



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# ELEKTROPOHONY V UŽITKOVÝCH VOZIDLECH A AUTOBUSECH

ELECTRIC DRIVES IN COMMERCIAL VEHICLES AND BUSES

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Štěpán Bahenský

## VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

BRNO 2020



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Štěpán Bahenský**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.**  
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Elektropohony v užitkových vozidlech a autobusech**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Přehled současného stavu aplikace elektrických pohonů v elektrických nebo hybridních užitkových vozidlech a autobusech.

### **Cíle bakalářské práce:**

Soustředit poznatky o realizovaných elektrických pohonech užitkových vozidel a autobusů.  
Zpracovat přehled základních technických parametrů těchto elektrických pohonů.  
Naznačit možné směry dalšího vývoje v této oblasti.

### **Seznam doporučené literatury:**

HAYES, John G. and Gordon A. GOODARZI. 2018. Electric powertrain: energy systems, power electronics & drives for hybrid, electric & fuel cell vehicles. Hoboken, NJ: John Wiley.

MOM, Gijs. Electric vehicle: technology and expectations in the automobile age. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2013. ISBN 978-1-4214-0970-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na elektrické a hybridní pohony, které se využívají v užitkových vozech a autobusech. Podle toho je práce rozdělena na dvě hlavní části. První část se věnuje čistě elektrickým pohonům a jejím základním komponentům. V podkapitolách jsou popsány jednak jednotlivé druhy motorů, které se nejčastěji využívají, ale také vlastnosti a technologie baterií. Druhá část pojednává o hybridních technologiích, rozdělení podle uspořádání součástí ve vozidlech, výhody a nevýhody těchto řešení. Pozornost je věnována i možnostem řešení bateriových systémů. Na konci obou částí jsou uvedeny příklady užitkových vozů a autobusů s příslušnou motorizací, jejich srovnání s konkurenčními modely a výčet vybraných technických parametrů. Závěrečná kapitola shrnuje, jakým směrem se nyní trh v této oblasti ubírá a další možný vývoj v budoucnu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Elektropohon, hybrid, elektromotor, baterie, kapacita, užitkový vůz, autobus

## ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on electric and hybrid powertrains, which are used in utility vehicles and buses. According to this bachelor thesis is divided into two main parts. The first part deals with pure electric drives and its basic components. The subchapters describe various types of engines that are commonly used, but also the features and technologies of batteries. The second part deals with hybrid technologies, division according to the arrangement of components in vehicles, advantages and disadvantages of these solutions. Attention is also paid to the possibilities of battery systems. At the end of both parts, there are examples of commercial vehicles and buses with appropriate motorization, their comparison with competing models and a list of chosen technical parameters. The final chapter summarizes the current direction of the market and its further possible development in the future.

## KEYWORDS

Electric drive, hybrid, electric motor, battery, capacity, utility car, bus

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BAHENSKÝ, Štěpán. *Elektropohony v užitkových vozidlech a autobusech*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124116>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 50 s. Vedoucí práce Václav Píštěk.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václav Píštěka, DrSc a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. května 2020

.....

Štěpán Bahenský

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Václavu Píštěkovi, DrSc. za jeho přínosné rady v průběhu vypracování této práce.



## OBSAH

Úvod .....	11
1 Druhy elektropohonů .....	12
2 Základní komponenty elektrovozidel .....	13
2.1 Pohonné jednotky .....	13
2.1.1 Stejnoseměrný motor s cizím buzením .....	13
2.1.2 Stejnoseměrný motor bez kartáčů .....	15
2.1.3 Asynchronní motor .....	16
2.1.4 Reluktační motor .....	17
2.1.5 Transversální motor .....	18
2.2 Energetické zásobníky pro elektrické pohony .....	19
2.3 Elektrochemické baterie .....	19
2.3.1 Olověné baterie .....	21
2.3.2 Niklové baterie .....	22
2.3.3 Lithiové baterie .....	23
3 Elektrická vozidla na baterie .....	25
3.1 Nissan e-NV200 .....	25
3.2 Porovnání s konkurenčními vozy .....	26
3.3 Volvo 7900 Electric .....	27
3.4 Tabulka porovnání autobusů s elektrickým pohonem .....	28
4 Hybridní technologie .....	29
4.1 Sériové uspořádání .....	29
4.2 Paralelní uspořádání .....	30
4.3 Další dělení hybridních vozidel .....	31
4.3.1 Mild hybrid .....	31
4.3.2 Full Hybrid .....	31
4.3.3 Plug-in hybrid .....	31
4.4 Energetické zásobníky pro hybridní pohony .....	31
4.4.1 Baterie .....	32
4.4.2 Superkondenzátory .....	32
4.4.3 Mechanické komutátory energie .....	33
4.5 Provozní režimy hybridního vozidla .....	34
4.6 Start-stop systém .....	35
5 Vozidla s hybridním pohonem .....	36
5.1 Ford Transit Custom Plug-in Hybrid .....	36
5.2 Iveco Urbanway Hybrid High Value .....	38

---

5.3 Srovnání nákladů na provozní cyklus konvenčních a hybridních autobusů .....	39
Závěr .....	42
Použité informační zdroje .....	45
Seznam použitých zkratek a symbolů .....	50

## ÚVOD

Popularitu si automobilní doprava získala hlavně v 20. a 21. století. Vynález spalovacího motoru zásadně ovlivnil vývoj moderní společnosti. Moderní technologie a s nimi spojený rychlý vědecký pokrok, nám dávají možnost využívat alternativní způsoby pohonů, které se snaží eliminovat negativní stránky související s narůstajícím počtem automobilů. Závažnost tohoto problému se snižuje s inovativními systémy u konvenčních spalovacích motorů, zejména při úpravách systémů produkce výfukových plynů. Vysoká spotřeba fosilních paliv a produkce oxidu uhličitého, který se podílí z velké části na vzniku skleníkového efektu, jsou hlavními důvody proč hledat nové alternativní způsoby provozu motorových vozidel. [1]

Takzvané alternativní pohony, zahrnují všechny koncepty, které se liší od konvenčního způsobu pohonů (dieselové a benzínové motory). Z historického hlediska lze jako první alternativní pohon uvažovat elektrovozidlo. Kvůli jednoduché konstrukci, nenáročnému startování a jednoduché obsluze byly elektrovozidla na konci 19. století oblíbenější než vozidla se spalovacím motorem. K alternativním pohonům se dále řadí motory se speciální konstrukcí. Do této skupiny lze zahrnout spalovací turbínu, Wankelův a Stirlingův motor. Nezávislý oddíl tvoří alternativní paliva představovaná biopalivy. První spalovací motory využívaly jako zdroj energie převážně plynná paliva jako na příklad bioethanol. [1]

Cíle práce:

- Soustředit poznatky o realizovaných elektrických pohonech užitkových vozidel a autobusů.
- Zpracovat přehled základních technických parametrů těchto elektrických pohonů.
- Naznačit možné směry dalšího vývoje v této oblasti.

## 1 DRUHY ELEKTROPOHONŮ

Termín „elektromobilita“ neboli (e-mobilita) označuje použití elektrického pohonu pro přepravu osob a zboží. Z hlediska konstrukce automobilová technika rozlišuje tři hlavní typy elektrických vozidel.

- Elektrická vozidla na baterie
- Hybridní pohony automobilů
- Elektrická vozidla s palivovými články

Dále se tato práce bude zaměřovat na vozidla poháněná elektrickou energií z baterií a na vozidla využívající hybridní pohony. Přestože se v současné době pozornost výrobců automobilů zaměřuje z velké části hlavně na automobily pro osobní dopravu, užitková vozidla, jako například nákladní auta nebo autobusy, využívající elektrický či hybridní pohon, se začínají objevovat ve stále větším měřítku. Pro tyto typy vozidel byla vyvinuta speciální technologie uložení elektrické energie. Některé autobusy nebo nákladní vozy na odvoz odpadu využívají superkondenzátory. Tyto kondenzátory, které jsou také označovány jako ultrakondenzátory, představují nový typ elektrochemické technologie. Na rozdíl od baterií mohou být superkondenzátory nabíjeny a vybíjeny během několika sekund a vydrží několik tisíc nabíjecích cyklů. [2]

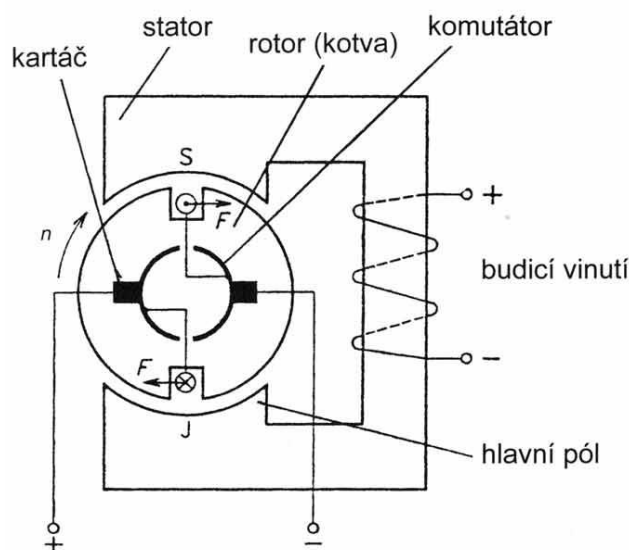
## 2 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY ELEKTROVOZIDEL

### 2.1 POHONNÉ JEDNOTKY

Elektromotory jsou klíčovou součástí elektrického vozidla, zařízení přeměňuje elektrickou energii na mechanickou práci. Ideální charakteristika elektrického motorového pohonu pro trakční použití v hybridním nebo elektrickém vozidle je vysoký točivý moment v oblasti s nízkou rychlostí. Konstrukce musí být taková, aby v co největším rozsahu otáček byl zajištěn dostatečný výkon. [3]

#### 2.1.1 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR S CIZÍM BUZENÍM

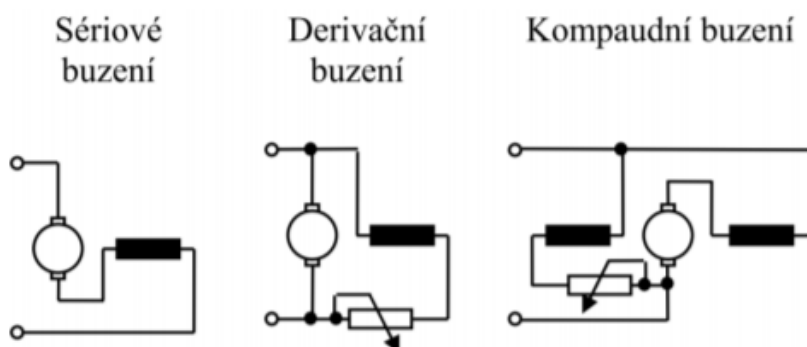
Nejjednodušším typem elektrického motoru je stejnosměrný motor. Tento typ má široké uplatnění v mnoha směrech, jako je například: přenosné nářadí, malé domácí spotřebiče nebo elektricky ovládaná okna u automobilů. Nicméně se tato konstrukce využívá i jako tažný motor vozidel, který může být napájen přímo z baterie. [4]



Obrázek 1 Schéma popisující princip stejnosměrného motoru,  $S$  a  $J$  - polarita hlavních pólů,  $F$  - síla vytvářející točivý moment,  $n$  - rychlost otáčení [5]

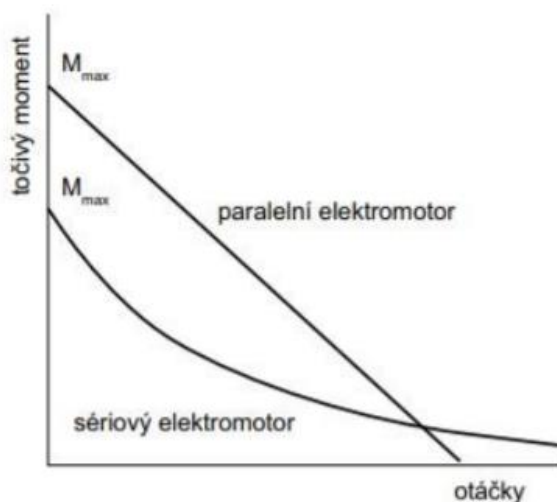
O cizí buzení jde v případě, že je magnetické pole vytvářeno permanentním magnetem nebo cívkou, která je napájena stejnosměrným proudem ze speciálního zdroje [4]. Schéma motoru je možné vidět na obrázku č. 1.

Vodič ve tvaru smyčky, který je součástí rotující kotvy, mění periodicky svou pozici vzhledem k magnetickým siločarám, a proto je nutné dvakrát během jedné otáčky změnit směr protékajícího proudu. Tuto funkci zajišťuje komutátor. Konce vodivé smyčky jsou připojeny ke dvěma vodivým segmentům, do kterých je přes kartáče přiváděn elektrický proud. Na základě vzájemné přitažlivosti dvou opačných magnetických pólů a odpuzování pólů souhlasných se vytváří kroutící moment. Podle zapojení kotvy a budícího vinutí vůči sobě lze motory rozdělit na motory sériové, paralelní (deviační) nebo kompaundní, které má sériovo-paralelní charakteristiku. Jednotlivá zapojení jsou zobrazena na obrázku č. 2. [6]



Obrázek 2 Jednotlivá schémata zapojení u stejnosměrného motoru [6]

Sériový elektromotor je charakteristický tím, že se stoupajícími otáčkami točivý moment rychle klesá, a proto nachází využití v oblasti vozidel elektrické trakce (tramvaje, vlaky). Naopak u paralelního elektromotoru točivý moment klesá pomaleji a lineárně s otáčkami, proto se používá u většiny elektrovozidel. Tuto charakteristiku můžeme vidět na obrázku č. 3. [1]

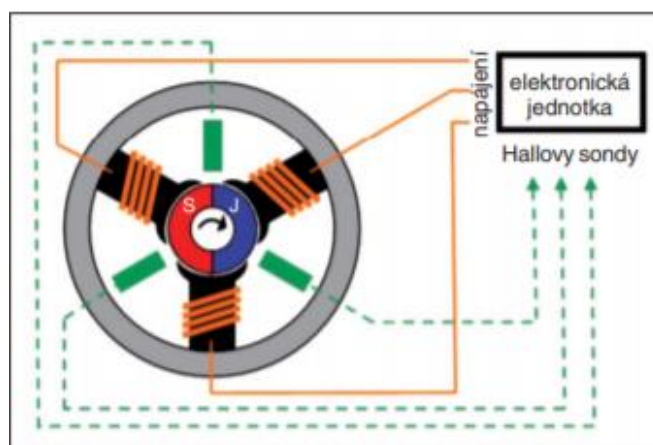


Obrázek 3 Charakteristika zapojení sériového a paralelního stejnosměrného elektromotoru [1]

Stejnoseměrné motory jsou charakterizovány silnou přetížeností a dalším limitem je počet otáček, který je omezen na  $7000 \text{ min}^{-1}$ . Hlavní výhodou těchto elektromotorů je jejich pořizovací cena a snadné řízení. Jako nevýhody můžeme uvažovat vyšší náchylnost k poruchám, častější údržba, limitující počet otáček a menší účinnost než u střídavých motorů. [1]

### 2.1.2 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR BEZ KARTÁČŮ

Jde o stejnosměrný motor s elektrickou komutací. Komutátorový elektromotor je velmi spolehlivý a postupným vylepšováním byl upraven tak, aby jeho účinnost dosahovala vysokých hodnot. Jednou z hlavních podmínek pro bezchybný chod je přesný proces komutace, což je změna směru proudu cívky, která probíhá na kluzném kontaktu mezi kartáčem a komutátorem. [7]



Obrázek 4 Principiální uspořádání stejnosměrného bezkartáčového motoru [7]

Problémy spojené s principem komutace jsou u moderních stejnosměrných bezkartáčových motorů vyřešeny elektronickou komutací. Tuto funkci zajišťuje integrovaná elektronická jednotka, která se stará o přívod proudu do vinutí statoru. U těchto motorů je konstrukce vůči klasickým komutátorovým strojům opačná. Budící část, která je obvykle osazena permanentními magnety rotuje a vinutí je součástí statoru. Funkci komutátoru zde nahrazuje elektronická jednotka, která přepíná jednotlivá vinutí statoru podle cílených vlastností motoru. Mikroprocesory zpracovávají zpětnou vazbu a generují data pro spínání tranzistorů. Pro indikaci úhlového natočení rotoru se u malých strojů používají Hallové sondy. Vzhledem k tomu, že tyto motory jsou vybaveny elektronickou jednotkou s mikroprocesorem, není potřeba využívat další přídatná zařízení pro regulaci otáček. O ochranu proti vysoké provozní teplotě nebo přetížení se rovněž stará elektronická jednotka. [7]

Nejnovější řada bezkartáčových motorů od společnosti Atas elektromotory Náchod, které mají označení G43V mají rotory osazené magnety s příměsí vzácných zemin. Elektronická jednotka, která je umístěna přímo do prostoru kostry motoru, napájí statorové vinutí. Regulace otáček je možná stejnosměrným napětím nebo vyvedením potenciometru. Motor je vybaven ochranou proti přetížení a přepólování. Účinnost v pracovní oblasti není menší jak 80 %. [7]

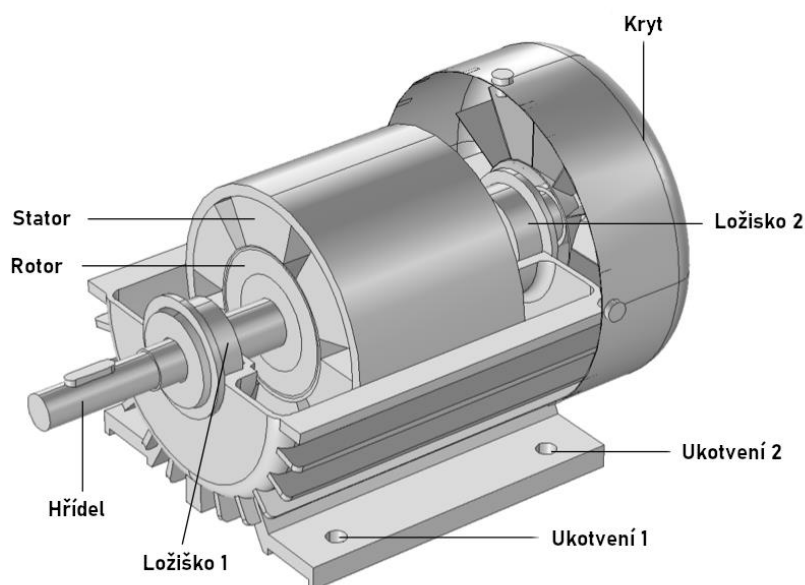
Stejnoseměrné motory bez kartáčů nacházejí využití všude, kde je napájení stejnosměrné. Což jsou v praxi například akumulátorové zvedací vozíky, zemědělská automobilová technika a dopravní prostředky všech druhů. Ve srovnání s indukčními motory mají výbornou účinnost. [7]

### 2.1.3 ASYNCHRONNÍ MOTOR

Střídavé motory jsou nejrozšířenější motory v elektrotechnice vůbec. Tyto motory nahrazují stejnosměrné zejména v oblasti elektromobility. Ve skutečnosti jde o indukční motor, protože se v rotoru indukují napětí. [9]

Statorové vinutí tvoří tři elektromagnety, které jsou vůči sobě vzájemně pootočené o  $120^\circ$ . Vinutí statoru je napájeno střídavým proudem, zatímco vinutí rotoru je napájeno proudem stejnosměrným [8]. Rozdíl otáček mezi rotorem a polem statoru je úměrný točivému momentu a nazýváme ho skluzovými otáčkami asynchronního motoru. Tento skluz je nutný k indukci proudu v rotoru. [9]

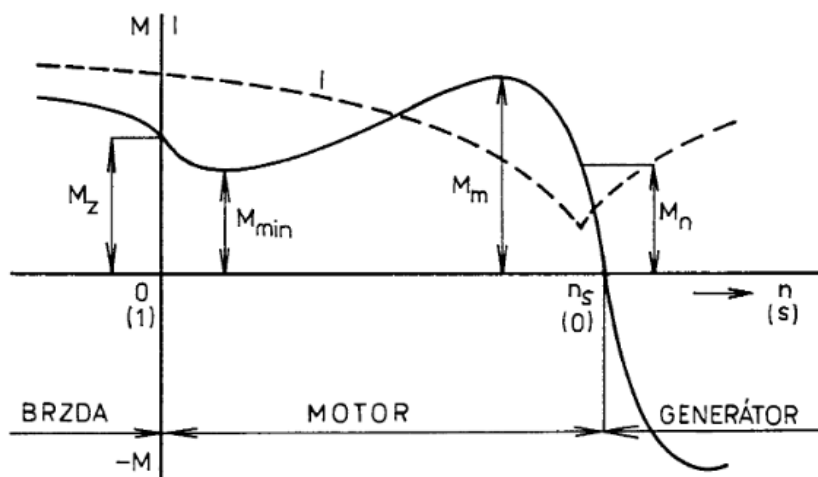
Jelikož u elektrovozidel bývá motor napájen stejnosměrným napětím z akumulátoru, je nutné tento proud přeměnit na střídavý. Nejjednodušším typem měniče pro asynchronní motory je střídavý měnič napětí, také nazývaný softstartér. Motor je připojen na trojfázovou soustavu. Ve všech částech napájecí fáze je umístěna antiparalelní kombinace tyristorů. Tyristory jsou fázově řízeny a díky tomu dochází ke změně efektivních hodnot napětí na svorkách motoru. Při tomto fázovém řízení je proud i napětí do značné míry harmonické. [9]



Obrázek 5 Schéma asynchronního motoru [10]

Asynchronní motory jsou oproti stejnosměrným menší a lehčí. Jednodušší konstrukce, robustnost a hraniční otáčky až  $20000 \text{ min}^{-1}$  patří mezi hlavní rozdíly. Podle pohybu rotoru vůči magnetickému točivému pólu rozdělujeme tyto motory na asynchronní a synchronní. S vysokou účinností je možné získávat energii zpět při brzdění. [11]



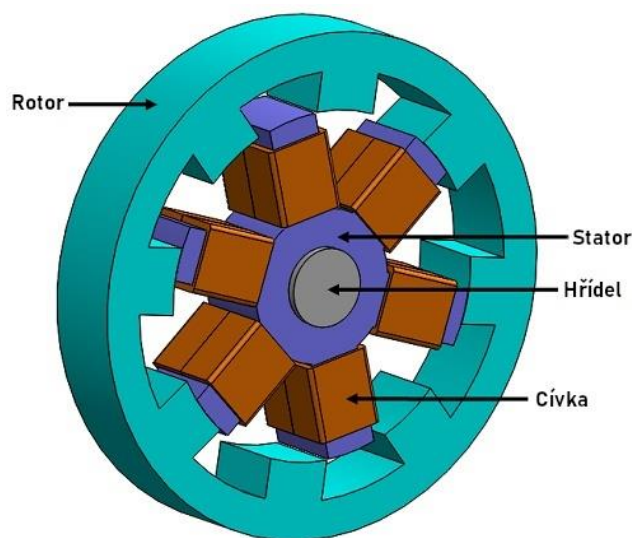


Obrázek 6 Momentová charakteristika asynchronního motoru v brzdě, motorické a generátorické oblasti [12]

U asynchronního motoru existují dva typy provedení rotorů: vinutý a klecový. Prvním typem je rotor vinutý. Vinutím protéká proud přes uhlíkové kartáče s příměsí mědi. Konstrukce vinutého rotoru se obvykle používá pro velké stroje, kde jsou kladeny vysoké požadavky na počáteční moment. Pro snížení startovacího proudu a současně i startovacího momentu se do okruhu rotoru může přidat externí odpor v podobě posuvného kroužku. Vinuté rotory mají ve srovnání s klecovými vysoký spouštěcí moment a nízký spouštěcí proud, navíc je možné regulovat pracovní podmínky. Klecový rotor se skládá z válcového jádra s rovnoběžnými drážkami pro vedení vodičů. Vodiče sestávají nejčastěji z měděných, hliníkových nebo bronzových tyčí. Výhodou klecového rotoru je nízká hluchost během provozu a generování rovnoměrného točivého momentu. Klecové rotory mají vyšší účinnost a jsou levnější než rotory vinuté. [11]

#### 2.1.4 RELUKTAČNÍ MOTOR

Reluktační motor je typ elektromotoru, který indukují nestálé magnetické póly na feromagnetickém rotoru. Rotor není opatřen žádným budícím vinutím a motor generuje točivý moment díky magnetické reluktaci [13]. „Magnetickou reluktací je možno definovat jako překážku, kterou magnetický obvod nabízí magnetickému toku“ [14]. Z hlediska provozu existují tři podtypy reluktačních motorů: synchronní, spínaný, krokový reluktační motor. Reluktační motory jsou schopny generovat vysoký výkon a díky tomu jsou vhodné pro mnoho aplikací. Po dlouhou dobu bylo jejich využití omezeno obtížností v řízení. Pomocí vestavěných systémů a mikrokontrolérů, které využívají řídicí algoritmy pro výpočty v reálném čase k přizpůsobení pohonu podle polohy rotoru a zpětné vazby proudu a napětí se docílilo jejich snadného řízení [13].



Obrázek 7 3D model střídavého reluktačního motoru [15]

#### Výhody reluktačních motorů:

- jednoduchá konstrukce bez kartáčů nebo komutátoru
- vysoká účinnost ve srovnání s konvenčními střídavými nebo stejnosměrnými motory
- vysoký rozběhový moment [16]

#### Nevýhody reluktačních motorů:

- nelineární točivý moment
- fázové přepínání musí být přesné, aby nedocházelo k zvlnění točivého momentu
- zvýšené emise hluku [16]

#### 2.1.5 TRANSVERSÁLNÍ MOTOR

Transversální motor je typ asynchronního motoru, který má svůj specifický tvar. Proud do rotoru je přiváděn v obvodovém směru a magnetický tok statoru je paralelní vůči ose rotoru. Synchronní motory jsou charakterizovány souhlasnou kruhovou frekvencí s obíhajícím magnetickým polem. Buzení má dva základní charaktery: elektrické a permanentní. V případě elektrického buzení je rotor vybaven vinutím, kterým protéká stejnosměrný proud, který je indukovan magnetickým polem. U této konstrukce je zajištěno široké rozpětí konstantního maximálního výkonu vlivem změny stejnosměrného proudu. Permanentní buzení nevyužívá přídavnou elektrickou energii v důsledku toho, že tento druh asynchronních motorů je opatřen permanentními magnety, které budí magnetické pole v rotoru. [1]

#### Výhody střídavých motorů:

- jsou bezúdržbové a mají jednoduchou konstrukci
- jsou robustní a mechanicky odolné
- mají vysoký rozběhový moment a pracují při vysokých otáčkách
- vysoce účinné, při plném zatížení se účinnost pohybuje mezi 85 a 97 % [17]

### Nevýhody střídavých motorů:

- při nízkém zatížení klesá účinnost motoru
- obtížná regulace otáček
- vysoké vstupní nárazové proudy způsobují snížení napětí při spuštění [17]

## 2.2 ENERGETICKÉ ZÁSObNÍKY PRO ELEKTRICKÉ POHONY

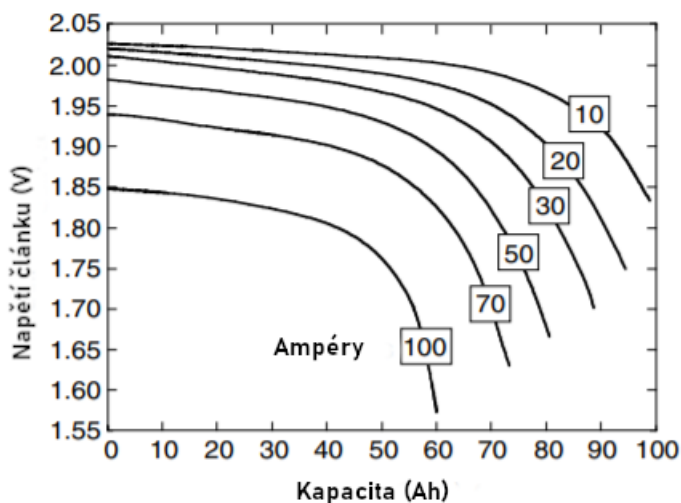
Slovo „energetický zásobník“ v této práci definuje zařízení určené k ukládání energie, dodává energii venku (vybíjením) a naopak přijímá energii z venku (nabíjením). Existuje několik druhů energetických zásobníků pro využití u elektrických a hybridních elektrických vozidel. Mezi hlavní patří hlavně chemické baterie, superkondenzátory a ultravysokorychlostní setrvačníky. Superkondenzátory a mechanické komutátory energie budou popsány v kapitole o hybridních vozidlech. Na trakční baterie využívané ve vozidlech jsou kladeny určité požadavky:

- měrná energie, měrný výkon, účinnost
- možnost rychlého nabíjení, životnost baterie
- bezúdržbový provoz
- výrobní cena
- šetrnost vůči životnímu prostředí

U elektrických vozidel je měrná energie baterie hlavním faktorem, který má vliv na dojezd vozidla. Na druhé straně pro aplikace u hybridních vozidel je měrná energie méně důležitá, protože hlavní část energie se získává ze zdroje energie, kterým je v tomto případě palivový motor nebo článek. Dodatečný výkon je potřebný zejména pro zvýšení výkonu vozidla při akceleraci (např.: stoupaní do kopce, předjíždění). Ovšem při vývoji hnacího ústrojí vozidla by měly být zohledněny i další požadavky. [18]

## 2.3 ELEKTROCHEMICKÉ BATERIE

Elektrochemické baterie, které jsou běžně označovány spíše jen jako „baterie“ jsou elektrochemická zařízení, která v průběhu nabíjení přeměňují elektrickou energii na potenciální chemickou energii. Při vybíjení se naopak přeměňuje chemická energie zpět na elektrickou. „Baterie“ se skládá z několika vzájemně propojených článků. Článek je samostatná jednotka, která má veškeré elektrochemické vlastnosti. Článek se skládá ze tří hlavních prvků: anoda, katoda, elektrolyt. Výrobci baterií obvykle specifikují baterii takzvanou coulometrickou kapacitou (ampérhodiny). Tato kapacita je definována jako počet ampérhodin získaných během vybíjení baterie z plně nabitého stavu, dokud svorkové napětí neklesne na své vypínací napětí. Je důležité poznamenat, že stejná baterie bude mít různý počet ampérhodin při odlišných vybíjecích proudových rychlostech. S vysokým vybíjecím proudem se kapacita snižuje. Tato závislost je zobrazena na obr. 8. [18]



Obrázek 8 Závislost napětí na kapacitě baterie [18]

### Měrná energie

Měrná energie je definovaná jako energetická kapacita na jednotku hmotnosti baterie (Wh/kg). energii v bateriovém článku lze vyjádřit volnou Gibbsovou energií v závislosti na molekulární hmotnosti reaktantů a produktů chemické reakce. Ideální materiály jsou tedy vysoce elektropozitivní a elektronegativní prvky, které mají zároveň nízkou atomární hmotnost. S ohledem na toto kritérium se volí chemické prvky, z nichž jsou vyrobeny elektrody baterie. Jako negativní reaktanty jsou nejlepší například: vodík, lithium nebo sodík. Síra, kyslík a halogeny jsou látky, které se hodí pro pozitivní reaktanty. Pro výrobu baterií je nutné zvolit vhodný pár materiálů pro výrobu elektrod, které musí mít optimální tvar. Zároveň je nezbytné zvolit správný typ elektrolytu s vysokou vodivostí a kompatibilitou s materiály elektrod. Hledání možných elektrodových párů vede ke studiu více než 30 různých bateriových systémů s cílem vyvinout spolehlivý, výkonný a levný zdroj energie pro trakční aplikace. [18] Měrná energie je v bateriových parametrech označena jako hustota energie.

### Měrný výkon

Měrný výkon je definován jako maximální výkon na jednotku hmotnosti baterie, který může baterie vyprodukovat v krátké době. Tento výkon je důležitý při snižování hmotnosti baterie zejména při aplikacích, které vyžadují vysoký výkon, jako jsou hybridní vozy. Měrný výkon chemické baterie závisí zejména na vnitřním bateriovém napětí. [18] Výrobci nazývají měrný výkon v parametrech baterií jako výkonová hustota.

V tabulce č. 1 jsou popsány základní vlastnosti jednotlivých druhů baterií včetně cen.

Tabulka 1 Přehled údajů jednotlivých typů baterií [18,19]

Typ baterie	Hustota energie	Výkonová hustota	Energetická účinnost	Životnost v cyklech	Samo-vybíjení	Cena
	[Wh/kg]	[W/kg]	[%]	[-]	[%/48 h]	[EUR/kWh]
Olovo	35-50	150-400	>80	500-1000	0.6	100-135
Nikl-železo	50-60	80-150	75	1500-2000	3	180-360
Nikl-kadmium	50-80	80-150	75	1000	1	220-320
Nikl-metal hydrid	60-120	250-1000	70	750-1200	6	180-320
Zinek-vzduch	100-220	30-80	60	600+	?	80-120
Zinek-bróm	70-85	90-110	65-70	500-2000	?	200-250
Sodík-síra	150-240	230	80	800+	0 <sup>a</sup>	220-420
Sodík-nikl	90-120	130-160	80	1200+	0 <sup>a</sup>	200-310
Lithium-železo	100-130	150-250	80	1000+	?	100
Lithium-iont	100-270	250-680	>95	600-3000	0.7	180

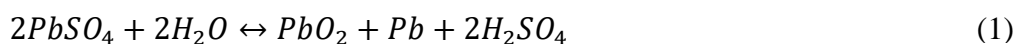
<sup>a</sup> Bez samovybíjení, ale nějaká energie je spotřebovaná na chlazení.

### 2.3.1 OLOVĚNÉ BATERIE

Baterie olověného typu se staly velmi komerčním výrobkem, který se používá téměř celé století a stále nachází široké uplatnění v oblasti automobilového průmyslu při skladování elektrické energie. Mezi hlavní výhody patří nízká cena, vyspělá technologie, relativně vysoká výkonová hustota a životnost. Vysoký výkon je hlavní kritérium pro použití u hybridních vozidel, a proto se tento typ baterií v těchto vozidlech často využívá. Cena použitých materiálů jako olovo, oxid olovnatý nebo kyselina sírová je ve srovnání s materiály u vyspělejších druhů baterií poměrně nízká. Olověné baterie naopak disponují nízkou hustotou energie kvůli vysoké molekulové hmotnosti olova. Další nevýhodou jsou horší teplotní vlastnosti. Pokud teplota klesne pod 10 °C, tak se výrazně sníží i měrný výkon a měrná energie baterie. Tento aspekt výrazně omezuje využití těchto akumulátorů ve vozidlech, které pracují v chladnějším podnebí. [18]

Přítomnost kyseliny sírové, která má vysoce korozivní vlastnosti, představuje potenciální bezpečnostní riziko pro cestující v případě havárie. Vodík, který se uvolňuje při samovybíjecí reakci, představuje další nebezpečí, protože tento plyn je vysoce hořlavý i v malých koncentracích. Olovo přítomné v elektrodách se kvůli své toxicitě špatně recykluje. [18]

Rovnice popisující vybíjecí a nabíjecí proces olověné baterie [1].



Pro elektrická vozidla a hybridní elektrická vozidla se vyrábějí různé druhy olověných baterií se zvýšeným výkonem. Ve vývoji bylo dosaženo vylepšení těchto akumulátorů, které disponují měrnou energií až 40 Wh/kg a možností rychlého nabíjení. Výrobou těchto pokročilých baterií se zabývá například firma Elecsources. Jejich baterie mají výborné vlastnosti a jsou šetrné k životnímu prostředí. Mezi další pokročilé technologie v oblasti olověných baterií patří bipolární konstrukce nebo konstrukce mikrotubulární mřížky. [18]

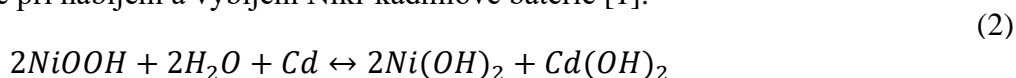
### 2.3.2 NIKLOVÉ BATERIE

Nikl je lehčí kov jako olovo a má dobré elektrochemické vlastnosti, které jsou požadované pro aplikaci v bateriích. Rozlišujeme 4 různé technologie, pokud jde o baterie na bázi niklu: nikl-železo, nikl-kadmium, nikl-zinek, nikl-metal hydrid. [18]

#### Baterie Nikl-kadmium

Anoda této baterie se skládá z kadmia a katoda z hydroxidu nikelnatého. Elektrolytem je v tomto případě hydroxid draselný. Tato technologie je široce rozšířená v aplikacích jako jsou přenosné počítače, fotoaparáty, mobily a využívá se i v oblasti elektrických vozidel a aeronautiky.

Reakce při nabíjení a vybíjení Nikl-kadmiové baterie [1].



Elektrolyt působí pouze jako vodič a nijak se významně nepodílí na reakci, proto ho není potřeba velké množství a tím je zajištěna nižší hmotnost baterie. Mezi výhody těchto článků patří jejich dobrý výkon při vysokém zatížení a možnost aplikace při nízkých teplotách. Nevýhody spočívají v tom, že jejich cena je vyšší než u olověných baterií a mají nižší hustotu výkonu. Nejznámějším omezením tohoto typu baterií je jejich možný paměťový efekt, při kterém si baterie zachovává vlastnosti předchozího cyklu. Tento efekt se nazývá termínem „dočasná ztráta kapacity“. K tomu dochází při dobíjení ne zcela vybité baterie. Za tento jev může hydroxid kadmia, který způsobuje pasivaci elektrod a následnou zkrácenou životnost baterie. [20]

#### Baterie Nikl-metal hydrid



Tento druh baterií má v porovnání s olověnými vyšší měrnou energii, která je v tomto případě až dvojnásobná a pohybuje se v hodnotách od 60 do 120 Wh/kg. Baterie jsou díky této vlastnosti lehčí a menší. Vyšší měrnou energii mají už jen baterie typu lithium-iont. Hlavní výhodou nikl-metal hydridových baterií je jejich životnost. Tento typ se velice osvědčil v elektrických vozidlech. Mnoho vozidel s tímto typem akumulátoru vydrželo být v provozu až 7 let. V zásadě jde o jediný typ baterií, které jsou považovány jako trvalé. (Lithium-iontové baterie slibují dlouhou životnost, ale je nutné vzít v potaz roky skutečného provozu). [21]

### 2.3.3 LITHIOVÉ BATERIE

Lithium je nejlehčí kov a z elektrochemického hlediska vykazuje velmi zajímavé vlastnosti. Tento materiál je schopen unést vysoké termodynamické napětí. Následkem toho má velmi vysokou měrnou energii a výkon. Existují dvě hlavní technologie: lithium-iont a lithium-polymer. [18]



Obrázek 9 Lithium-iontová baterie určená pro elektrický autobus [22]

#### Baterie Lithium-Polymer

Tato technologie využívá lithium a oxid interakčního kovu ( $M_yO_z$ ) pro zápornou a kladnou elektrodu. Tento interakční kov je charakterizován vrstevnatou strukturou, do které mohou být vloženy lithiové ionty nebo naopak odstraněny při výboji a náboji. Jako elektrolyt se používá tuhý polymer Athin, který nabízí zvýšenou bezpečnost a flexibilitu, co se týče designu baterie. [18]

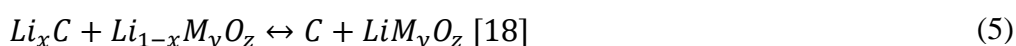
Elektrochemická reakce probíhá následovně:



Výhodou těchto baterií je nízká hodnota samovybíjení (asi 0.5 % za měsíc), možnost vyrábět baterie o různých tvarech, velikostech a jejich bezpečná konstrukce. Nevýhodou je relativně slabá nízkoteplotní výkonnost, která souvisí teplotní závislostí iontové vodivosti. [18]

#### Baterie Lithium-iont

V dnešní době patří mezi nejpoužívanější baterie typu lithium-iont. Podle některých výzkumů se jejich podíl na trhu odhaduje až na 90 %. Katoda tradiční lithiové baterie je vyrobena z oxidu lithia a kobaltu. Anoda je nejčastěji z grafitu. [23]



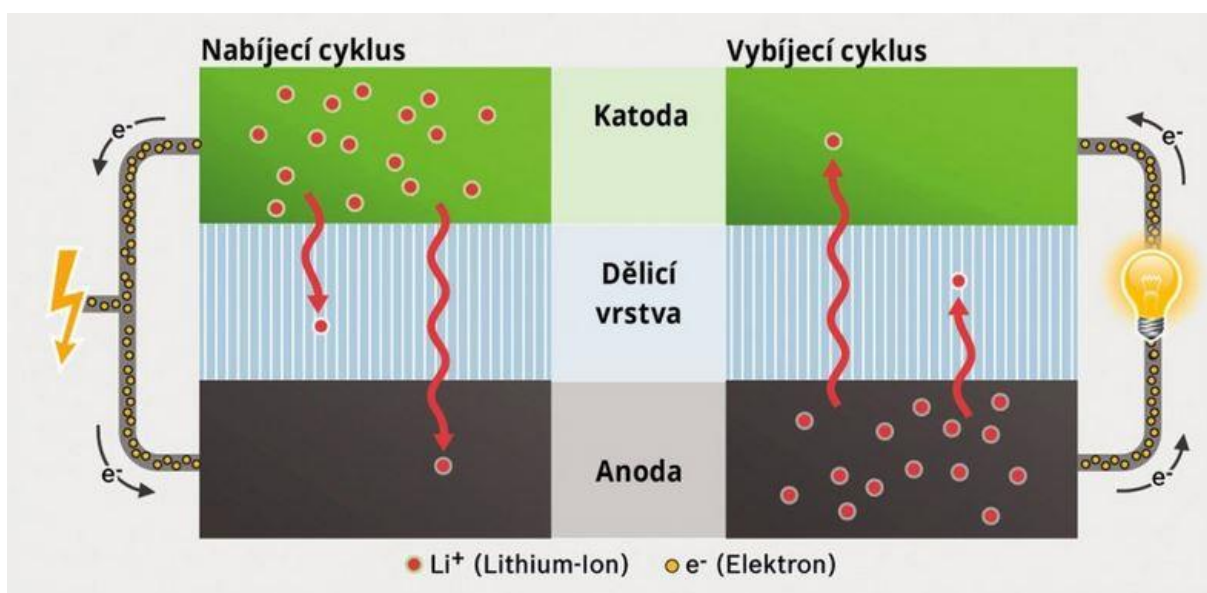
Tato technologie překonává nedostatky ve vlastnostech u jiných typů baterií. Tyto baterie jsou lehké a mají dobrou rychlost nabíjení. Největší výhodou je však hustota energie, která se pohybuje nad hodnotou 140 Wh/kg. Opět tato vlastnost vede ke snížení celkové hmotnosti baterie a tím i většímu dojezdu a výkonu vozidla. Ve srovnání s olověnými bateriemi jsou třikrát

lehčí, výkonnější a mají trojnásobnou životnost. Lithium-iontové baterie mají vysokou cenu, což je hlavní nevýhoda. Jejich výrobní náklady mohou být až o 40 % vyšší než výroba niklové baterie. Intenzivní výzkum této technologie však vedl ke snížení výrobních nákladů. Bezpečnost těchto baterií však zůstává velkým problémem, protože pokud dojde k přebíjení baterie a není zajištěn odvod tepla, může dojít k požáru nebo výbuchu. Z toho důvodu je do vozidel instalován pokročilý systém správy baterie, který monitoruje napětí a teplotu v každém článku. Navíc je sledován stav nabití i zdravotní stav baterie, což vede k zajištění bezpečného a spolehlivého provozu. [23]

### Princip nabíjení a vybíjení Lithium-iontové baterie

Při nabíjení se kladné lithiové ionty ( $\text{Li}^+$ ) uvolňují z kladné elektrody a vlivem opačného nabití druhé elektrody (anoda) jsou k ní přitahovány. Při tomto procesu dochází k včleňování lithiových iontů do struktury katody. Paralelně probíhá odebrání elektronů, které nabíjecí zdroj přesouvá do záporné elektrody. Zde probíhá interakce elektronů a iontů lithia. [24]

Průběh vybíjení je přesně opačný cyklus, kdy se ionty lithia přesouvají ze záporné elektrody do kladné a během toho mohou napájet externí spotřebič, v našem případě elektromotor [24].



Obrázek 10 Princip nabíjení a vybíjení Lithium-iontové baterie [24]



### 3 ELEKTRICKÁ VOZIDLA NA BATERIE

Bateriové elektrické vozidlo je vozidlo, které je poháněno výhradně elektrickou energií. Typicky je vybaveno jedním či více elektromotory, které jsou zásobeny energií uchovávanou v baterii. Elektronika převádí výstupní napětí baterie na střídavé napětí a reguluje napětí podle situace a vždy dodává motoru optimální proud a napětí. Plně elektrická vozidla mají velmi vysokou účinnost, která se pohybuje okolo 95 %. Další výhodou je, že produkují velmi malé množství škodlivých emisí a mají nízkou hladinu hluku. Mezi nevýhody je možné zařadit vyšší pořizovací cenu a omezený dojezd. [25]

#### 3.1 NISSAN E-NV200

Automobilka Nissan uvedla na jaře v roce 2018 dodávku s nulovými emisemi. Při konstrukci se spojily prvky charakterizující vozy Nissan NV200 a Nissan LEAF. Tento model se vyrábí ve dvou variantách jako pětidvéřový nebo sedmimístný. [26]

Toto vozidlo využívá dvě baterie. Jednou z nich je 12V baterie, která se využívá i ve vozidlech poháněných spalovacími motory. Druhou je vysokonapěťová Lithium-iontová baterie pro trakční motor, který pohání vozidlo. Tato baterie je uzavřena v ocelové skříni a je umístěna pod vozidlem. Pro dobíjení Lithium-iontové baterie je nutné využít dobíjecí stanici, krom toho může být však dobíjena i přeměnou hnací síly na elektřinu bržděním nebo při jízdě z kopce. Tento způsob se nazývá regenerativní nabíjení. [27]

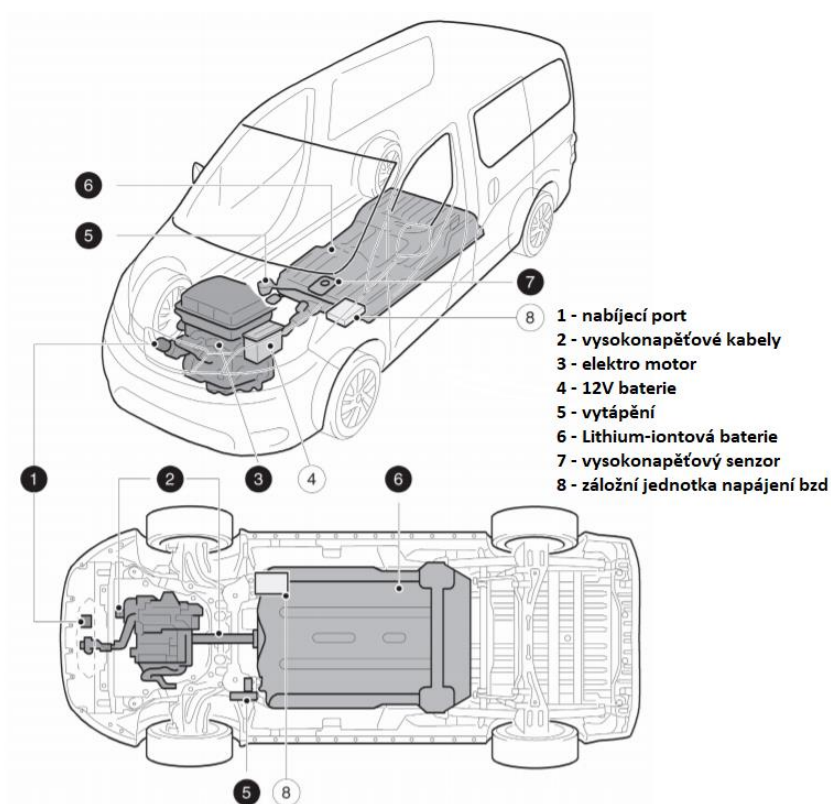


Obrázek 11 Nissan e-NV200 [28]

Pohonnou jednotku tvoří stejnosměrný motor s permanentními magnety o výkonu 80kW. Maximální točivý moment motoru je 254 Nm a rychlost je omezena na 123 km/h. Účinnost se pohybuje okolo 20 kWh/100 km. Výkon motoru je přenášen na přední nápravu pomocí jednostupňové převodovky, díky které je řízení jednodušší a bezpečnější. [29]

O uložení a výstup stejnosměrného napětí se stará Lithium-iontová baterie s kapacitou 40 kWh [29]. Celkové napětí baterie je 360 V a skládá se z 48 základních článků. Hmotnost baterie se pohybuje mezi 263-290 kg [28]. Baterie zaručuje dojezd až 280 km podle NEDC, pro větší přiblížení reálným podmínkám byl vůz testován podle WLTP a umožňuje na jedno nabití ujet

až 200 km. Standardní nabíječka o výkonu 3.6 kW dobije baterii asi za 8 hodin. Pokud je použita rychlonabíječka, trvá opětovné nabití z 0 na 80 % kapacity přibližně 30-35 minut. [30]



Obrázek 12 Konstrukce vozu Nissan e-NV200 [27]

### 3.2 POROVNÁNÍ S KONKURENČNÍMI VOZY

Tabulka 2 Porovnání užitkových vozidel s elektrickým pohonem [katalogy výrobců]

Model	Výkon motoru [kW]	Točivý moment [Nm]	Kapacita baterie [kWh]	Dojezd podle WLTP [km]	Nákladový prostor [l]	Pořizovací cena bez DPH [Kč]
Nissan e-NV200	80	254	40	200	2000	Od 1 012 770
Renault Kangoo Maxi ZE 33	44	225	33	230	1300	Od 704 900
Mercedes eVito	85	295	41	150	6000	Od 1025 000
MAN eTGE	100	290	35.8	110-115	10700	Od 1 700 000
Volkswagen e-Crafter	100	290	40	173	10700	Od 1 645 409

### 3.3 VOLVO 7900 ELECTRIC

V naší zemi se trh s čistě elektrickými autobusy teprve utváří, avšak v některých státech již probíhá testování a provoz těchto dopravních prostředků od nejrůznějších automobilek. Společnost Volvo Buses v roce 2015 představila elektronickou verzi svého známého autobusu s názvem Volvo 7900 Electric. Firma se zařadila mezi špičku ve výrobcích, kteří nabízejí autobusy poháněné čistě elektrickou energií. [31]



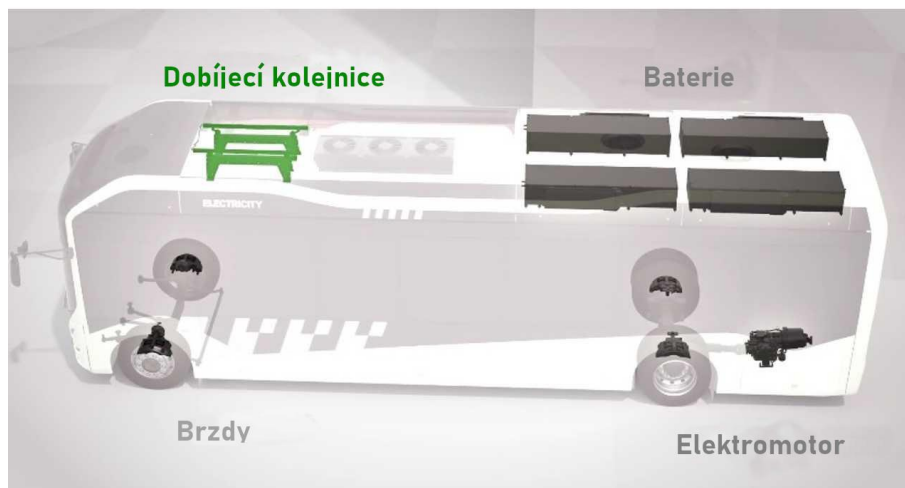
*Obrázek 13 Volvo 7900 Electric + nabíjecí stanice  
Opportunity charge [33]*

Jde o dvounápravový nízkopodlažní autobus s lehkou hliníkovou karosérií určený pro provoz ve městě. Vozidlo má celkovou délku 12 m, šířku 2.55 m a je vysoké 3.28 m. Celková hmotnost je 19 tun a vozidlo disponuje kapacitou, která je schopna pojmout až 105 cestujících. Pohonný celek tvoří elektromotor o výkonu 160 kW a točivém momentu 400 Nm, který s dvoustupňovou automatickou převodovkou zaručuje spolehlivou a bezpečnou jízdu. [31]

Zdrojem elektrické energie jsou vysokokapacitní lithium-iontové baterie. K dispozici jsou ve třech provedeních jako 150, 200 nebo 250 kWh. Baterie je chlazená vodou pomocí aktivního elektronického systému, který sleduje teplotu baterií. Energetická kapacita baterie je optimalizována podle podmínek a požadavků na energii. To umožňuje rychlé nabíjení, zároveň i zachování kompaktních rozměrů baterie. Akumulátory jsou umístěny v zadní části vozidla nad nápravou, v bloku rozděleném do čtyř polí. [32]

K dispozici jsou tři systémy nabíjení a doba nabíjení závisí na zatížení, klimatu a jízdním cyklu. Prvním typem je takzvaný „Volvo Opportunity Charging“. Tento systém je navržen tak, že je součástí běžných autobusových zastávek a je tvořen úplným rozhraním mezi energetickou sítí a vozidlem. Toto rozhraní je namontováno na střeše vozu, nad přední nápravou. Proces dobíjení je plně automatizován a doba trvání je asi 6 minut. Maximální dobíjecí výkon je 300kW. Mezi zbylé dva typy, patří nabíjení stejnosměrným a střídavým proudem o výkonech 150 a 11 kW. [32]

Na střeše vozidla je umístěna jednotka pro vytápění, větrání a klimatizaci o výkonu 28 kW [32]. Provozní dojezd elektrobuse se má pohybovat okolo 200 km na jedno nabití v závislosti na topografii a vnějších podmínkách [31]. Oficiální cena autobusu není nikde uvedena.



Obrázek 14 Schéma konstrukce autobusu [34]

### 3.4 TABULKA POROVNÁNÍ AUTOBUSŮ S ELEKTRICKÝM POHONEM

Tabulka 3 Porovnání základních parametrů elektrických autobusů od různých výrobců [katalogy výrobců]

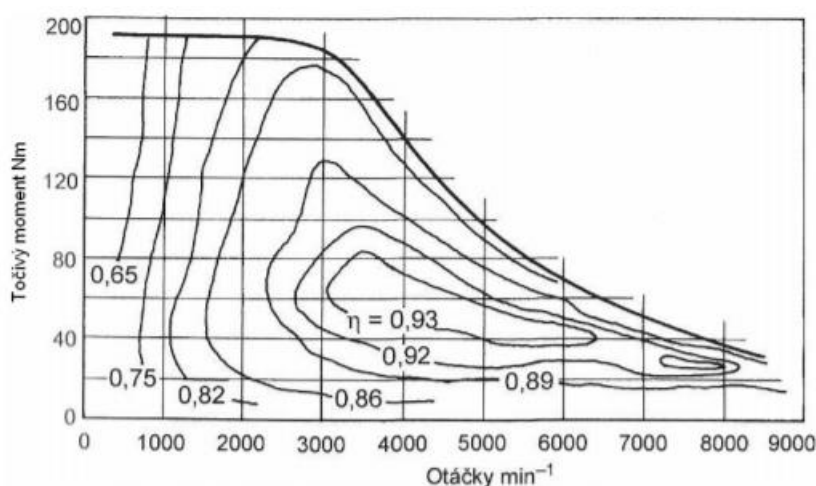
Model	Kapacita cestujících	Výkon motoru [kW]	Typ baterií	Kapacita baterií [kWh]	Dojezd na jedno nabití [km]
Volvo 7900 Electric	105	160	Li-ion	200	200
Škoda Perun HE	82	160	Li-Pol	222	150
Solaris Urbino 12 electric	99	2x125	Li-ion	240	200
Scania Citywide Electric Bus	95	250	Li-ion	250	150
Xcelsior Charge XE40	82	210	Li-ion	160	185

## 4 HYBRIDNÍ TECHNOLOGIE

Kombinace několika různých zdrojů energie pro pohon dopravního prostředku se označuje termínem hybridní pohon. Jako příklad lze uvést kombinaci spalovacího motoru a setrvačnicku nebo palivový článek společně s elektromotorem a akumulátorem. Nejčastější je však spojení spalovacího motoru a elektromotoru. Tato technologie se využívá zejména u hybridních automobilů. Tento typ pohonu využívá výhody a eliminuje nevýhody obou užitých technologií. Například řeší problém s omezenou kapacitou akumulátoru a redukování produkce spalinových plynů u spalovacího motoru. Ke spouštění spalovacího motoru dochází ve chvílích, kdy je potřeba vyšší výkon. Příkladem je jízda do kopce nebo rychlá akcelerace. Elektromotor se rozbíhá naopak při nižších rychlostech a při jízdě ve městech. [35]

Účinnost spalovacího motoru se pohybuje okolo 30-40 %. Tato hodnota je omezena účinností termodynamického cyklu. Cyklus je fyzikálně omezen a tím pádem se dá předpokládat, že se jeho efektivita ani v budoucnu nezvýší. Hodnota mezi 30-40 % je však udávána pro ideální podmínky, a tak v městském provozu se účinnost pohybuje pod 10 %. [36]

Současné elektromotory mají účinnost okolo 95 % v širokém rozsahu otáček. Jsou ekonomičtější, ale je nutné myslet na vysokou hmotnost akumulátoru, který je nutný pro jeho provoz. Limitující faktorem je tedy malý dojezd na jedno nabití. [35]



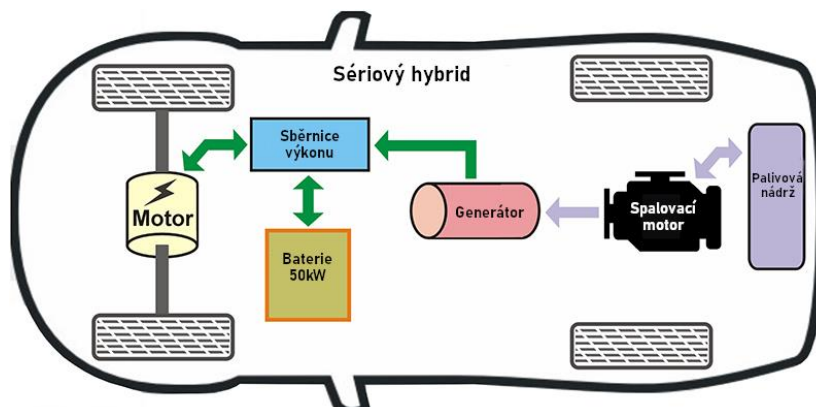
Obrázek 15 Pole účinnosti elektromotoru [36]

Hybridní vozidla se podle uspořádání hnacího ústrojí dají rozdělit do dvou hlavních skupin, sériové a paralelní.

### 4.1 SÉRIOVÉ USPOŘÁDÁNÍ

Struktura pohonného systému se skládá z elektromotoru a spalovacího motoru, které jsou zapojeny za sebou. Tento typ hybridních vozidel se občas označuje zkratkou REEV. Svou konstrukcí se tyto vozidla podobají čistě elektrickým. Spalovací motor má funkci generátoru energie pro elektromotor, popřípadě baterii. V případech, kdy je potřeba vysoký výkon, může pohonný systém odebírat energii z baterie i generátoru najednou. Počet elektromotorů bývá vyšší a závisí na druhu vozidla. Spalovací motor není napojen na kola, čímž se optimalizuje

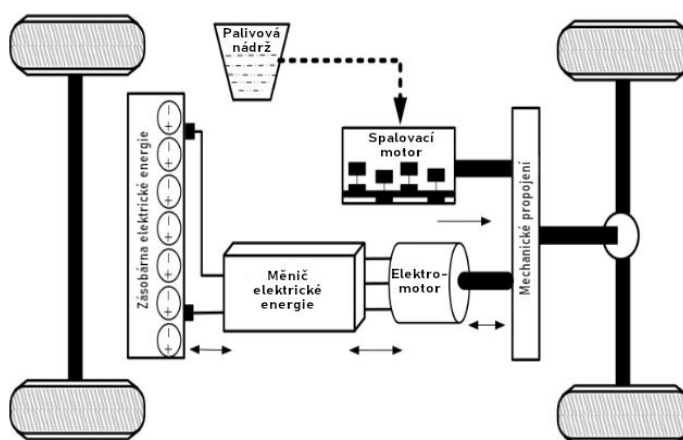
jeho efektivita a snižuje se spotřeba paliva. V tomto případě lze dosáhnout účinnosti až 37 % [37]. Sériové hybridy bývají nákladnější než paralelní z důvodu větší baterie a generátoru. Jejich účinnost je menší zejména při cestování vysokou rychlostí, například po dálnicích [38].



Obrázek 16 Sériové uspořádání hybridního pohonu [39]

## 4.2 PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ

V paralelní hybridní konfiguraci je tedy zapojení spalovacího motoru a elektromotoru paralelní a dodávají energii do náprav, jak je vidět na obrázku č. 16. Výkon elektromotoru a spalovacího motoru je sružen a skrze mechanickou převodovku převáděn na kola. Vozidlo může být poháněno jedním nebo oběma motory záraz, a to v kterémkoliv časovém okamžiku. Toto uspořádání využívá elektromotor pro provoz při nižších rychlostech a samostatně spalovací motor při rychlostech vyšších. Spalovací motor je tedy v provozu, kdy je jeho účinnost nejvyšší a tím lze dosáhnout nižší spotřeby paliva a snížení produkce emisních plynů. V případě stoupání do kopce nebo zrychlení se aktivují oba motory, aby se dosáhlo požadované dodávky energie. Když spalovací motor pracuje samostatně nebo v případě rekuperačního brzdění, může elektromotor fungovat jako generátor pro nabíjení baterie. [40]



Obrázek 17 Paralelní uspořádání hybridního pohonu [40]

## 4.3 DALŠÍ DĚLENÍ HYBRIDNÍCH VOZIDEL

### 4.3.1 MILD HYBRID

Ve skutečnosti mild hybridy mají s komerčními hybridy velmi málo společného a mají spíše blízko ke konvenčním automobilům s benzínovými motory. Mild hybridy jsou na druhé straně spektra a jsou klasifikovány jako benzínová elektrická vozidla. Rozsah toho jak moc nebo spíše jak málo vozidlo využívá elektrický pohon je definován slovem „mild“. Na rozdíl od klasického hybridu mild hybrid nemůže být poháněn jen elektromotorem. Benzínový motor zde provádí veškerou práci a elektrický motor slouží pouze k asistenci a jako posilovač energie. Výhodou je snížení spotřeby paliva vypínáním spalovacího motoru při brždění nebo jízdě. V závislosti na použité technologii jsou schopny některé mild hybridy zachycovat mechanickou energii při brždění. Jejich cena je nižší, protože nejsou tak sofistikované jako plně hybridní vozy. [41]

### 4.3.2 FULL HYBRID

Plně hybridní automobily jsou hybridní vozidla, která jsou poháněna spalovacím motorem a alespoň jedním elektrickým motorem. Díky vysokému elektromotorickému výkonu může elektrický motor plně pohánět vozidlo na kratší vzdálenosti bez podpory spalovacího motoru. [42]

### 4.3.3 PLUG-IN HYBRID

Co se týče technické stránky, tak se jedná o plně hybridizovaný vůz doplněný o další techniku. Rozdíl je, že u full hybridu se baterie dobíjí jen rekuperací energie při brždění nebo funkcí spalovacího motoru. Trakční baterie Plug-in hybridu může být dobíjena z dobíjecí stanice nebo zásuvky. Díky této funkci jsou schopny ujet až 50 km čistě elektrickým provozem bez nutnosti startování spalovacího motoru. Tato funkce se využívá hlavně ve městech, jelikož zde dochází ke snížení produkce emisních plynů. [43]

## 4.4 ENERGETICKÉ ZÁSOBNÍKY PRO HYBRIDNÍ POHONY

Spalovací motor využívá energii, která je přiváděna ve formě benzínového nebo naftového paliva. Elektromotor je poháněn elektrickou energií, která je umístěna v bateriích, vysokoenergetických kondenzátorech nebo v setrvačnicku. Setrvačník využívá nahromaděnou mechanickou energii a převádí ji na elektrickou. Mechanický setrvačník může být zkombinován přímo se spalovacím motorem. Druh použitého energetického zásobníku se volí podle koncepce pohonných komponentů, požadavků na energetickou hustotu nebo podle velikosti výkonové hustoty. [1]

Vzhledem k tomu, že elektrická a hybridní vozidla využívají start-stop systém, je profil vybíjení a nabíjení zásobníku velmi rozmanitý. Průměrný výkon požadovaný z energetického zásobníku je mnohem nižší než okamžitý výkon, který je potřebný pro zrychlení nebo pro stoupání do kopce. Energie podílející se na přechodech mezi zrychlením a zpomalením tvoří

ve skutečnosti dvě třetiny celkového množství energie během celkové doby provozu vozidla v městské dopravě. U hybridních vozidel je výkonová hustota důležitější než energetická hustota, a proto je požadováno, aby měl kondenzátor dostatečnou kapacitu a je omezeno jeho zmenšení. [18]

#### 4.4.1 BATERIE

Hybridní vozidla využívají baterie stejné technologie jako u čistě elektrických vozidel. Hlavním rozdílem je ale to, že baterie u hybridního vozu se nabíjí a vybíjí jen částečně oproti baterii u elektromobilu. Volba baterie závisí na koncepci celkového vozu. Pro vyšší dojezd se volí baterie, které mají vysokou energetickou hustotu, jako např. lithium-iontové. [1]

#### 4.4.2 SUPERKONDENZÁTORY

Superkondenzátory se vyznačují mnohem vyšší výkonovou hustou, ale mnohem nižší hustotou energie ve srovnání s chemickými bateriemi. Jejich hustota energie je v rozmezí několika watthodin na kilogram. Výkonová hustota však může dosahovat až 3000 kW/kg, což je mnohem více než u jakéhokoliv typu baterie. Vzhledem k nízké hustotě energie je jejich použití pro hybridní vozidla obtížné. Nicméně existuje mnoho výhod, které superkondenzátory poskytují při jejich funkci jako pomocného zdroje energie. Takový systém se nazývá: Hybridní akumulátorový systém se superkondenzátorem pro elektrické a hybridní vozy. Požadavky na hustotu energie a výkonovou hustotu lze oddělit, což dává možnost navrhnout baterii, která je optimalizována na co nejvyšší hustotu energie a životnost s malou pozorností na výkonovou hustotu. Díky účinku vyrovnávání zátěže superkondenzátoru se vysokonapěťové vybíjení z baterie a vysokonapěťové nabíjení pomocí rekuperace minimalizuje a tím se výrazně zvyšuje výdrž a životnost baterie. [18]

Technologie dvouvrstvého kondenzátoru je hlavním způsobem, jak dosáhnout konceptu superkondenzátoru. Dvě uhlíkové elektrody jsou od sebe odděleny a ponořeny do tenké vrstvy roztoku kyseliny sírové. Nabíjí se vzrůstajícím napětím z nuly na 1,5 V. Při hodnotě napětí přes 1,2 V se na povrchu obou elektrod objeví malá bublina, která indikuje elektrický rozklad vody. Pod tímto napětím, kdy proud neteče, se na hranici elektrody a elektrolytu objeví „elektrická dvojitá vrstva“. Elektrony jsou nabíjeny přes dvojitou vrstvu. Elektrická dvojitá vrstva funguje jako izolátor pouze pod dekompozičním napětím. [18]

Podle ministerstva energetiky USA pro zahrnování superkondenzátorů do elektrických a hybridních vozidel by měly být hustota energie a výkonová hustota větší než 5 Wh/kg a 500 W/kg. Pokročilé hodnoty výkonu by však měly být vyšší jak 15Wh/kg a 1600 W/kg. Dosud žádný z dostupných superkondenzátorů tyto cíle plně nesplňuje. Společnost Maxwell Technologies se zabývá výzkumem superkondenzátorů pro tyto aplikace a jejich superkapacitní články mají výkonovou hustotu 4300 W/kg a hustotu energie 4,3 Wh/kg. [19]



Tabulka 4 Porovnání výkonových parametrů olověné baterie a superkondenzátoru [36]

	olověná baterie	super-kondenzátor
nabíjecí doba [h]	1-5	0,3-30
vybíjecí doba [h]	0,3-3	0,3-30
hustota energie [Wh/kg]	10-100	1-10
výkonová hustota [W/kg]	<1000	<10 000
životnost [cykly]	1000	>500 000
účinnost nabíjení/vybíjení [%]	70-85	85-98

#### 4.4.3 MECHANICKÉ KOMUTÁTORY ENERGIE

Bez potřeby chemického procesu pro skladování energie může pracovat právě setrvačnick. Při brždění je kinetická energie ukládána do setrvačnicku a ta později slouží pro další jízdu. Setrvačnick má obvykle deskový tvar jako rotační těleso. Kapacita je omezena maximálními otáčkami. U setrvačnicků probíhá převod energie ve zlomku sekundy a oproti bateriím jsou v tomto ohledu rychlejší. Další výhodou je vysoká životnost a práce bez opotřebení. Kvůli vysokým silám, které na setrvačnick působí, musí být sestaven z pevnostní legované oceli. Správnou volbou ložisek je možno zvýšit výkonovou hustotu setrvačnicku. Setrvačnick nachází uplatnění hlavně u velkých vozidel (autobus, trolejbus) ale i osobních automobilů. [1]

Setrvačnick má tendenci se pohybovat stále stejným směrem vzhledem k tomu, že gyroskopický efekt zabráňuje natáčení osy rotace setrvačnicku. Toto způsobuje problémy hlavně při průjezdu vozidla zatáčkou. Tento problém částečně řeší vertikální osa rotace, a proto většina vozů má právě tyto upravené setrvačnický. Pro vyrušení gyroskopického momentu se používá dvojice setrvačnicků, které se otáčejí opačnými směry. Nevýhodou této koncepce je vysoké namáhání ložisek setrvačnicků. Byly provedeny testy, které naznačují, že trolejbusy opatřené setrvačnickem odebírají o 25 až 30 % méně energie ze sítě a odběr proudu při rozjezdu je o 50 % menší. Konkrétně magnetodynamický setrvačnick je schopen uložit energii až 2,5 kWh a umožňuje krátkodobý plný jízdní výkon. Na rovné dráze umožňuje dojetí dráhy až 3 km. [1]

Vozidlo se při chodu pohybuje různými směry, při těchto změnách se mění osa rotace setrvačnicku a vznikají dynamické jevy (precese, nutace). Tyto jevy negativně ovlivňují dynamické vlastnosti vozidla. Příhodné umístění osy setrvačnicku je napříč vozidla, protože v této poloze na setrvačnick nepůsobí žádné výše zmíněné dynamické jevy. Stále je ale nutné vyřešit další otázky: [1]

- plynová náplň setrvačnicku
- vnitřní chlazení setrvačnicku
- skříňové těsnění, aby nedocházelo ke ztrátám výkonu
- regulace systému a působení jednotlivých agregátů v tomto hybridním systému

Existuje systém hybridního pohonu, který využívá nízkootáčkový setrvačnick se zabudovaným elektromotorem, který je vybaven velkým rotorem. Tento motor pracuje jako generátor nebo přímo jako motor. Společně se trakčními bateriemi může být tento vůz provozován jako čistý elektropohon. Pokud je vozidlo v klidu, setrvačnick vyžaduje příkon, aby měl alespoň 1500 min<sup>-1</sup> a byl schopen po sešlápnutí spojky uvést vůz opět do pohybu. Pokud je toto zajištěno, nedochází k opoždění reakce vozu při systému start-stop. Klesá spotřeba paliva a měrná spotřeba. [1]

Velkokapacitní setrvačníky ( $>19\,000\text{ min}^{-1}$ ) jsou více technicky i finančně nákladné. Disponují ale vyšším využitím energie při brždění, redukuje opakované zapínání spalovacího motoru a poskytují větší rozsah jízdy jen na setrvačnick. Při odstavení vozidla se většina energie setrvačnicku ztrácí. [1]

#### 4.5 PROVOZNÍ REŽIMY HYBRIDNÍHO VOZIDLA

Jelikož jsou paralelní hybridní pohony více rozšířené než sériové, bude tato kapitola popisovat jejich činnost. Provoz vozidla je zajištěn několika provozními režimy. Zahrnují zejména: [18]

1. trakce spalovacím motorem
2. samostatná elektrická trakce
3. hybridní trakce (spalovací motor + elektromotor)
4. regenerativní brždění (rekuperace)
5. dobíjení baterie výkonem spalovacího motoru

Tyto režimy v průběhu provozu pracují tak, aby byly splněny požadavky na trakční výkon, dosažena co nejvyšší celková účinnost a došlo k obnovení co nejvíce energie. [18]

##### Trakce spalovacím motorem

Při požadavku na výkon, který je nižší než výkon, který může elektromotor generovat při provozu na jeho optimální provozní linii, Dochází k vypnutí elektrického systému a spalovací motor se stará o dodávání potřebného výkonu sám. [18]

##### Samostatná elektrická trakce

Když rychlost vozidla klesne pod spodní hranici, kde je spalovací motor schopen trvale pracovat, elektrický motor začne dodávat energii do náprav, zatímco je spalovací motor vypnutý nebo běží na volnoběh. Typickými příklady je jízda do kopce nebo zrychlení vozidla. [18]

##### Hybridní trakce

Pokud jsou požadavky na výkon vyšší, než je schopen jeden z motorů poskytnout, dochází k pohánění náprav oběma motory současně. V tomto případě je režim nastavení spalovacího motoru na jeho optimální operační linii řízen škrťící klapkou. Zbývající spotřeba energie je zajištěna elektromotorem. [18]

##### Samostatné regenerativní brždění

V případě, že při brždění vozidla je požadovaný brzdový výkon nižší než maximální regenerativní brzdový výkon, který může elektrický systém dodávat, je elektrický motor ovládán tak, aby fungoval jako generátor pro výrobu brzdné síly, která se rovná přikázané brzdné síle. V tomto případě je spalovací motor vypnut, nebo je nastaven na volnoběh. [18]

### Hybridní brzdný režim

Pokud je požadovaný brzdný výkon vyšší než maximální regenerativní brzdný výkon, pak musí dojít k sepnutí mechanické brzdy. Zde elektrický motor vytváří maximální regenerativní brzdný výkon a mechanický brzdový systém zpracovává zbývající část. [18]

### Dobíjení baterie výkonem spalovacího motoru

Jestliže je požadavek na výkon nižší než výkon, který může motor generovat při provozu na jeho optimální provozní linii tak v tomto případě je elektromotor řízen svým regulátorem tak, aby fungoval jako generátor, který je poháněn nadbytečným výkonem spalovacího motoru a dochází k dobíjení trakční baterie. [18]

## 4.6 START-STOP SYSTÉM

Hojně využívanou technologií v hybridních vozech je takzvaný „start-stop“ systém. Jde o nízkonákladovou metodu za účelem snížení spotřeby paliva a produkce spalinových plynů. Systém vypne spalovací motor, když se vozidlo zastaví na semaforu nebo při popojíždění v kolonách, kde by vozidlo jelo na volnoběh minimálně 3-5 sekund. Jakmile je vozidlu umožněno pokračovat v jízdě, motor se automaticky nastartuje. Elektronická jednotka určuje vhodný čas k vypnutí motoru na základě dat z různých senzorů. Přítomnost start-stop systému může snížit emise skleníkových plynů o 5-7 %. V současné době je k dispozici u většiny hybridních vozidel. Systém sleduje stav nabití baterie, aby bylo zajištěno, že motor lze znovu nastartovat. Dále je kontrolována teplota motoru, aby se předcházelo studeným startům. To zajišťuje úplné spalování a optimální provoz katalyzátoru, čímž dochází ke snížení emisí. [44]

## 5 VOZIDLA S HYBRIDNÍM POHONEM

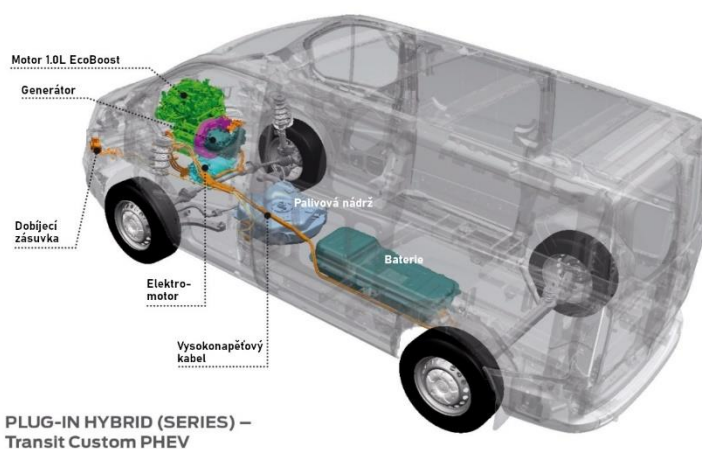
### 5.1 FORD TRANSIT CUSTOM PLUG-IN HYBRID

Kvůli vysokým požadavkům na výkon a dojezd v této vozové kategorii stále převládá klasická benzínová motorizace. V současné době se trend ubírá spíše směrem čisté elektromobility. Dosud je tedy představeno jen velice málo užitkových vozů s hybridním pohonem, a tak se toto odvětví teprve utváří. Hlavní roli může také hrát vysoká pořizovací cena v porovnání s benzínovými variantami. Jedním z výrobců, co představil vozy této kategorie a s příslušnou motorizací je firma Ford.

Automobilka Ford představila dva modely užitkových vozů, které vyrábí i ve variantě s hybridním pohonem. Jde o modely Transit a Tourneo. Tyto vozy jsou jedinými ve své kategorii, které lze objednat v České republice. Co se týče technologií a vybavení, jsou vozidla téměř totožná, a proto bude dále popsán model Transit. Ford Transit Custom Plug-in hybrid byl představen v roce 2019 a dostupný bude v České republice v polovině roku 2020. [45]

Jde o sériový typ hybridu, kde přední náprava je poháněna výlučně elektromotorem o výkonu 92 kW, který je napájen z vysokonapětového lithium-iontového akumulátoru o kapacitě 13,6 kWh. Součástí pohonné jednotky je také zážehový agregát 1.0 EcoBoost a vůz je vybaven automatickou převodovkou. Spalovací motor slouží k prodloužení dojezdu v případě vybití baterie. Spotřeba paliva v kombinovaném režimu je 2,7 l/100 km podle NEDC, spotřeba CO<sub>2</sub> 60 g/km a spotřebou elektřiny 17,4 kWh/100 km. Celkový dojezd přesahuje hodnotu 500 km. [45]

Akumulátor je umístěn pod podlahou v zadní části vozu, aby byl zajištěn co největší užitkový prostor. Transit Custom Plug-in Hybrid nabízí stejně velký nákladový prostor jako běžné varianty – 6,0 m<sup>3</sup> a užitečné zatížení je 1130 kg. Akumulátor je chráněn zárukou na osm let nebo na 160 000 km. Motorizace u osmimístního velkoprostorového modelu Tourneo je totožná. [46]



Obrázek 18 Ford Custom Plug-in Hybrid uspořádání komponent [48]

Lithium-iontový akumulátor je možno nabíjet přes vstup, který je zabudovaný v předním nárazníku pomocí dobíjecí stanice na střídavý proud, kdy doba nabíjení je asi 2,7 hodin. Další možností je domácí zásuvka, ze které se automobil zcela nabije za 4,3 hodin. Akumulátor se ale v průběhu jízdy dobíjí také rekuperací energie při jízdě na volnoběh nebo při zpomalování. Pro vyšší možnost rekuperace jsou k dispozici režimy Drive a Low na voliči převodovky. V módu Low dochází při uvolnění akcelérátoru k výraznějšímu zpomalování a tím i vyšší rekuperaci. [46]

Pro možnost dobíjení akumulátoru lze vybrat ze čtyř režimů jízdy:

1. EV Auto – základní nastavení. Řídící jednotka rozhoduje o využívání jednotlivých zdrojů energie, aby došlo k optimální kombinaci výkonu a účinnosti.
2. EV Now – upřednostňuje využití energie uložené v akumulátoru a deaktivuje prodloužení dojezdu, dokud úroveň nabití nedosáhne minima.
3. EV Later – upřednostňuje prodlužovač dojezdu a využívá regenerativní nabíjení, aby docházelo k udržování aktuální úrovně nabití baterie.
4. EV Charge – využívá prodlužovač dojezdu k pohonu vozidla a doplnění kapacity baterie, aby se poté mohl vůz přepnout do režimu EV Now. [47]

Vůz je schopen jízdy čistě na elektrický pohon, kdy nedochází k produkování emisních plynů. Dojez na elektřinu je až 56 km dle NEDC [46].



Obrázek 19 Ford Tourneo Custom Plug-in Hybrid [49]

**Přehled rozdílů pořizovací ceny u výše zmíněných vozů podle typu motorizace***Tabulka 5 Cenové porovnání jednotlivých modelů [katalogy výrobců]*

Model	Motorizace	Cena v ČR bez DPH
Ford Transit Custom Plug-in hybrid	elektromotor 92 kW/126 k	1 030 800 Kč
Ford Transit Custom Van	2.0 EcoBlue 96 kW/130 k	768 400 Kč
Ford Tourneo Custom Plug-in hybrid	elektromotor 92 kW/126 k	1 172 700 Kč
Ford Tourneo Custom	2.0 EcoBlue 136 kW/185 k	987 300 Kč
Ford Tourneo Custom	2.0 EcoBlue mHEV 96 kW/130 k	870 650 Kč

V tabulce můžeme vidět cenový rozdíl mezi vozy, které mají stejnou konfiguraci a velikost karosérie. Je zde uveden jak model Transit, tak i model Tourneo. V obou případech hybridní varianta pohonu je více nákladná. U modelu Transit je tento rozdíl 262 400 Kč. Hybridní verze modelu Tourneo je oproti své čistě benzínové verzi dražší o 185 400 Kč, ale výkon benzínové verze je daleko vyšší než v případě hybridu. Pokud bychom chtěli srovnávat stejně výkonné verze, tak model Tourneo se vyrábí ve třetí variantě jako mild hybrid. Jak už bylo výše zmíněno, tyto vozy se ale zařazují spíše mezi benzínová vozidla, a proto zde tento typ nebyl více popsán. Cenový rozdíl mezi mild hybridní verzí a plug-in hybridem je 302 050 Kč. Tyto rozdíly tvoří více jak třetinu pořizovací ceny klasických benzínových verzí, a proto je možné, že skupina uživatelů, na kterou tyto vozy cílí, radši upřednostní levnější benzínovou variantu například s vyšším výkonem.

**5.2 IVECO URBANWAY HYBRID HIGH VALUE**

Firma Iveco se již dlouhou dobu zabývá vývojem a produkcí autobusů využívajících nejrůznější druhy motorizací. Velkým odvětvím jsou i hybridní autobusy. V roce 2014 byl představen první hybridní Urbanway a nyní výrobce nabízí dva typy hybridních vozů, a to Urbanway Full Hybrid a Urbanway Hybrid High Value. Jednotlivé verze se od sebe liší řešením elektromotoru a uložištěm elektrické energie. Plně hybridní verze je vybavena asynchronním motorem o výkonu 175 kW a lithium-iontovými bateriemi na bázi článku LiFePO<sub>4</sub>. Oba typy jsou řešeny jako sériové hybridy. Tato kapitola bude dále věnována verzi High Value, protože přímo tento vůz byl od začátku roku 2020 testován dopravním podnikem města Brno. [50]



Obrázek 20 Iveco Urbanway Hybrid High Value [50]

Délka vozu je 12 m, šířka karosérie je 2,5 m a provozní hmotnost 12 860 kg [51]. Autobus se vyrábí ve dvou variantách jako dvoudveřový a třídvěřový. V třídvěřové variantě klesne počet míst k sezení z 36 na 31 [52].

Tento model disponuje ocelovou konstrukcí a bočními panely z hliníku. Jako generátor energie slouží motor Iveco TECTOR 7 EURO VI. Jde o dieselový vertikální motor se šesti válci v řadě o zdvihovém objemu 6,7l. Výkon motoru je 210 kW a krouticí moment 1000 Nm při 1200 min<sup>-1</sup>. S dieselovým motorem je spojený bezakumulátorový generátor s trvalým magnetem, který plní funkci startéru. [52]

Elektromotor, který obstarává veškerý pohon, má maximální výkon 195 kW a krouticí moment 1534 Nm. Jde o elektromotor s permanentními magnety. Jako uložisko energie v tomto případě slouží superkondenzátor o kapacitě elektrické energie 0,82 kWh. K dobíjení dochází pomocí elektromotoru rekuperací při brzdění. Kryt superkondenzátoru má v sobě zabudované konvenční chlazení. [52]

Jak již bylo zmíněno, i model High Value je řešený jako sériový hybrid bez převodovky a sestupného úhlového převodu. Elektromotor běží neustále, zdrojem elektrické energie je superkondenzátor a po vyčerpání energie se zapíná dieselový motor. [52]

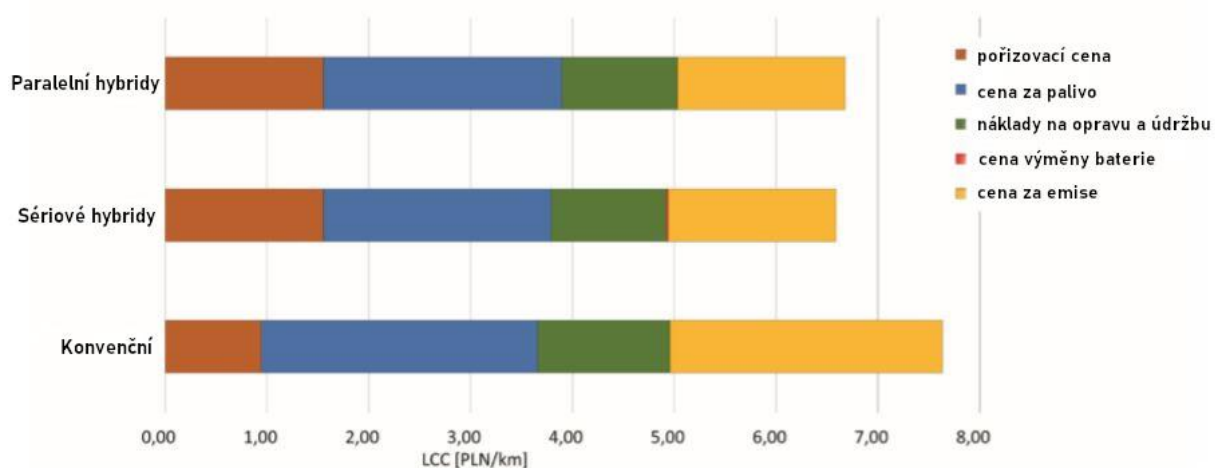
### 5.3 SROVNÁNÍ NÁKLADŮ NA PROVOZNÍ CYKLUS KONVENČNÍCH A HYBRIDNÍCH AUTOBUSŮ

Použitá metoda zjišťování nákladů na provozní cyklus (anglicky: life cycle cost methodology) se zaměřuje na pochopení všech ekonomických aspektů městských autobusů, které jsou vybaveny různými typy pohonů. Tato analýza poskytuje kompletní součet nákladů, které souvisejí s provozem, pořízením, opravou a údržbou autobusu. Metoda umožňuje zohlednit všechny náklady i během životnostního cyklu vozidla a vytváří ucelenou informaci pro výsledné nákupní rozhodování. Kromě ekonomických faktorů se může tato metoda rozšířit

o environmentální aspekty. Mezi ně patří například produkce skleníkových plynů. Úroveň přesnosti této metody se odvíjí od ceny paliva, provozního cyklu, jízdních podmínek (např. provoz v centru města, předměstí nebo dálnice), dále velkou roli hrají ujeté kilometry za rok. Důležitým kritériem je samozřejmě také druh vozidla, jelikož vozy s alternativními pohony vyžadují specifické typy součástí a materiálů. Podle některých analýz bylo zjištěno, že nejvyšší náklady na provozní cyklus mají oproti ostatním typům pohonů autobusy, které jsou vybaveny vodíkovými články. Důvodem je nákladná výstavba vodíkových čerpacích stanic. [53]

Analýza se vztahuje na městské autobusy se třemi typy pohonných systémů: paralelní, sériový hybrid a konvenční dieselový pohon. Jsou zde zahrnuty i náklady na nákup, náklady na opravu a údržbu, náklady na palivo, náklady na výměnu baterií u hybridních autobusů a náklady na emise. [53]

Výsledky vychází z ročních ujetých kilometrů (60 000 km) a průměrné životnosti vozidel 15 let. Hodnoty byly zpracovány pro polské město Kielce. Do výpočtů byly zahrnuty náklady na výměnu baterií u hybridních autobusů. [53]



Obrázek 21 Grafické znázornění poměrů nákladů na provozní cyklus [53]

Tabulka 6 Výsledky metody nákladů na provozní cyklus [53]

	konvenční pohon	sériový hybrid	paralelní hybrid
průměrná spotřeba paliva [l/100 km]	60,3	49,7	52,0
pořizovací náklady [PLN]	850 000	1 400 000	1 400 000
náklady na opravu/údržbu [PLN/rok]	68 000	77 000	77 000
cena baterie [PLN]	-	15 120	2 520
kapacita baterie [kWh]	-	10,8	1,8
cena za 1 kWh [PLN]	-	700	700
počet výměn baterie za provozní cyklus	-	2	2

\*1 PLN = cca 6 Kč



Studie ukázala, že autobusy s hybridním pohonem mají nižší náklady na provoz než autobusy s konvenčním dieslovým pohonem. Nejnižší hodnota metody provozního cyklu byla určena u sériových hybridních vozů. V porovnání s konvenčními autobusy mají hybridní přibližně o 40% nižší náklady na emise, což je spojeno s jejich nízkou produkcí. Však z ekonomického hlediska je nákup hybridních a dalších vozů s alternativními pohony výrazně dražší než u klasických dieslových autobusů. Řešením mohou být vládní dotace nebo externí financování vozidel s nízkou produkcí emisí. [53]

## ZÁVĚR

Hledání alternativních zdrojů pohonů je do budoucna jednou z hlavních otázek, kterou je nutno vyřešit, jelikož zásoby fosilních paliv jsou neobnovitelné. Tento fakt zasahuje všechna průmyslová odvětví, a proto už několik let probíhá intenzivní výzkum a inovace v oblasti energetiky s cílem zajištění produkce energie bez nebo s co nejmenší spotřebou fosilních paliv. Trvale udržitelný rozvoj, který s tímto tématem úzce souvisí, pracuje s myšlenkou zajištění životního prostředí pro budoucí generace. Současná produkce skleníkových plynů jako například CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a NO, které vznikají spalováním fosilních paliv, je velmi vysoká a vede k nejrůznějším globálním problémům jako je oteplování vlivem skleníkového efektu nebo zhoršování kvality ovzduší. Jelikož se mezi hlavní producenty těchto plynů řadí energetický a dopravní průmysl, tak právě z toho důvodu zde probíhá v posledních letech snaha o minimalizaci produkce těchto škodlivých plynů. Od roku 2000 emise produkované dopravním průmyslem stále rostou. V roce 2019 meziročně vzrostly o 2,8 %, což odpovídá půl milionu tuny CO<sub>2</sub> [54]. Alternativní pohony, použité v užitkových vozech a autobusech usilují o ekologičtější provoz a zároveň o zachování výkonnostních specifikací ve srovnání s konvenčními benzinovými motory.

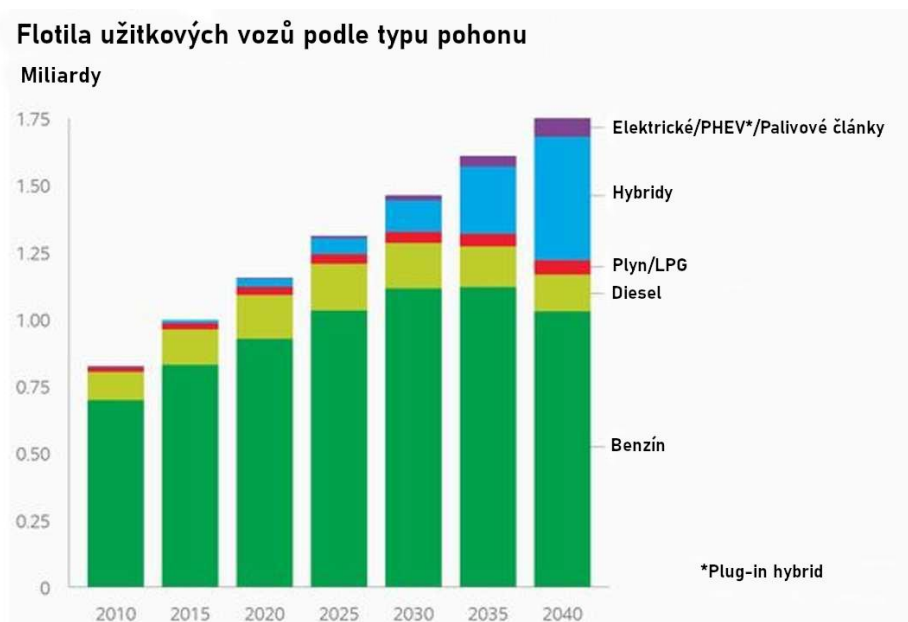
Čistě elektrický pohon definují dvě hlavní součásti – elektromotor a baterie. Na dojezd a účinnost provozu vozidla mají vliv obě komponenty. Podle toho, jak je elektromotor schopný přeměnit elektrickou energii na mechanickou se určuje jeho účinnost. Účinnost elektromotorů je daleko větší, jak účinnost klasického spalovacího motoru. Mezi nejpoužívanější motory pro trakční aplikace se v dnešní době řadí asynchronní a stejnosměrné. Jejich hlavní rozdíl je v konstrukci. Rotor stejnosměrného motoru je tvořen permanentním magnetem. Asynchronní motor má naopak rotor nemagnetický, v tomto případě je tvořen cívkami. Obě dvě konstrukce motorů mají svoje výhody a nevýhody. Stejnosměrné motory jsou omezeny provozním počtem otáček a účinností, která je nižší než u asynchronních. Výhodou je jejich nízká cena. Asynchronní motory mají dobrou účinnost, pracují při vysokých otáčkách a jsou takřka bezúdržbové. Úplně nejběžnějším motorem pro trakční aplikace je stejnosměrný motor bez kartáčů s permanentním buzením.

V oblasti baterií probíhá velmi intenzivní výzkum, který se snaží vylepšit a více zefektivnit stávající technologie. U elektrických vozidel hraje také velkou roli celková hmotnost. V tomto případě největší podíl hmotnosti tvoří právě bateriový systém. Články typu Lithium-iont vynikají nad ostatními svojí vysokou hustotou energie, která v důsledku vede ke snížení jejich hmotnosti. Výrobní náklady se vlivem vývoje stále snižují. Při provozu je však nutné monitorovat napětí a teplotu článků. Tento typ baterií je nyní nejpoužívanější jak už v elektrických vozech, tak i v hybridech. Mezi další často používané typy lze zařadit NiMH baterie, které disponují výbornou životností a olověné baterie. Důležitým aspektem je recyklovatelnost, šetrnost vůči životnímu prostředí a snaha o snížení spotřeby vzácných kovů. Čínská společnost Svolt, která se zabývá vývojem baterií pro automobilový průmysl, představila baterie, které na rozdíl od stávajících typů nevyužívají kobalt. Jejich hustota energie je ještě vyšší jak u lithiových baterií a slibují vysoký dojezd a dlouhou životnost. Baterie mají být uvedeny na trh v průběhu roku 2021 [55].

Hybridní pohony se také snaží o snížení spotřeby paliva a minimalizaci produkce výfukových plynů. Dosahují toho kombinací spalovacího a elektrického motoru. Z hlediska konstrukce lze rozlišit dva druhy: sériové a paralelní hybridy. V práci byly představeny příklady vozidel se sériovým zapojením. Jejich provoz se podobá spíše elektrickým vozidlům, jelikož spalovací motor má v tomto případě funkci generátoru a není spojen s nápravou. Z ekonomického

hlediska jsou tyto vozy nákladnější než paralelní z důvodu vyšších nákladů na baterii, která je zde větší než u druhého typu. Spalovací motor zde pracuje za optimálních podmínek a tím se snižuje produkce skleníkových plynů. Technologie sériových hybridů má lepší účinnost při nízkých rychlostech a z toho důvodu, se více využívá v konstrukci autobusů. Trh s osobními a užitkovými vozy se nyní ubíhá spíše elektrifikovaným směrem, a proto je možné, že výrobci u svých modelů upřednostňují sériovou konstrukci nad paralelní.

Při provozu využívají hybridy další mechanismy ke snížení spotřeby a celkovému ekologičtějším chodu. Sem patří hlavně funkce regenerativního brzdění, kdy elektrický motor generuje brzdou sílu nebo dobíjení baterií výkonem spalovacího motoru, který dodává nadbytečný výkon elektromotoru a ten generuje proud, kterým se dobíjí baterie. V neposlední řadě se do většiny hybridních vozidel instaluje systém start-stop, který vypíná spalovací motor při čekání na křižovatce nebo při popojíždění v kolonách. Tento systém snižuje emise skleníkových plynů až o 7 %.



Obrázek 22 – Předpoklad podílů jednotlivých druhů pohonů užitkových vozů [56]

Trh se v dnešní době začíná pomalu přeorientovávat směrem k alternativním druhům pohonů. Nicméně v časovém horizontu příštích deseti let si pravděpodobně podíl s benzínovými a diesellovými pohony bude stále udržovat svoji hodnotu, zatím co podíl elektrických a hybridních vozů bude růst velmi pozvolna.

Limitujícím faktorem zůstává cena, která hlavně v případě užitkových automobilů hraje velkou roli. Příkladem může být užitkový vůz MAN TGE, který v diesellovém provedení stojí 606 300 Kč. Elektrická verze startuje na ceně 1 700 000 Kč. Cena je tedy téměř trojnásobná. Tyto druhy vozidel cílí na skupinu uživatelů, kterou tvoří například zámečníci nebo údržbářské firmy a pro většinu těchto zákazníků je pořizovací cena hlavní kritérium.

Řešením vysoké pořizovací ceny by mohly být státní dotace. V České republice byl odstartován projekt nízkouhlíkových dotací. V rámci tohoto programu, který se vztahuje na firmy, by měla podpora na pořízení elektrických vozů a nabíječek tvořit až 75 % výdajů, pokud se jedná o malé firmy. V případě velkých podniků je tato dotace přibližně 55 % výdajů. Tato čísla jsou platná

pro roky 2019 a 2020 [57]. Největší podíl elektrických automobilů mají severské státy, zejména Norsko podporuje elektrická vozidla již několik let. Většina prodaných vozidel v Norsku je importována a vázala se na ně 25% spotřební daň. Tato daň byla roku 1990 zrušena pro všechna elektrická vozidla [58]. Další úlevou je například parkování na jakémkoli místě zdarma. Bylo však dokázáno, že chladné počasí v těchto státech snižuje rychleji kapacitu baterií a je nutné do vozidel instalovat vyhřívací systémy na udržení teploty baterie, čímž klesá efektivita provozu.

Při zanedbání této výrazné cenové odlišnosti je tu otázka nabíjecí infrastruktury. Benzínové stanice jsou běžně dostupné po celé České republice. Síť dobíjecích stanic pro elektrická vozidla se stále buduje, avšak nyní její hustota není dostačující. Pohodlí, které zajišťuje benzínová stanice, kdy během několika minut může řidič pokračovat v cestě, se snaží vynahrazovat takzvané „rychlónabíječky“. Těchto rychlónabíjecích stanic je v České republice jen asi 150. Doba nabíjení pomocí této nabíječky trvá okolo třiceti minut a počet přípojek v jedné stanici je omezen. Je tedy jasné, že dosavadní infrastruktura není připravena na hromadný přechod na elektrické pohony. Rychlónabíjení má bohužel z dlouhodobějšího hlediska negativní vliv na životnost baterie a nabíjení v klasickém režimu trvá řádově několik hodin.

Jak je vidět na obr.21, hybridní pohony jsou kompromisem, který zajišťuje nižší provozní náklady než konvenční benzínové/diesellové motorizace tyto úspory však do jisté míry kompenzují vyšší pořizovací cenu. Celkově vzato ale hybridní vozidla jsou úspornější a méně zatěžují životní prostředí. Jak již bylo výše zmíněno, hmotnost hraje velkou roli a v případě hybridů to není výjimkou. Tato vozidla na rozdíl od čistě elektrických disponují palivovou nádrží. Ať už jede vozidlo na elektrickou energii nebo na benzín, vždy je zde nějaká hmotnost navíc, která ovlivňuje dojezd.

Celkově vzato, ať už se jedná o elektrické či hybridní pohony v užitkových vozech a autobusech, je možné zde sledovat několik směrů ve vývoji: prodlužování dojezdu zejména inovacemi energetických zásobníků paralelně se snižováním celkové hmotnosti. Přizpůsobování výrobních nákladů tak, aby se tato vozidla stala atraktivními pro co největší množství zákazníků (dopravních podniků). Zmíněné autobusové pohony jsou zejména vhodné pro dopravní systémy, které jsou součástí velkých měst se zhoršenou kvalitou ovzduší.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [2] KLÜSER, Ruth. Electromobility. *OSH WIKI: Networking knowledge* [online]. last modified 12 March 2018 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://oshwiki.eu/wiki/Electromobility>
- [3] EHSANI, M., Yamin GAO a S. GRAY. *Characterization of electric motor drives for traction applications* [online]. Roanoke, VA, USA, USA: IEEE, 2003 [cit. 2020-05-25]. ISBN 0-7803-7906-3. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1280101>
- [4] LARMINIE, James a John LOWRY. *Electric vehicle technology explained*. 2nd ed. Chichester: John Wiley, c2012. ISBN 978--1-119-94273-3.
- [5] ROUBÍČEK, Ota. Princip stejnosměrných motorů: Princip a uspořádání stejnosměrných motorů. In: *Elektrika.cz* [online]. Brno: Elektrika.info, c1998-2020, 2008 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnosmernych-motoru>
- [6] Elektromotory.: *Stejnosměrný rotor* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.spslan.cz/files/1cc2eb91316dd52bf50dd77e977caa60.pdf>
- [7] *ELEKTRO: BLDC aneb DC motor s nulovými náklady na údržbu* [online]. Praha: FCC PUBLIC, 2011, 20(10) [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bldc-aneb-dc-motor-s-nulovymi-naklady-na-udrzbu--10016>
- [8] RUDOLF, Ladislav. Elektrické stroje a přístroje: Asynchronní motory. *Ostravská univerzita - Pedagogická fakulta* [online]. 2016 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://projekty.osu.cz/irp2016/ucebnitext.html>
- [9] *ELEKTRO: Současné trendy rozvoje elektrických pohonů napájených z polovodičových měničů* [online]. Praha: FCC PUBLIC, 2001, 10(2) [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/soucasne-trendy-rozvoje-elektrickych-pohonu-napajenych-z-polovodicovych-menicu--15108>
- [10] FAIRCLOUGH, Caty. Analyzing the Structural Integrity of an Induction Motor with Simulation. In: *Comsol* [online]. USA, c2020, 11 May 2017 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.comsol.com/blogs/analyzing-the-structural-integrity-of-an-induction-motor-with-simulation/>
- [11] Electrical Machines: Types of three phase induction motor rotor. *JavaTpoint* [online]. c2011-2018 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.javatpoint.com/types-of-three-phase-induction-motor-rotor>
- [12] *Asynchronní motor: Momentová charakteristika* [online]. Praha: ČVUT FEL [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: [http://www.lhotkanet.cz/pub/skola/cvut-fel/!old/14zse/Asynchroni%20motor\\_soubory/asynchr.htm](http://www.lhotkanet.cz/pub/skola/cvut-fel/!old/14zse/Asynchroni%20motor_soubory/asynchr.htm)

- [13] Reluctance motor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, last modified 14 October 2019 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Reluctance\\_motor](https://en.wikipedia.org/wiki/Reluctance_motor)
- [14] Magnetická reluktance. *Illustrationprize* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://illustrationprize.com/cs/431-magnetic-reluctance.html>
- [15] WATOUTI, Mohamed. Switched Reluctance Motor for Electric Vehicles: Switched Reluctance Motor. In: *EMWORKS* [online]. Canada, c2020, 2018 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.emworks.com/blog/motor-design/switched-reluctance-motor-electric-vehicles>
- [16] Reluctance Motor. *All About Circuits* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-13/reluctance-motor/>
- [17] Advantages and Disadvantages of Induction Motor. *Electrical4U* [online]. c2020, last modified 15 March 2020 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.electrical4u.com/induction-motor-advantages-and-disadvantages/>
- [18] EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO, Stefano LONGO a Kambiz EBRAHIMI. *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. Third edition. Boca Raton: CRC PRESS, [2018]. ISBN 978-1-4987-6177-2.
- [19] LIU, Kailong, Kang LI, Qiao PENG a Cheng ZHANG. A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles: *Frontiers of Mechanical Engineering*. *SpringerLink* [online]. 2019, 2 April 2018, **14**(1), 47-64 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11465-018-0516-8>
- [20] VISWANATHAN, Balasubramanian. *Energy Sources: Fundamentals of Chemical Conversion Processes and Applications*. United Kingdom: ELSEVIER, 2016. ISBN 978-0-444-56353-8.
- [21] OSMANBASIC, Edic. What You Need to Know About Batteries for Electric Vehicles: NiMH Batteries. *Engineering.com* [online]. Mississauga, c2019, 25 September 2019 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://new.engineering.com/story/what-you-need-to-know-about-batteries-for-electric-vehicles>
- [22] Product&Technology: MOCROVAST'S LPTO BATTERY PACK. *AZU eMobility* [online]. Bangalore: AZU eMobility, c2017 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://azuemobility.in/electric-bus/>
- [23] OSMANBASIC, Edic. What You Need to Know About Batteries for Electric Vehicles: Li-Ion Batteries. *Engineering.com* [online]. Mississauga, c2019, 25 September 2019 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://new.engineering.com/story/what-you-need-to-know-about-batteries-for-electric-vehicles>
- [24] STEHLÍK, Jakub. Jak funguje Li-Ion akumulátor. *Automobile.cz* [online]. b.r., 27. 11. 2018 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/baterie-zustavaji-limitujicim-faktorem-elektromobilu-prulom-se-ceka-za-sedm-let/>

- [25] The electric power train: Hybrid, diesel-electric, or fully electric – differences and application areas: Fully electric drives. *ARADEx* [online]. Germany, c2020 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.aradex.de/en/system-solutions/whitepaper-power-electronics/electric-powertrain/>
- [26] Vylepšený Nissan e-NV200 přijíždí s větší baterií a delším dojezdem. *Auto-mania.cz* [online]. auto-mania.cz, b.r., 16. 2. 2018 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://auto-mania.cz/vylepseny-nissan-e-nv200-prijizdi-s-vetsi-baterii-a-delsim-dojezdem/>
- [27] *2018 e-NV200: First Responder's Guide* [online]. Nissan International, c2018 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www-europe.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/ireland/Brochures/First%20Responders%20Guide/2018%20e-NV200%20First%20Responders%20Guide.pdf>
- [28] Nissan e-NV200: cena, dojezd, specifikace. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, c2006-2019, 8. března 2015 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nissan-e-nv200-cena-dojezd-specifikace>
- [29] *Evcompare.io: Nissan e-NV200* [online]. USA: EV Compare, c2018-2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: [https://evcompare.io/cars/nissan/nissan\\_e-nv200\\_2018/](https://evcompare.io/cars/nissan/nissan_e-nv200_2018/)
- [30] HORČÍK, Jan. TEST: elektrická dodávka Nissan e-NV200. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, c2006-2019, 28. května 2015 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/test-elektricka-dodavka-nissan-e-nv200>
- [31] PAVLŮSEK, Ondřej. Volvo Buses 7900 Electric nastupuje s novými bateriemi. *Auto.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER, c2001-2020, 20. 10. 2017 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/volvo-buses-7900-electric-nastupuje-s-novymi-bateriemi-110656>
- [32] *Volvo Buses: Volvo 7900 Electric* [online]. United Kingdom & Ireland: Volvo, c2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.volvobuses.co.uk/en-gb/our-offering/buses/volvo-7900-electric/specifications.html>
- [33] PAVLŮSEK, Ondřej. Volvo 7900 Electric míří do linkového provozu v Malmö. In: *Auto.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER, c2001-2020, 15. 12. 2018 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/volvo-7900-electric-miri-do-linkoveho-provozu-v-malmo-126444>
- [34] KANE, Mark. Volvo Shows Electric Bus At UITP in Milan. In: *INSIDEEVs* [online]. USA, 19 June 2015 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/326850/volvo-shows-electric-bus-at-uitp-in-milan/>
- [35] ZEMKOVÁ, Barbora. Hybridní pohon: Zjistěte, jak funguje a zdali pomůže ekologii: Hybridní pohon kombinuje několik zdrojů energie. *Elektrina.cz: Elektromobilita* [online]. c2014-2020, 17. července 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/jak-funguje-hybridni-pohon>
- [36] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0127-6.

- [37] HORČÍK, Jan. Sériový hybrid. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, c2006-2019, 17. září 2009 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/seriovy-hybrid>
- [38] RANDALL, Carolyn J. What Are the Advantages and Disadvantages of Series Hybrid Designs? *SFGATE* [online]. Hearst Newspapers, c2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://homeguides.sfgate.com/advantages-disadvantages-series-hybrid-designs-78758.html>
- [39] TRACY, Marin. The future of hybrid vehicles. In: *SearchAutoParts.com* [online]. Endeavor Business Media, c2020, 1 January 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.searchautoparts.com/motorage/underhood-service-repair/future-hybrid-vehicles?page=0,1>
- [40] ScienceDirect. JAIN, Shailendra a Lalit KUMAR. *Power Electronics Handbook* [online]. 4rd ed. United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2018, s. 1023-1065 [cit. 2020-05-28]. ISBN 9780128114087. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/parallel-hybrid-configuration>
- [41] FULLER, John. What's a mild hybrid system?: Mild Hybrid Systems: Engine Assist. *Howstuffworks* [online]. HowStuffWorks, c2020, 5 May 2009 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/hybrid-technology/mild-hybrid1.htm>
- [42] *EMF-Portal: Full hybrid car* [online]. Germany [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.emf-portal.org/en/emf-source/673>
- [43] *Škoda: Storyboard* [online]. Škoda Auto, 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/mobilita/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>
- [44] *Automotive Electronics: Idle Stop-Start Systems* [online]. South Carolina: Clemson University [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/systems/autostart-stop.html>
- [45] *Ford: Transit Custom* [online]. Ford Motor Company, c2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.ford.cz/uzitkove-vozy/novy-transit-custom/vybava/pohodli-a-practicnost#overlay/content/overlays/download-a-brochure/new-transit-custom>
- [46] MOKŘÍŠ, Jakub. Ford představil nové hybridní dodávky. *ElektrickéVozy.cz* [online]. Elektrickévozy.cz, c2011-2020, 18. 10. 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/ford-predstavil-nove-hybridni-dodavky>
- [47] *Green Car Congress: Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility* [online]. BioAge Group, 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2019/09/20190925-ford.html>
- [48] Ford nabízí střední dodávku s malým tríválcem. Ten ale má jen funkci elektrárny. In: *Automix.cz* [online]. VLTAVA LABE MEDIA, 22. 5. 2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://automix.denik.cz/nova-auta/ford-nabizi-stredni-dodavku-s-malym-trivalcem-ten-ale-ma-jen-funkci-elektrarny-20200522.html>



- [49] WILKINSON, Luke. Ford Tourneo Custom Plug-In Hybrid announced for 2019. In: *Auto express* [online]. Dennis Publishing Limited, c2020, 2 April 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.autoexpress.co.uk/ford/transit-custom/106494/ford-tourneo-custom-plug-in-hybrid-announced-for-2019>
- [50] HINČICA, Libor. Brno testuje hybridní autobus Iveco Urbanway. *Československý Dopravák* [online]. Československý Dopravák, c2017, 28. 1. 2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.cs-dopravak.cz/zpravy/2020/1/27/brno-testuje-hybridn-autobus-iveco-urbanway>
- [51] *Dopraváček: Informační portál o veřejné dopravě* [online]. Praha: Dopraváček, 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://dopravacek.eu/2019/08/12/dpp-testuje-hybridni-autobus-iveco-urbanway-hybrid/>
- [52] *Iveco Bus: Your partner for sustainable transport* [online]. Vysoké Mýto: Iveco Czech Republic [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.ivecocr.cz/clanek/urbanway>
- [53] SZUMSKA, Emilia M., Marek Jerzy PAWEŁCZYK a Václav PÍŠTĚK. Evaluation of the Life Cycle Costs for urban buses equipped with conventional and hybrid drive trains. *The Archives of Automotive Engineering* [online]. 2019, May 2019, (83), 73-86 [cit. 2020-05-28]. DOI: 10.14669/AM.VOL83.ART5. ISSN 2084-476X. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/333105548\\_Evaluation\\_of\\_the\\_Life\\_Cycle\\_Costs\\_for\\_urban\\_buses\\_equipped\\_with\\_conventional\\_and\\_hybrid\\_drive\\_trains](https://www.researchgate.net/publication/333105548_Evaluation_of_the_Life_Cycle_Costs_for_urban_buses_equipped_with_conventional_and_hybrid_drive_trains)
- [54] Emise CO<sub>2</sub> z dopravy i produkce odpadu rostou. *Česká tisková kancelář: České Noviny* [online]. Praha, 5. 12. 2019 [cit. 2020-06-04]. ISSN 1213-5003. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/emise-co2-z-dopravy-i-produkce-odpadu-rostou/1829029>
- [55] HILL, Joshua S. China's Svolt says cobalt-free car batteries coming in 2021. *The Driven: Electric Vehicle Insiders* [online]. 22 May 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://thedriven.io/2020/05/22/chinas-svolt-says-cobalt-free-car-batteries-coming-in-2021/>
- [56] KANE, Mark. *Exxon Mobil's Electric Car And Energy Usage Outlook: Not So Good For EVs - Surprised?* [online]. USA, 7 February 2016 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/327507/exxon-mobils-electric-car-and-energy-usage-outlook-not-so-good-for-evs-surprised/>
- [57] BUREŠ, David. Dotace na elektromobily: Pro rok 2020 méně peněz a přísnější podmínky. *Auto.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER, c2001-2020, 21. 10. 2019 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/dotace-na-elektromobily-pro-rok-2020-mene-penez-a-prisnejsi-podminky-131652>
- [58] SAVAGE, Maddy. How Norway Convinced Drivers to Switch to Electric Cars. *Next city* [online]. Philadelphia, 21 Apr 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://nextcity.org/daily/entry/how-norway-convinced-drivers-to-switch-to-electric-cars>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

$F$	[N]	Síla
$v$	[km/h]	Rychlost
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky
$M$	[Nm]	Točivý moment
$U$	[V]	Napětí
$C$	[Ah]	Kapacita baterie
$e$	[Wh/kg]	Měrná energie
$p$	[W/kg]	Měrný výkon
$PbSO_4$		Síran olovnatý
$H_2O$		Voda
$Pb$		Olovo
$H_2SO_4$		Kyselina sírová
$NiOOH$		Oxid trojmocného niklu
$Cd$		Kadmium
$Ni(OH)_2$		Hydroxid nikelnatý
$Cd(OH)_2$		Hydroxid kademnatý
$M, MH$		Kovová slitina – metal hydrid
$Li$		Lithium
$M_yO_z$		Interakční kov
$Li_xC$		Oxid lithia
$NEDC$		New European Driving Cycle
$WLTP$		Worldwide Harmonized Lite-Duty Vehicle Test Procedure
$REEV$		Range-Extended Electric Vehicle
$LiFePO_4$		Lithium železo fosfát