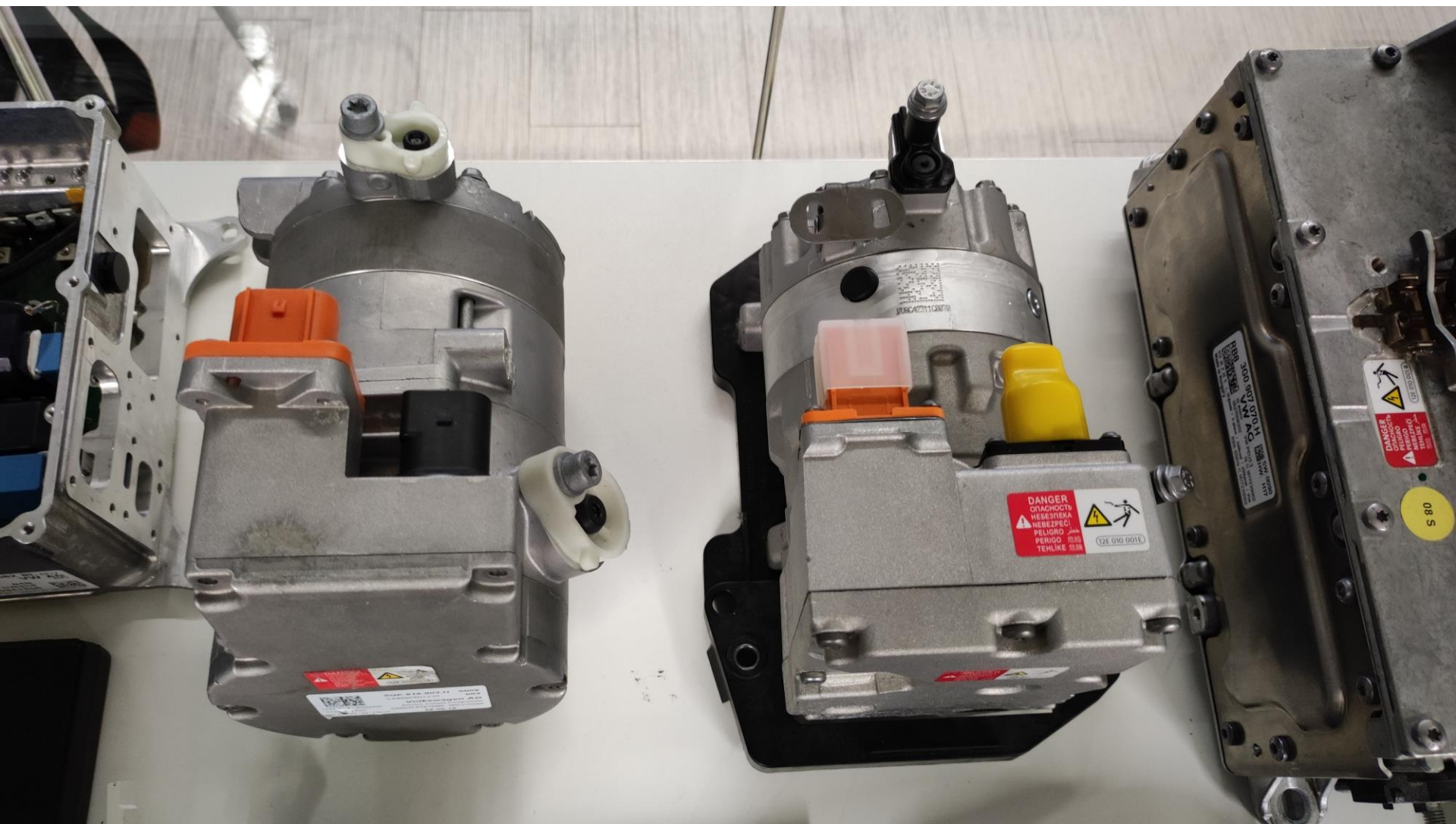
- Topení EV zajišťují nejčastěji dva systémy
- **Topení PTC (titaničitan barnatý  $\text{BaTiO}_3$ , feroelektrická keramika )**
- Jednoduchý systém, není třeba zapojovat do kapalinového okruhu
- Vyšší spotřeba elektrické energie v porovnání s TČ
- Reálný příkon v ustáleném stavu 1000 – 1500 W (Škoda CitiGoe) teplota okolí do  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Hojně využívaný, např. Tesla, Hyundai, Škoda,..
- Topné těleso pozitivní teplotní koeficient – odpor roste s teplotou
- Rychlé zahřátí – vysoký výkon za studena
- S teplotou výkon klesá až do ustáleného stavu
- Bezpečnější provoz než odporové topení, nehrozí zde přehřátí tělesa – samoregulační schopnost



# Topení

- **Tepelné čerpadlo (heat pump)**
- Příkon přibližně 3 x nižší než PTC (COP – Coefficient Of Performance)
- Zvyšuje dojezd vozidla
- Reálný příkon v ustáleném stavu 500 – 750 W (Hyundai Kona), teplota okolí do  $-5^{\circ}\text{C}$
- Špičkový příkon v době natápění vozidla – jednotky kW
- Účinnost roste se zmenšujícím se rozdílem teplot výparníku a kondenzátoru (rozdíl teplot venku x uvnitř)
- Složitost systému – tlakové těsnost, pravidelná výměna chladicího média, mnoho snímačů a ventilů, životnost kompresoru, vyšší hlučnost v případě zaparkovaného vozidla (ventilátor chladiče)
- „Staré chladivo“ R134 – vysoký skleníkový efekt GWP (global warming potential), nehořlavé, dnes vysoká cena
- „Nové chladivo“ R1234 až 300 x nižší GWP, mírně hořlavé, nižší účinnost AC = vyšší příkon kompresoru = vyšší spotřeba paliva = více emisí
- $\text{CO}_2$  – až 1000 x menší GWP než R134, tlak nad 100 bar
- Umožňuje jak chlazení, tak topení
- Jako bivalentní zdroj – těleso s PTC (v silných mrazech účinnost a výkonnost t.č. klesá)
- Proč konvenční vozidlo vybavené klimatizací neumožňuje topení??





Vytvořeno v rámci projektu **Green Deal UPCE**, reg. č. NPO\_UPCE\_MSMT-2142/2024-4.

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY-SA 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

