



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

ELEKTRICKÁ VOZIDLA JAKO AKUMULAČNÍ PRVEK PRO OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

ELECTRIC VEHICLES AS ENERGY STORAGE ELEMENT WITH RENEWABLE ENERGY
SOURCES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAROMÍR JANEČKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BAXANT, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Jaromír Janečka

ID: 125465

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Elektrická vozidla jako akumulční prvek pro obnovitelné zdroje energie

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Současný stav elektromobilizmu v ČR a ve světě
2. Technické parametry dnešních elektrických vozidel
3. Technologie akumulace elektrické energie
4. Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 23.5.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

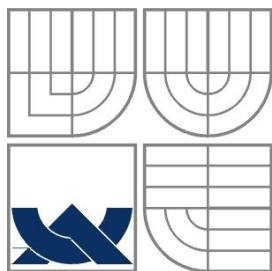
Bibliografická citace práce:

JANEČKA, J. Elektrická vozidla jako akumulční prvek pro obnovitelné zdroje. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 91s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Petrovi Baxantovi, Ph.D. za pedagogickou podporu a vedení při tvorbě této práce.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

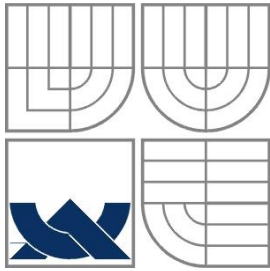
Elektrická vozidla jako akumulční prvek pro obnovitelné zdroje

Jaromír Janečka

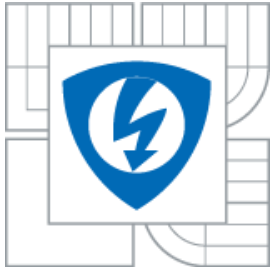
Vedoucí: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2014

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering

Master's Thesis

**Electric vehicles as energy storage element
with renewable energy sources**

by

Jaromír Janečka

Supervisor: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Brno University of Technology, 2014

Brno

ABSTRAKT

V této diplomové práci je zpracována historie elektromobilů od svého vzniku až do dnešní doby. Vozidla jsou rozdělena do tří skupin dle druhu pohonu, zvláštní pozornost je věnována elektromobilům. Dále jsou představeny nejčastější způsoby akumulace elektrické energie, především ve formě elektrochemických článků, které se používají v elektrických vozidlech. V práci je také popsána situace elektromobility v České republice, konkrétně státní podpora, tarify distribučních společností, dobíjecí infrastruktura a dostupné elektromobily. Na závěr je zpracován koncept připojení elektromobilu k obnovitelnému zdroji. Je provedeno finanční vyhodnocení konceptu pro tři profilové řidiče.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Elektromobil, akumulace elektrické energie, elektromobilita v České republice, obnovitelný zdroj energie

ABSTRACT

This master thesis summarizes history of electric vehicles from its inception to present. Vehicles are divided into three groups according to the type of drive, special attention is paid to electric vehicles. Furthermore, typical ways of electric energy storage are presented, especially in the form of electrochemical cells, which are used in electric vehicles. The thesis also describes the situation of electromobility in the Czech Republic, namely government support, distribution companies tariffs, charging infrastructure and available electric vehicles. Finally, the concept of connecting electric vehicles to renewable energy source is described, with financial calculations for three profiled drivers.

KEY WORDS:

Electric vehicle, electric energy storage, electromobility in Czech Republic, renewable energy source

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK.....	12
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	13
1 ÚVOD.....	15
2 HISTORIE ELEKTROMOBILŮ.....	16
2.1 POČÁTKY ELEKTROMOBILŮ.....	16
2.2 VÝVOJ ELEKTROMOBILŮ V ČR.....	17
2.3 VÝVOJ ELEKTROMOBILŮ V ZAHRANIČÍ.....	18
3 DĚLENÍ VOZIDEL DLE POHONNÝCH SYSTÉMŮ	21
3.1 VOZIDLA SE SPALOVACÍM MOTOREM.....	21
3.1.1 SPALOVACÍ MOTOR.....	21
3.1.2 PALIVA PRO SPALOVACÍ MOTOR.....	21
3.1.3 ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ	23
3.2 VOZIDLA S HYBRIDNÍM POHONEM.....	24
3.2.1 DĚLENÍ DLE STUPNĚ HYBRIDIZACE	24
3.2.2 DĚLENÍ DLE KONCEPCE USPOŘÁDÁNÍ	25
3.3 VOZIDLA S ELEKTRICKÝM POHONEM	27
3.3.1 ANALÝZA WELL-TO-WHEEL.....	27
4 ELEKTROMOBIL	32
4.1 POHON ELEKTROMOBILU	32
4.1.1 ELEKTROMOTOR	32
4.1.2 UMÍSTĚNÍ ELEKTROMOTORU.....	34
4.1.3 ELEKTROMOTORY V KOLECH.....	35
4.2 ELEKTRONIKA V ELEKTROMOBILU	36
4.2.1 MĚNIČ ELEKTRICKÉ ENERGIE	36
4.2.2 DOBÍJENÍ ELEKTROMOBILU.....	37
4.3 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE	41
4.3.1 PŘÍMÉ SKLADOVÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE	42
4.3.2 NEPŘÍMÉ SKLADOVÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE	43
4.3.3 ELEKTROCHEMICKÉ AKUMULÁTORY	46
5 ELEKTROMOBILISMUS V ČR.....	54
5.1 STÁTNÍ PODPORA.....	54
5.2 TARIFY DISTRIBUČNÍCH SPOLEČNOSTÍ.....	55

Obsah

5.3 DOBÍJECÍ INFRASTRUKTURA	56
5.4 DOSTUPNÉ ELEKTROMOBILY V ČR	59
5.4.1 BMW I3	59
5.4.2 CITRÖEN C-ZERO A PEUGEOT ION	61
5.4.3 MERCEDES-BENZ VITO E-CELL.....	62
5.4.4 MIA ELECTRIC	63
5.4.5 NISSAN LEAF	64
5.4.6 CITRÖEN BERLINGO ELECTRIC A PEUGEOT PARTNER ELECTRIC	65
5.4.7 SMART FORTWO ED	66
5.4.8 TAZZARI ZERO	67
5.4.9 THINK CITY	67
5.4.10 VOLKSWAGEN E-UP!	68
6 KONCEPT PŘIHOJENÍ K OBNOVITELNÉMU ZDROJI	70
6.1 PROFIL ŘIDIČE.....	70
6.2 KAPACITA BATERÍ	72
6.3 ŽIVOTNOST BATERIE.....	76
6.4 FINANČNÍ ZHODNOCENÍ.....	80
7 ZÁVĚR.....	84
POUŽITÁ LITERATURA.....	87

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 CAMILLE JENATZY VE SVÉM LA JAMAIS CONTENTE [7].	16
OBR. 2 TATRA BETA [4].	18
OBR. 3 ELEKTROMOBIL EV1(IMPACT) [9].	19
OBR. 4 TOYOTA RAV4EV – ŘEZ [10].	20
OBR. 5 PALIVA PRO SPALOVACÍ MOTORY.	23
OBR. 6 KONCEPCE USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍCH AUTOMOBILŮ [11].	26
OBR. 7 ANALÝZA WELL-TO-WHEEL PRO RŮZNÉ DRUHY PALIV.	30
OBR. 8 GRAMŮ CO2 VYPRODUKOVANÝCH PŘI VÝROBĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE	31
OBR. 9 BLOKOVÉ SCHÉMA ELEKTROMOBILU.	32
OBR. 10 MOMENTOVÉ CHARAKTERISTIKY ELEKTROMOTORŮ.	33
OBR. 11 ZÁVISLOST ODPOROVÝCH SIL OSOBNÍHO AUTOMOBILU NA JEHO RYCHLOSTI [26].	34
OBR. 12 VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY PROTEAN DRIVE PD18.	35
OBR. 13 PROTEAN DRIVE PD18 [29].	36
OBR. 14 PRACOVNÍ KVADRANTY PULSNÍHO MĚNIČE [25].	37
OBR. 15 DOBÍJECÍ STANICE SUPERCHARGER V SEVERNÍ AMERICE [33].	39
OBR. 16 KONEKTORY COMBINED CHARGING SYSTEM.	40
OBR. 17 MOŽNOSTI ULOŽENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE.	41
OBR. 18 ZÁVISLOST MĚRNÉHO VÝKONU NA MĚRNÉ ENERGII AKUMULAČNÍCH PRVKŮ [35].	43
OBR. 19 CENOVÉ ZHODNOCENÍ AUTOMOBILŮ (BEV – ELEKTROMOBILY, CV – KONVENČNÍ VOZY, HYBRID – VOZY S HYBRIDNÍM POHONEM) [41].	53
OBR. 20 PODPORA ELEKTROMOBILITY V EVROPĚ [42].	55
OBR. 21 VEŘEJNÉ DOBÍJECÍ STANICE V ČR.	57
OBR. 22 DOBÍJECÍ STANICE ALPIQ PUBLIC FAST CHARGER (PFC)[45].	58
OBR. 23 BMW I3[47].	59
OBR. 24 CITRÖEN C-ZERO A PEUGEOT ION [48], [49].	61
OBR. 25 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY EV PEUGEOT ION [50].	62
OBR. 26 MERCEDES-BENZ VITO E-CELL [51].	62
OBR. 27 VNITŘNÍ STRUKTURA VITO E-CELL [52].	63
OBR. 28 MIA ELECTRIC [53].	63
OBR. 29 NISSAN LEAF 2. GENERACE [57].	64
OBR. 30 CITRÖEN BERLINGO ELECTRIC A PEUGEOT PARTNER ELECTRIC [58], [59].	65
OBR. 31 SMART FORTWO ELECTRIC DRIVE BRABUS 3. GENERACE [60].	66

Seznam obrázků

OBR. 32 SMART FORTWO ELECTRIC DRIVE 2. GENERACE – KOSTRUKCE [61].	66
OBR. 33 TAZZARI ZERO [62].	67
OBR. 34 THINK CITY [63].	68
OBR. 35 VOLKSWAGEN E-UP! [64].	69
OBR. 36 VOLKSWAGEN E-UP! - KONSTRUKCE [65].	69
OBR. 37 ROČNÍ NÁJEZD ŘIDIČŮ V ČR V TISÍCÍCH KM [66].	70
OBR. 38 ZÁVISLOST POČTU CYKLŮ BATERIE NA HLOUBCE VYBITÍ (SOH = 70 %).	73
OBR. 39 UŽITNÁ KAPACITA BATERIE V EV.	73
OBR. 40 ROČNÍ HARMONOGRAM ŘIDIČŮ.	75
OBR. 41 ZÁVISLOST POČTU CYKLŮ BATERIE NA HLOUBCE VYBITÍ (SOH = 50 %).	78

SEZNAM TABULEK

TAB. 1 PALIVA PRO SPALOVACÍ MOTORY [15].	22
TAB. 2 ANALÝZA WELL-TO-WHEEL PRO RŮZNÉ DRUHY PALIV.	29
TAB. 3 ZÁSUVKY PRO DOBÍJENÍ EV V REŽIMU 3 [31].	38
TAB. 4 EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ ZPŮSOBŮ SKLADOVÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE [54].	42
TAB. 5 SROVNÁNÍ AKUMULAČNÍCH METOD [34].	42
TAB. 6 SPECIFICKÁ ENERGIE PALIV [38].	47
TAB. 7 KOMBINACE MATERIÁLŮ ANODY SE VZDUCHOVOU KATODOU [38].	48
TAB. 8 CHARAKTERISTIKA BATERIÍ VYUŽÍVAJÍCÍCH LITHIA S UHLÍKOVOU ANODOU [40].	50
TAB. 9 SAZBA D 27D S OPERATIVNÍM ŘÍZENÍM DOBY PLATNOSTI NÍZKÉHO TARIFU PO DOBU 8 HODIN [44].	56
TAB. 10 PARAMETRY ELEKTROMOBILŮ.	60
TAB. 11 CHARAKTERISTIKA PROFILOVÝCH ŘIDIČŮ.	71
TAB. 12 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE.	74
TAB. 13 ŽIVOTNOST BATERIE.	76
TAB. 14 ROZLOŽENÍ VOLNÝCH CYKLŮ S RŮZNÝMI DOD ZA ŽIVOTNOST BATERIE.	79
TAB. 15 FINANČNÍ ÚSPORA NA PALIVU.	80
TAB. 16 CELKOVÉ NÁKLADY NA VŮZ.	81
TAB. 17 CELKOVÉ NÁKLADY NA VŮZ ZAPOJENÝ PŘIPOJENÝ K OZE.	82
TAB. 18 MAXIMÁLNÍ ÚSPORY PŘIPOJENÍM BATERIE K OZE	83

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

AC	Alternating Current – střídavý proud
Al	Hliník
BMS	Battery Management System
CAES	Compressed Air Energy Storage – úložiště energie se stlačeným vzduchem
CCS	Combined Charging System – dobíjecí systém AC + DC
CNG	Compress Nature Gas - stlačený zemní plyn
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
CV	centrální výroba
DC	Direct Current – stejnosměrný proud
DOD	Depth Of Discharge – hloubka vybití baterie
EDLC	Electrochemical Double-Layer Capacitor – superkondenzátor (elektricky dvouvrstvý)
EV	Electric vehicle(s) – elektrické vozidlo (elektrická vozidla)
FCV	Fuel Cell Vehicle - automobil na vodíkový pohon
Full hybrid	Plný hybrid
FVE	Fotovoltaická elektrárna
GM	General Motors
HC	Uhlovodíky
HEV	Hybrid Electric Vehicle - hybridní automobil
CHAdeMO	Charge for moving – nabít pro pohyb
IEC	International Electrotechnical Commission – mezinárodní elektrotechnická komise
IMA	Integrated Motor Assist - integrovaná asistence motoru
Li	Lithium
Li-Ion	Lithium-iontový akumulátor
Li-polymer	Lithium-polymerový akumulátor
LNG	Liquefied Nature Gas - zkapalněný zemní plyn
LPG	Liquefied Petroleum Gas - zkapalněný ropný plyn

Seznam symbolů a zkratk

MEŘO	Metylester řepkového olej
Mg	Hořčík
MIEV	Mitsubishi In-wheel motor Electric Vehicle – elektromotory v kolech
Mild hybrid	Asistovaný hybrid
Na	Sodík
NaS	Sodíkovo-sírový akumulátor
Ni-Cd	Nikl-kadmiový akumulátor
Ni-Cd	Nikl-kadmiový (akumulátor)
NiMH	Nikl-metal hydridový akumulátor
NO	Oxid dusnatý
NO ₂	Oxid dusičitý
O ₂	Kyslík
OZE	Obnovitelný zdroj energie
Pb-Acid	Olověný akumulátor
Plug-in hybrid	Hybrid do zásuvky
RME	Rapeseed Methyl Ester – metylester řepkového oleje
SAE	Society of Automotive Engineers – společnost automobilových inženýrů
SLI	Starting, Lighting and Ignition – startování, osvětlení a zapalování
SMES	Superconducting Magnetic Energy Storage – supravodivý akumulátor
SOC	State Of Charge – stav nabití baterie
SOH	State Of Health – technický stav baterie
SV	staniční výroba
TTW	Tank-To-Wheel
VRB	Vanadium redox baterie
VRLA	Valve Regulated Lead Acid – ventilem řízený olověný akumulátor
WTT	Well-To-Tank
WTW	Well-To-Wheel

1 Úvod

V poslední době je stále častěji rozebíráný problém zásob fosilních paliv. Je známo několik možných scénářů, od pesimisticky laděných, které hovoří o zásobách ropy a zemního plynu nejvýše do poloviny 21. století, až po optimisticky laděné, které hovoří o tom, že od počátku průmyslové revoluce do roku 1998 bylo spotřebováno jedno procento světových geologických zásob fosilních paliv [1].

Ať už má pravdu jakákoliv skupina lidí, jasné je, že jednou fosilní paliva opravdu dojdou. Právě tato myšlenka podněcuje úvahu o alternativních zdrojích energie. Jednou z mnoha oblastí, kterou tato skutečnost zasáhne, je doprava. Proto lze v posledních letech pozorovat významně se rozvíjející trh s hybridními automobily a elektromobily. Dalším neméně důležitým faktem, který přispívá k rozvoji automobilů na alternativní paliva, je vysoká míra znečištění ovzduší, především ve velkých aglomeracích. Například v Pekingu trpí už několik let mnohonásobně (20x až 40x) vyšším znečištěním pevnými částicemi, než povolují normy [2]. Celkový počet motorových vozidel na naší planetě v roce 2005 byl ještě necelých 900 mil, dnes již přesáhl 1,1 mld kusů [3].

Proto se vlády mnoha zemí či různé organizace snaží přimět automobilky k vývoji a výrobě ekologicky šetrných vozidel, která využívají alternativní pohon anebo alternativní paliva k tomu, aby produkovaly minimální hodnoty znečišťujících látek, zejména CO₂. Jejich činnost je patrná hned v několika směrech. U klasických automobilů se spalovacími motory postupně klesá objem motoru. Takový motor spálí méně paliva a tím vyprodukuje méně škodlivin. Dále jsou vozidla přizpůsobována na alternativní paliva, jako je LPG, CNG, vodík a biopaliva (zejména bioethanol, biodiesel, dimethyléter), která na rozdíl od benzínu či nafty při svém spalování produkují méně škodlivých látek. V neposlední řadě je to výroba vozidel s hybridním pohonem a výroba vozidel s čistě elektrickým pohonem.

Tato práce si klade za cíl nastínit vývoj elektromobility v České republice v porovnání s okolním světem včetně technologií používaných v elektrických vozidlech a představení dostupných elektrických vozidel na tuzemském trhu. Dále bude provedena analýza použití elektromobilu jako akumulárního prvku v domácí síti s obnovitelným zdrojem energie, konkrétně fotovoltaickou elektrárnou. Budou finančně vyčísleny úspory oproti provozu elektromobilu, který nebude spolupracovat s domácí sítí, a oproti provozu vozidla se spalovacím motorem.

2 Historie elektromobilů

Kapitola byla zpracována pomocí zdrojů [4], [5], [6] a [7].

2.1 Počátky elektromobilů

První zmínky o domácky sestavených elektromobilech pochází už z konce 19. století. Již v roce 1899 byl sestrojen první elektromobil, který dokázal prolomit hranici 100 km/h. Za tímto úspěchem stál Belgičan Camille Jenatzy, který je i se svým strojem La Jamais Contente na Obr. 1. O tři roky později už dosáhl elektromobil Torpédo KID rychlosti necelých 170 km/h. Ing. František Křižík postavil v roce 1895 svůj první elektromobil poháněný stejnosměrným elektromotorem o výkonu 3,6 kW. Rychlý technický pokrok v této oblasti zapříčinil stále rostoucí oblibu mezi tehdejšími obyvateli. V roce 1900 představovala elektrická vozidla (EV) 28 % produkce všech automobilů v USA.



Obr. 1 Camille Jenatzy ve svém La Jamais Contente [7].

V současné době vychází články, které pojednávají o strnulosti elektromobilů, přirovnávají parametry dnešních vozů k jejich sto let starým předchůdcům a podivují se nad velmi podobnými dojezdovými vzdálenostmi. Jako by těch sto let ani neuplynulo. Tehdejší elektrická vozidla, z počátku 20. století, měla reálný dojezd 150 km, později i více. Například 340 km při úsporné jízdě elektromobilu Detroit Electric. Přestože měly tehdejší vozy olověné či nikloželezné akumulátory s několikanásobně nižšími hustotami energie, jejich dojezdové vzdálenosti byly srovnatelné s těmi dnešními díky hned několika faktorům. Dřívější EV byla o stovky kilogramů lehčí. Je tomu kvůli velkému počtu bezpečnostních opatření, které dnešní doba vyžaduje. Dále jsou dnes používány širší pneumatiky s větším valivým odporem, které musí udržet automobil na silnici i při vyšších rychlostech. Je třeba poznamenat, že dnešní výrobci elektromobilů již vybavují své vozy užšími pneumatikami, ovšem rozdíl zde stále je. Dnes je jízda na silnicích s rozsvícenými světly běžnou záležitostí (což je i mnohdy zákonem ošetřeno), cestující rádi podléhají komfortu klimatizace a v chladných dnech tepelnému vyhřívání. Stále častěji je do základních výbav automobilů řazena i GPS navigace, elektrické stahování oken a pohon mnoha dalších servomotorů rozestých po celém automobilu. Asi

nejdůležitějším faktorem je rychlost pohybu elektrických vozidel. Na počátku 20. století nebyla vybudovaná zdaleka tak rozsáhlá síť komunikací, jako je dnes. Ani o podobné kvalitě nelze hovořit, dřívější cesty, po kterých se jezdilo, elektromobilům nedovolovaly vyšší provozní rychlosti. Po městech, kde byla většina elektromobilů provozována, byla obvyklá rychlost kolem 20 km/h. Mimo města elektromobily prakticky nejezdily. Dnes jsou požadovány mnohem vyšší rychlosti. Jak ve městech, tak mimo ně, včetně dálnic a rychlostních komunikací. Vyšší rychlosti vyžadují vyšší spotřebu elektrické energie uschované v akumulátorech ve voze. I když jsou dnes k dispozici akumulátory s mnohem vyššími hustotami uložené energie (tzn., že do baterií o stejné velikosti a hmotnosti lze uložit více elektrické energie), aerodynamické koeficienty mají mnohem nižší hodnoty a účinnosti elektromotorů jsou vyšší, zákony fyziky jsou neúprosné. Aerodynamický odpor roste se čtvercem rychlosti. Ten si spolu s elektrickými spotřebiči ve voze žádá vysokou daň, která jeho dojezd sráží na úroveň elektromobilů sto let starých.

Právě rozšiřování sítě silnic a s ním vyšší požadavky na překonávané trasy začínaly nahrávat vozům se spalovacími motory. U těchto aut stačilo zvětšit palivovou nádrž. Další překážkou pro rozvoj elektromobilů na počátku 20. století byla cena vozidel. Zásadní úder jim zasadil Henry Ford, který zavedl v roce 1913 sériovou výrobu legendárního modelu T. Pro srovnání ve stejné době stál Detroit Electric s nikloželeznými akumulátory 3100 \$ a Ford T 850 \$ a jeho cena dále klesala. Cena baterií byla však neměnná.

S přibývajícimi nalezišti ropy na USA její cena logicky klesala. Tento fakt na dlouhou dobu utlumil větší výrobu elektromobilů nejen na území Spojených států, ale po celém světě.

2.2 Vývoj elektromobilů v ČR

Nejen ropná krize v 60. letech minulého století, ale i nepříznivý vývoj životního prostředí zejména v centrech velkých měst, vedl naše státní orgány k tomu, aby pověřily některé organizace vývojem a výrobou vzorku elektromobilů s příslušným krytím nákladů ze strany státu.

Výzkumný ústav elektrických strojů ve spolupráci s Vysokým učením technickým v Brně vyrobil dva osobní a dva dodávkové prototypy, dnes umístěné v muzeu. Ústav silniční a městské dopravy v Praze přestavěl automobil F127 do elektrické podoby. Po provedení zkoušek sloužil jednomu z městských orgánů, záhy byl však odstaven. Státem zadaný úkol byl ukončen a žádných významných pokroků nebylo dosaženo. Další snaha o rozvoj elektrických aut již nebyla nikým centrálně podporována, ani finančně motivována. Jejich vývoj se přesunul do rukou nadšenců, kteří měli mnohdy znalosti odborníků. Většina těchto lidí se vzájemně pravidelně potkávala a předávala si své znalosti a poznatky prostřednictvím sdružení Elektromobil.

Tato skupina se zasloužila o vznik spousty provozuschopných vozidel, od elektrických kol, přes lehká dvoumístná vozidla, přestavby sériových automobilů se spalovacími motory, až po plnohodnotné, zcela nově navrhované elektromobily. Jednalo se například o přestavbu vozů Trabant, NSU Prinz, Škoda Favorit. Sdružení Elektromobil podnikalo pravidelně

zájezdy do Švýcarska, kde pořádalo Velkou cenu elektromobilů. Nešlo jen o závody, hlavní byl kontakt se zbytkem Evropy a získání přehledu o aktuálních technologiích. Právě ze Švýcarska přišla zakázka na výrobu tisíce elektromobilů v Ejpvovicích. V tomto závodě vznikl i vůz Tatra Beta. Společně s celým ejpvovickým podnikem pak rozpracovaný projekt převzala Škoda Plzeň, konkrétně její nová automobilová divize Škoda Truck. Ta byla vytvořena integrací Škody ELCAR (Ejpvovice), Liazu Jablonec a Tatry Kopřivnice k plzeňské Škodovce. Pro Betu se od roku 1994 až do roku 1997 k výrobě používaly díly převzaté ze Škody 120 L (přední směrové blikáče a světlomety), Škody Favorit (podvozek, skla, zrcátka, kliky, zámky a interiér) a ze Škody Pick-up (zadní sdružené světlomy), viz *Obr. 2*. Tohoto vozu bylo vyrobeno zhruba sto kusů, většina jich však putovala do zahraničí.



Obr. 2 Tatra Beta [4].

2.3 Vývoj elektromobilů v zahraničí

Asi nejdelší tradici ve vývoji elektrických vozidel z renomovaných evropských automobilek má značka Citroën. Již v roce 1935 vyvinula první elektromobil, bylo jím nákladní vozidlo Citroën TUB. V roce 1974 se Citroën spojil s automobilkou Peugeot v dodnes fungující koncern PSA. Výsledkem byly dva úspěšné modely - osobní elektromobil C15 a dodávkový typ C25. Úspěchy automobilky PSA dále rostly, a tak se i díky spolupráci s výrobcem baterií SAFT podařilo vyrobit dalších pět tisíc vozů. Koncem roku 2000 však došlo k ukončení výroby. Další automobilky se do vývoje EV pustily mnohem později.

2 Historie elektromobilů

Fiat na elektrických vozech pracuje od roku 1975. Jako první spustil jejich sériovou výrobu. Proslavil se modelem Panda Elettra, vyráběným v 90. letech, který se řadil k nejmenším vozům v Evropě, a z benzínové verze přestavěným modelem Ceicento Elettra.

Automobilka Renault vyvíjí elektromobily od roku 1980. V listopadu roku 1985 vyrobila dva prototypy elektromobilu Express Electrique. Koncem roku 1992 byl představen model zcela nové konstrukce, který se již dostal do sériové výroby. Zpočátku ještě obsahoval olovené baterie, později po faceliftu v roce 1995 Ni-Cd baterie. Jednalo se o model Clio Electrique, který se vyráběl až do roku 1999. Během té doby vyrobila automobilka Renault dalších několik desítek menších elektrických vozidel odvozených od modelu Twingo. Od roku 1998 se v omezeném počtu vyráběl užitkový elektromobil Kangoo Electrique, který se po minimálních úpravách a přejmenování na Kangoo Z.E. vyrábí dodnes.

Ruská automobilka VAZ vyvinula elektromobil Lada 1111 electric odvozený od svého nejmenšího modelu Lada Oka. Ten se však vyráběl pouze na přímou objednávku a v počtu desítek kusů. Ve vývojových dílnách Ředitelství technického rozvoje automobilů v Rusku se vyráběl až do roku 1998.

Díky historickým maximům znečištění ovzduší v Kalifornii vydaly tamní úřady vyhlášku pro automobily s nulovými emisemi, která zavazovala automobilky, působící v Kalifornii, k zavedení do svých modelových řad i automobily, které neprodukují žádné emise. Tím byla rozžeta nová kampaň na výrobu elektromobilů v USA. Automobilky, ropný průmysl a po nových volbách i politická reprezentace ale vzápětí silně lobovaly proti a postupně tyto zákony zanikly. Pilotní vozidlo celého projektu, kterého se zúčastnily také společnosti Honda a Toyota, bylo právě sportovní dvoumístné kupé EV1 (*Obr. 3*) od společnosti GM (General Motors). Prototyp byl představen v roce 1993 a nesl pracovní označení Impact. V roce 1996 začala ve městě Lansing sériová výroba [8].



Obr. 3 Elektromobil EV1(Impact) [9].

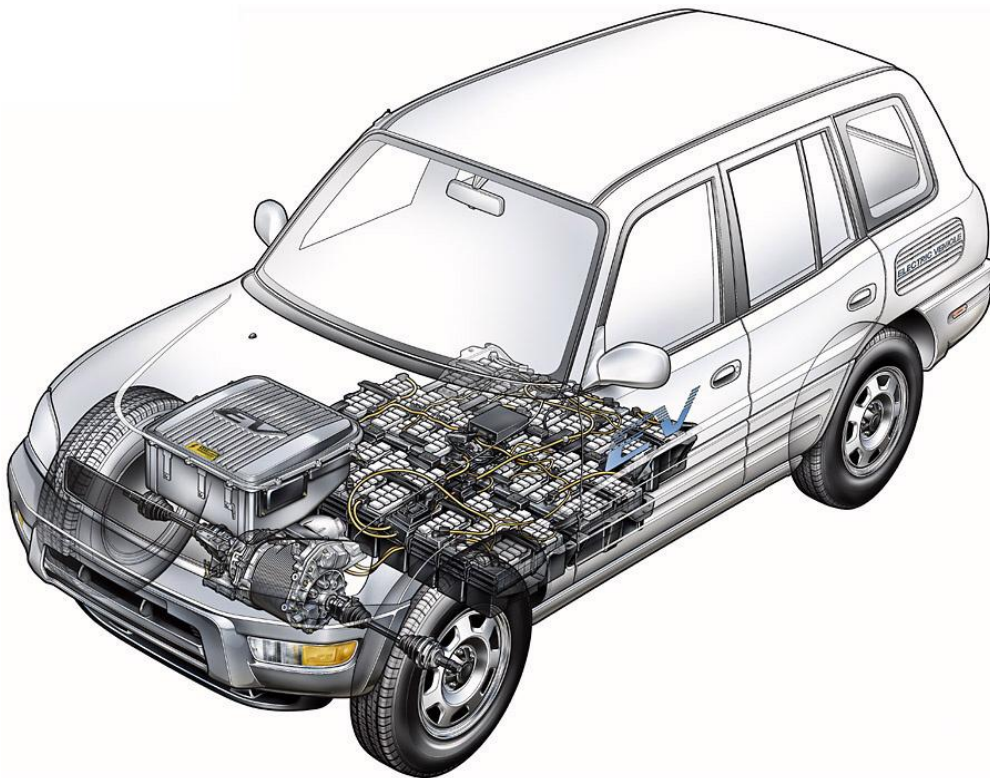
2 Historie elektromobilů

Zatímco ostatní zúčastněné automobilky Honda a Toyota použily na svých modelech Honda EV Plus a Toyota RAV4EV (*Obr. 4*) ověřené metody přestavby sériové karoserie na elektrický pohon, GM vyvinula zcela novou platformu elektromobilu postavenou ze směsi plastů, skla a hliníku. EV1 byla svým zákazníkům pouze pronajímána, proto když se všechny zúčastněné automobilky na podzim roku 2003 dohodly, že vozidla stáhnou z provozu, jejich dosavadní majitelé s tím i přes hlasitý odpor nic nezmohli. Vozidla GM byla nemilosrdně zešrotována, ostatní automobilky tlaku veřejnosti podlehly a umožnily odprodej některých svých vozů jejich uživatelům.

V roce 2001 se k projektu přidala i společnost FORD se svým modelem TH!NK, když koupila norskou firmu Pivco a rozšířila tamní výrobní linku. Díky tomu, že se vozy TH!NK vyráběly v Norsku, se je podařilo zachránit a odeslat zpět do Norska, kde se odprodaly místním zákazníkům. Ford poté prodal celou místní továrnu, kde se po několika letech opět rozjela sériová výroba vozů TH!NK City 5. generace v rukou nového majitele. Výroba pokračuje dodnes.

Mitsubishi má vyvinutou zcela novou platformu. Používá unikátní řešení elektromotorů zabudovaných přímo v kolech vozidla. Automobilka vyvíjí hned dva modely elektromobilů, Colt a Lancer. V obou případech je použit systém MIEV – elektromotory v kolech.

V posledních letech, především díky lithiovým akumulátorům, nastává renesance ve výrobě elektromobilů. Hlavně menší výrobci automobilů využívají vzniklé příležitosti, jak se na přeplněném automobilovém trhu prosadit.



Obr. 4 Toyota RAV4EV – řez [10].

3 Dělení vozidel dle pohonných systémů

Motorová vozidla lze dle pohonných systémů rozdělit do tří skupin. Jsou to:

- vozidla se spalovacím motorem;
- vozidla s hybridním pohonem;
- vozidla s elektropohonem.

Vozidla se liší nejen pohonnou jednotkou, ale také dalšími komponenty nezbytnými pro funkčnost pohonu a typem požadovaného paliva.

3.1 Vozidla se spalovacím motorem

3.1.1 Spalovací motor

Tato kapitola byla zpracována pomocí zdrojů [11], a [12].

Základním stavebním kamenem tohoto pohonného systému je spalovací motor. Je to tepelný stroj, který pomocí chemické reakce (spalováním paliva) převádí získanou tepelnou energii na mechanickou energii. K převodu se využívá plynného média. Jedná-li se o pístový motor, plynné médium působí potenciální energií (tlakem) na písty motoru, jde-li o motor proudový (turbínu), je využívána energie kinetická. U automobilů se využívají motory s vnitřním spalováním, tzn., že pracovní látkou jsou zde přímo produkty spalování.

Jedním z mnoha dělení spalovacích motorů je i podle způsobu výměny náplně válců na motory čtyřdobé a motory dvoudobé. Častější čtyřdobé motory mají jméno odvozeno od čtyř zdvihů, v nichž probíhá pracovní cyklus (sání, stlačování, výbuch a výfuk). Dnes se výhradně používají dva typy spalovacích čtyřdobých motorů, a to vznětové a zážehové.

3.1.2 Paliva pro spalovací motor

Jednou z velkých výhod spalovacích motorů je možnost použít kromě čistého benzínu či nafty i alternativní druh paliva. Nenáročnou přestavbu motoru lze provést v průběhu životnosti motoru. Různorodost paliv je výhodná zejména v dnešní době, kdy cena ropy stále roste a je brán stále větší ohled na ekologii. Alternativní paliva jsou většinou levnější a mají ve spalovacích motorech dokonalejší spalování oproti naftě a benzínu.

Mezi alternativní paliva patří například LPG, zkapalněný propan-butan, který vzniká jako vedlejší produkt při rafinaci ropy. Dále CNG, což je stlačený zemní plyn, a paliva vyráběná z biomasy. V současnosti jsou to hlavně metanol, etylalkohol (etanol) a bionafta. Etanol je možné použít přímo jako palivo pro speciálně upravené motory nebo jako přísadu do benzínu (3 až 15 % etanolu). Vylisovaný a vyčištěný olej esterifikací (u nás zkráceně označovaný MEŘO, v zahraničí se používá termín RME) se na český trh dodává v podobě „směsné bionafty“ (bionafta 2. generace) tvořené směsí normální motorové nafty a metylesteru řepkového oleje. Obsah metylesteru ve směsi je minimálně 30%.

3 Dělení vozidel dle pohonných systémů

Dalším alternativním palivem je vodík. Energie v něm obsažená může být uvolněna ve dvou formách, buď přímo ve spalovacím motoru, nebo v palivovém článku přímou přeměnou v elektrický proud. V této kapitole bude probráno pouze užití ve spalovacím motoru. Palivový systém motoru je přizpůsoben pomocí elektronického směšovacího systému, který určuje směšovací poměr vodíku a vzduchu. Spalování probíhá s přebytkem vzduchu. Přídavný vzduch ve spalovacím prostoru odnímá teplo, a tím klesá teplota plamene pod kritickou mez, nad níž by se směs mohla sama vznítit. Nízká teplota spalování současně brání vzniku oxidů dusíku. Bez dalších přídavných zařízení pracují vodíkové motory prakticky bez emisí [14].

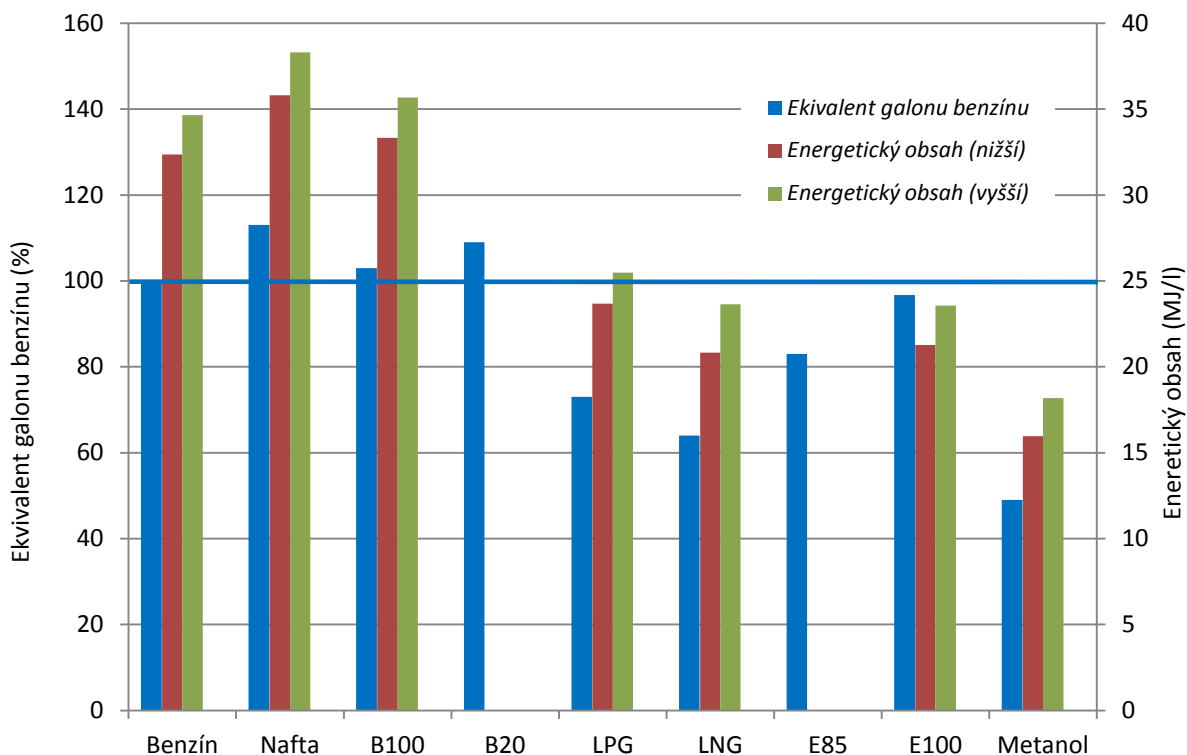
Srovnání paliv, která se běžně používají pro spalovací motory, je v *Tab. 1*. Z téže tabulky vychází *Obr. 5*, ve kterém je tučně vyznačena hranice sta procent. Tato hranice udává energetickou hodnotu, která je v jednom galonu benzínu (1 gal = 3,785 l). V porovnání s touto hodnotou jsou graficky vyneseny energetické hodnoty ostatních uvedených paliv. U stlačeného zemního plynu, vodíku a elektřiny je situace opačná, je uvedeno, jaké množství paliva je zapotřebí, aby energeticky vyrovnalo jeden galon benzínu, proto v grafu na *Obr. 5* nefigurují.

Tab. 1 Paliva pro spalovací motory [15].

PALIVA	chemická struktura	ekvivalent galonu benzínu*	energetický obsah (nižší)	energetický obsah (vyšší)	skupenství	teplota samovznícení (°C)
Benzín	C ₄ až C ₁₂	100 %	32,358 MJ/l	34,658 MJ/l	kapalné	257
Nafta (tř. 2)	C ₈ až C ₂₅	113 %	35,803 MJ/l	38,292 MJ/l	kapalné	316
Bionafta	metylestery olejů C ₁₂ až C ₂₂	B100 103 %, B20 109 %	33,322 MJ/l (B100)	35,667 MJ/l (B100)	kapalné	149
LPG	C ₃ H ₈ (propan), C ₄ H ₁₀ (butan)	73 %	23,678 MJ/l	25,479 MJ/l	plyn pod tlakem tvořící kapalinu	454 až 510
CNG	CH ₄ , C ₂ H ₆	3,5869m ³ odpovídá 100%	47,111 MJ/kg	52,19 MJ/kg	stlačený plyn	540
LNG	CH ₄	64 %	20,827 MJ/l	23,642 MJ/l	kryogenní kapalina	540
Etanol	CH ₃ CH ₂ OH	E85 73 až 83% E100 96,7 %	21,276 MJ/l (E100)	23,561 MJ/l (E100)	kapalné	423
Metanol	CH ₃ OH	49 %	15,957 MJ/l	18,173 MJ/l	kapalné	481
Vodík	H ₂	1 kg obsahuje 100 %	119,904 MJ/kg	141,819 MJ/kg	stlačený plyn nebo kapalné	566 až 582
Elektřina	-	33,7 kWh odpovídá 100%	-	-	-	-

* porovnání energetického obsahu jednoho galonu látky (není-li uvedeno jinak) s energetickým obsahem jednoho galonu benzínu

3 Dělení vozidel dle pohonných systémů



Obr. 5 Paliva pro spalovací motory.

3.1.3 Znečištění ovzduší

Při spalování směsi uhlovodíkového paliva se vzduchem vzniká dokonalou oxidací uhlíku a vodíku obsaženého v palivu oxid uhlíčitý (CO_2) a voda. Při nedokonalé oxidaci těchto prvků jsou ve spalinách přítomny oxid uhelnatý (CO) a vodík. Nedokonalé spalování může být zapříčiněno například celkovým nebo lokálním nedostatkem kyslíku, nedostatkem času pro oxidaci, nebo důsledkem disociace spalin. Při použití vzduchu jako okysličovadla je objemově nejvýznamnější složkou spalin dusík. Kyslík se objevuje ve výfukových plynech, když se celé jeho množství nepoužije k oxidaci paliva (v čerstvé směsi byl v přebytku, nebo se nevyužil kvůli nedokonalému promíšení). Za vysokých teplot ve spalovacím prostoru vznikají oxidací vzdušného dusíku oxidy dusíku sestávající zejména z oxidu dusnatého (NO) a malého množství oxidu dusičitého (NO_2). Při velmi nepříznivých podmínkách pro oxidaci paliva, jako je velký nedostatek kyslíku, nízká teplota v blízkosti stěn, překročení mezí zápalnosti nebo vynechání jiskry, obsahují výfukové plyny nespálené uhlovodíky (HC) různého složení. U motorů s vnější tvorbou směsi se tato složka objevuje jako součást spalin i z důvodu úniku části čerstvé směsi přímo do výfukového traktu [16]. Dále při spalování vznikají pevné částice, jako jsou saze (převážně u vznětových motorů), prach, popel, částičky rzi atd. V závislosti na typu paliva lze najít ve výfukových plynech také oxidy síry či sloučeniny olova.

Mezi škodliviny, které jsou sledovány, patří CO, oxidy dusíku, HC a u vznětových motorů navíc ještě saze a pevné částice.

Automobily se spalovacím motorem obsahují ještě další komponenty, které vozy s jiným typem pohonu nemusí mít vůbec instalovány nebo jsou nahrazeny jinými komponenty. Patří mezi ně například spojka, vícestupňová převodovka, palivová nádrž či celý výfukový systém.

3.2 Vozidla s hybridním pohonem

Hybridní vozidla jsou taková vozidla, na jejichž pohonu se podílí více než jedna hnací jednotka. Princip hybridního pohonu je založen na využití výhod jednotlivých pohonů při různých stavech vozidla. Zdroje energie pro tyto pohony mohou být akumulátory, paliva pro spalovací motory (popsána v kapitole 3.1.2), palivové články, setrvačnick.

Hybridní vozidla lze dělit dle více kritérií. Mohou se dělit podle stupně hybridizace nebo podle koncepce uspořádání.

3.2.1 Dělení dle stupně hybridizace

Jsou zde tři základní skupiny:

- plný hybrid (full hybrid);
- asistovaný hybrid (mild hybrid);
- mikrohybrid.

U plného hybridu je spalovací motor doplněn elektromotorem a baterií. Vozidlo je tak schopno volit mezi režimem jízdy čistě na elektřinu z akumulátoru pomocí elektromotoru nebo současné spolupráce spalovacího motoru a elektromotoru nebo jízdy pouze na spalovací motor. V praxi je často využívána jízda čistě na elektromotor při nízkých rychlostech, například v městském provozu, a spalovací motor je do pohonu zapojen až s požadavkem vyšších rychlostí. Výhodnost je v nulových emisích v městských zástavbách, kde často vozidlo stojí (v kolonách či na semaforech), v tomto stavu elektromotor neodebírá žádné palivo, nemá žádné volnoběžné otáčky. Při jízdě vyšší rychlostí spotřeba elektrické energie u elektromotoru rapidně stoupá, proto je jeho činnost nahrazena chodem spalovacího motoru, který snáz překoná odporové síly vozu za přijatelnou spotřebu energie ve formě paliva. Baterie automobilu je dobíjena při brzdění, tzv. rekuperací, kdy se z elektromotoru stává generátor a dobíjí akumulátor. Další možností, jak se baterie dobíjí, je při jízdě stálou rychlostí. Dobíjení probíhá za cenu nižšího přenášeného výkonu ke kolům, ale zaručuje, že baterie ve voze nebude nikdy vybita. Třetí možností, jak dobít akumulátor, je připojení vozidla k externí síti. Tuto možnost ale podporují jen hybridy do zásuvky (plug-in hybridy). Každá automobilka nazývá svůj pohonný hybridní systém svým vlastním jménem. Toyota pod názvem Hybrid Synergy Drive, automobilka Lexus jako Lexus Hybrid Drive a automobilka Hyundai pod názvem Hybrid Blue Drive. Jako příklad plného hybridu lze uvést vůz Lexus CT 200h, respektive hybridu do zásuvky Toyota Prius Plug-in Hybrid.

Další kategorií jsou asistované hybridy. Vozidla obsahují elektromotor, stejně jako plné hybridy, ale na rozdíl od nich nejsou schopna využít elektromotoru jako samostatného pohonu. To znamená, že elektromotor zde vykonává službu pouze pomocného pohonu. Elektromotor je do pohonu zapojen, když je požadavek na vyšší výkon ze strany řidiče. To může nastat například při předjíždění nebo rozjezdu vozidla z klidové polohy. Dále je elektromotor využíván jako generátor při rekuperaci a také jako startér. Elektromotor je dostatečně silný, aby dokázal vozidlo nastartovat, čímž odpadá nutnost instalovat do vozidla klasický startér. Typickým zástupcem této kategorie je Honda Insight Hybrid první generace (rok 1999) s pohonem nazvaným IMA (integrovaná asistence motoru).

Poslední skupinou jsou mikrohybridy. Tak se označují automobily vybavené technologií, která při zastavení vozidla automaticky vypne motor (např. na křižovatkách nebo při stání v kolonách). Tato technologie se nazývá Stop&Start, případně také Start-Stop, Stop&Go apod. První nastartování v režii řidiče obstará klasický startér. Poté počítač neustále vyhodnocuje podmínky, které rozhodují o uplatnění systému Stop&Start. Od těch základních, jako je teplota motoru či míra nabití baterie, až po méně zřejmé jako např. tlak v brzděm okruhu. V případě, že lze motor bezpečně vypnout, stane se tak již při rychlosti 20 km/h [17]. Elektronika vozu si uloží do paměti přesnou polohu jednotlivých válců a jejich aktuální spalovací cyklus. Snížení spotřeby díky této technologii se pohybuje mezi 5% a 10%, dle využití automobilu [18]. Jedním z prvních automobilů, využívajících Stop&Start, byl Volkswagen Polo už v roce 1980. Dnes tento systém využívá většina automobilek po celém světě.

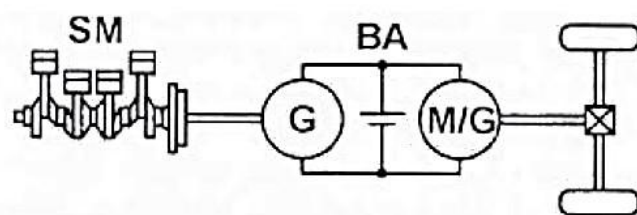
3.2.2 Dělení dle koncepce uspořádání

Podle toku výkonu lze hybridní pohony rozdělit do tří základních skupin na:

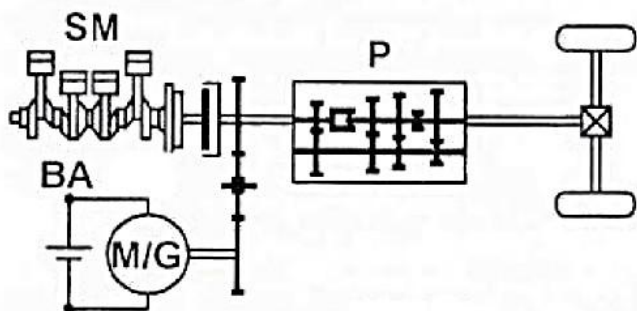
- sériové uspořádání;
- paralelní uspořádání;
- kombinované uspořádání.

Schémata všech tří skupin jsou vyobrazena na *Obr. 6*.

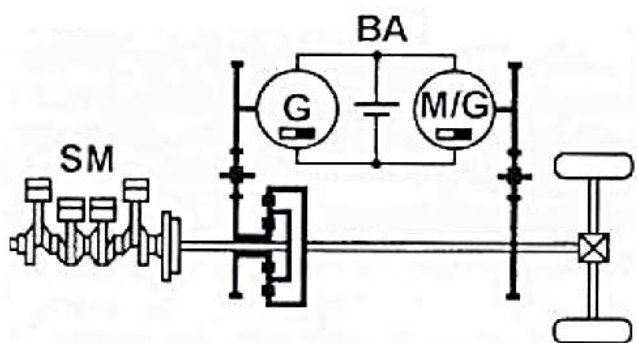
Sériové uspořádání je svou koncepcí nejbližší elektromobilu. Spalovací motor, generátor a elektromotor jsou za sebou. Kola vozidla jsou poháněna pouze elektromotorem, který čerpá elektrickou energii uloženou v bateriích. Spalovací motor průběžně dobíjí baterii nebo pokrývá výkonové špičky elektromotoru. Akumulátor je zpětně dobíjen i elektromotorem v generátorickém režimu při brzdění. Mezi hlavní výhody tohoto uspořádání patří ustálený chod spalovacího motoru, jeho otáčky se mohou pohybovat v okolí nejvyšší účinnosti stroje (popřípadě mohou být konstantní), a tak je docíleno minimální spotřeby a vypouštění škodlivin. Jak uvádí [19], lze dosáhnout teoretického limitu efektivit 37%, zatímco běžně je v autech dosahována zhruba 20% účinnost. Další výhodou je absence složité vícestupňové převodovky a jednoduchost zapojení. Nevýhodou je však vícenásobná transformace energie, která je zatížena účinnostmi jednotlivých soustrojí. Podle [20] dosahuje mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou hodnot okolo 55%.



Sériové uspořádání



Paralelní uspořádání



Smišené uspořádání

- | | |
|-----|------------------------|
| SM | Spalovací motor |
| P | Převodovka |
| BA | Baterie |
| G | Generátor |
| M/G | Elektromotor/generátor |

Obr. 6 Koncepte uspořádání hybridních automobilů [11].

Další možností uspořádání pohonu v hybridním voze je paralelní uspořádání. U paralelního uspořádání je elektromotor i spalovací motor propojen s hnacími koly. Podle jejich zapojení se buď každý samostatně, či společně starají o pohon vozu. Teoreticky je možná i jízda pouze na elektromotor, v praxi však k tomu ne vždy mívá elektropohon dostatečný výkon. Hlavní pohonnou jednotkou je spalovací motor. Ten běží stále nebo většinu jízdy, záleží na tom, zda se jedná o plný nebo asistovaný hybrid. Elektromotor se používá pro rozjezdy eventuálně včetně jízdy nižšími rychlostmi, při akceleraci v jakékoliv rychlosti pro zvýšení výkonu a točivého momentu nebo opět jako generátor k dobíjení baterie. Při provozu postačuje analogicky měnit otáčky elektrického stroje ve vztahu k motoru spalovacímu, přičemž maximální otáčky elektromotoru odpovídají maximálním otáčkám spalovacímu motoru. Vozidla s paralelním uspořádáním dosahují vyšší účinnosti přenosu energie ke kolům než vozidla se sériovou koncepcí, protože odpadá několikanásobná transformace energie. Další výhodou je, že není nutný velkoobsahový spalovací motor, nižší výkon menšího motoru kompenzuje přídavná síla elektromotoru. Nevýhodou je nutnost instalace mechanické vícešupňové převodovky a mechanického připojovacího prostředku spalovacího motoru a elektromotoru. Spalovací motor je mechanicky propojen s poháněnou nápravou, jeho účinnost je tak snížena o požadavek na variabilitu otáček při běžném provozu, jako u automobilů s konvenčním pohonem.

Kombinované pohony lze rozdělit na přepínatelné pohony a pohony s dělením výkonu. Přepínatelné pohony mohou pracovat buď při rozpojené spojce jako čistě sériové, nebo při sepnutí spojky jako čistě paralelní. Jako dělič výkonu se běžně používá planetová diferenciální převodovka se dvěma stupni volnosti, která dělí výkon spalovacího motoru na část, která se přenáší mechanicky s vysokou účinností na hnací kola, a na druhou část pro pohon generátoru. Ten pak podle potřeby napájí buď akumulární prvek, nebo trakční motor mechanicky spojený s hnacími koly vozidla [21]. Kombinované uspořádání slučuje výhody předešlých dvou uspořádání a jejich nevýhody minimalizuje. To je však vykoupeno větší technickou náročností a s ní spojenými vyššími pořizovacími náklady.

Vozidla s hybridním pohonem dosahují obecně vyšších účinností, než konvenční automobily se spalovacím motorem. Klesá u nich spotřeba paliva, často tvořeného i elektrickou energií, která může být vyráběna obnovitelnými zdroji, a také splňují přísnější emisní normy, díky provozu spalovacího motoru při optimálním zatížení a snižování jeho obsahu. Zároveň však uživatel vozu není připraven o komfort rychlého dočerpání pohonné hmoty v podobě možnosti přečerpání tekutiny určitého objemu do palivové nádrže. Největší překážkou masovému rozšíření je vysoká pořizovací cena oproti obyčejným automobilům se spalovacími motory. Je třeba zaplatit nákladný vývoj, složitější řídicí technologii, druhou pohonnou jednotku, více mechanických prvků, akumulátory apod.

3.3 Vozidla s elektrickým pohonem

Elektromobil je dopravní prostředek, který jezdí čistě na elektřinu. Jeho jedinou pohonnou jednotkou je elektromotor (případně více elektromotorů). Elektrickou energii má uloženu v akumulátorech umístěných ve voze. Elektromobilem lze také nazývat vozidlo, které má na palubě umístěny palivové články a při spotřebě vodíku se stávají zdrojem elektrické energie pro trakční elektromotor, častěji se však o takových vozidlech hovoří jako o vodíkových automobilech.

V elektromobilu se využívá výhod elektromotoru, který poskytuje téměř konstantní točivý moment v celém rozsahu jeho pracovních otáček oproti pohonům se spalovacím motorem, kde je maximum točivého momentu k dispozici pouze v úzkém spektru otáček motoru. Elektromotor dokáže pracovat s mnohem větším rozsahem otáček, proto v elektromobilech často úplně chybí vícestupňové převodovky. Reverzní rychlostní stupeň převodovky je nahrazen přímým otáčením pohonu v opačném směru, což elektromotor bez problému umožňuje.

3.3.1 Analýza Well-To-Wheel

Elektromobily pracují s energií mnohem efektivněji než automobily se spalovacími motory. Analýza Well-To-Wheel (WTW) hodnotí celý řetězec od zisku paliva až po jeho transformaci na kinetickou energii užívanou k pohonu kol automobilu. Účinnost WTW udává poměr energie přenesené ke kolům ku primární energii ve zdrojích (ropné zdroje, doly).

Často se ještě dělí na dvě na sebe navazující skupiny:

3 Dělení vozidel dle pohonných systémů

- Well-To-Tank (resp. Well-To-Pump) – WTT (WTP);
- Tank-To-Wheel (resp. Pump-To-Wheel) – TTW (PTW).

Řetězec WTT (z primárního zdroje energie do palivové nádrže) bere v úvahu energie spotřebované na získání, zpracování a dopravu paliva. Podle [22] je pro automobily na fosilní paliva je WTT 84,3 % pro naftu, resp. 80,6 % pro benzín. To znamená, že na těžbu, rafinaci a distribuci jednoho litru pohonné hmoty, dodané do palivové nádrže vozidla, se spotřebuje ekvivalent přibližně jedné pětiny litru paliva.

U elektrické energie do elektromobilů se WTT stanovuje poměrně obtížně, protože velmi závisí na daném energetickém mixu. Průměrná účinnost výroby elektrické energie byla zvolena 40 %. Další ztráty vznikají při distribuci elektrické energie, zde se uvažuje účinnost kolem 92 %. Celková účinnost Well-To-Tank pro elektrickou energii WTT_e je dána součinem dvou předchozích a je vyčíslena ve vztahu (1).

$$WTT_e = (\eta_v \cdot \eta_d) \cdot 100 = (0,40 \cdot 0,92) \cdot 100 = 36,8 \% \doteq 37 \%, \quad (1)$$

kde η_v je účinnost výroby elektrické energie (-),

η_d je účinnost distribuce elektrické energie (-).

TTW udává procentuální poměr energie přenesené ke kolům ku vstupní energii v palivu (nafta, benzín, elektřina) pro automobil – dodanou např. do palivové nádrže či elektrické zásuvky ve voze. TTW u vozidel na fosilní paliva (nepočítaje hybridy) při nominálních provozních podmínkách nepřekračuje 22 % u nafty a 18 % u benzínu. Jsou to však hodnoty při ideálních podmínkách, účinnosti jsou ve skutečnosti nižší, není zde totiž dostatečně zohledněn vliv stylu jízdy řidiče, častý pohyb hustém městském provozu apod.

Účinnost TTW u elektromobilů je složena z několika dílčích, jako je účinnost nabíječky η_n , nabíjecího a vybíjecího cyklu baterií η_c , elektrické řízení motoru η_e a účinnost samotného elektromotoru η_m . Díky téměř konstantní účinnosti elektromotoru v závislosti na otáčkách není výsledek ovlivněn tolik typem jízdy (městská, mimoměstská), jako u vozidel se spalovacími motory. Ve srovnání není uvažován dojezd vozidla, na nějž má výrazný vliv počasí (hlavní vliv má teplota na baterie). Také není uvažována rekuperace elektrické energie, která příznivě ovlivňuje energetickou hospodárnost automobilu.

Výsledná účinnost TTW pro elektřinu je:

$$\begin{aligned} TTW_e &= (\eta_n \cdot \eta_c \cdot \eta_e \cdot \eta_m) \cdot 100 = (0,89 \cdot 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,93) \cdot 100 = \\ &= 72,3 \% \doteq 72 \%. \end{aligned} \quad (2)$$

Z toho vyplývá, že přeměna paliva je v elektromobilu více jak 3x efektivnější, než je tomu u vozů se spalovacím motorem (bez hybridů) stejné hmotnosti a stejného výkonu (není však brán v potaz dojezd vozidla).

Celková účinnost Well-To-Wheel je dána opět součinem WTT a TTW zvlášť u elektromobilů a zvlášť u konvenčních vozů. Celková WTW_f u automobilů se spalovacími

3 Dělení vozidel dle pohonných systémů

motorem je vyčíslena ve vztahu (3) a (4) a WTW_e u elektromobilů s lithiovými akumulátory je vyčíslena ve vztahu (5).

$$\text{nafta: } WTW_f = (WTT_f \cdot TTW_f) \cdot 100 = (0,843 \cdot 0,22) \cdot 100 = 18,5 \% , \quad (3)$$

$$\text{benzín: } WTW_f = (WTT_f \cdot TTW_f) \cdot 100 = (0,806 \cdot 0,18) \cdot 100 = 14,5 \% , \quad (4)$$

$$\text{elektřina: } WTW_e = (WTT_e \cdot TTW_e) \cdot 100 = (0,37 \cdot 0,72) \cdot 100 = 26,6 \% , \quad (5)$$

kde WTT_f je celková účinnost Well-To-Tank pro fosilní palivo (%),

TTW_f je celková účinnost Tank-To-Wheel pro fosilní palivo (%).

Z celkových výsledků plyne, že i přes zatím ne příliš efektivní výrobu elektrické energie je provoz elektromobilů energeticky úspornější než provoz automobilů na fosilní paliva.

Tab. 2 Analýza Well-To-Wheel pro různé druhy paliv.

Palivo	WTT (%)	TTW (%)	WTW (%)
elektřina	37,0	72	26,6
benzín, spalovací motor	80,6	18	14,5
nafta, spalovací motor	84,3	22	18,6
nafta HEV	84,3	31	26,1
vodík HEV CV	58,4	52	30,4
vodík FCV CV	58,4	46,6	27,2
vodík HEV SV	55,9	52	29,1
vodík FCV SV	55,9	46,6	26,1

FCV - Fuel Cell Vehicle (automobil na vodíkový pohon)

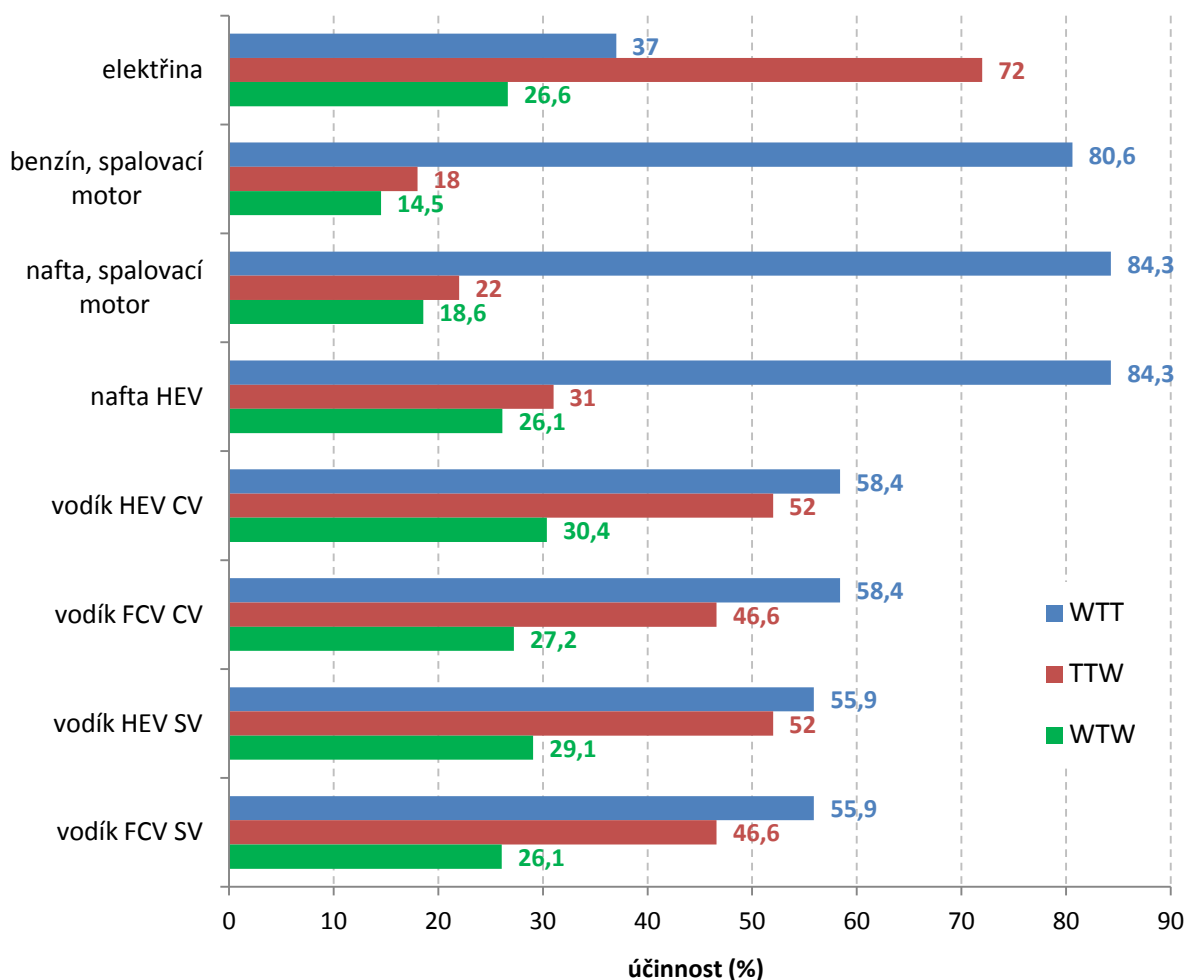
HEV - Hybrid Electric Vehicle (hybridní automobil)

CV - centrální výroba vodíku

SV - staniční výroba vodíku

3 Dělení vozidel dle pohonných systémů

V Tab. 2 jsou uvedeny účinnosti analýzy WTW i pro další paliva a slouží jako vstupní data pro graf na Obr. 7. Hodnoty pro vodíkový pohon vycházejí z [69].



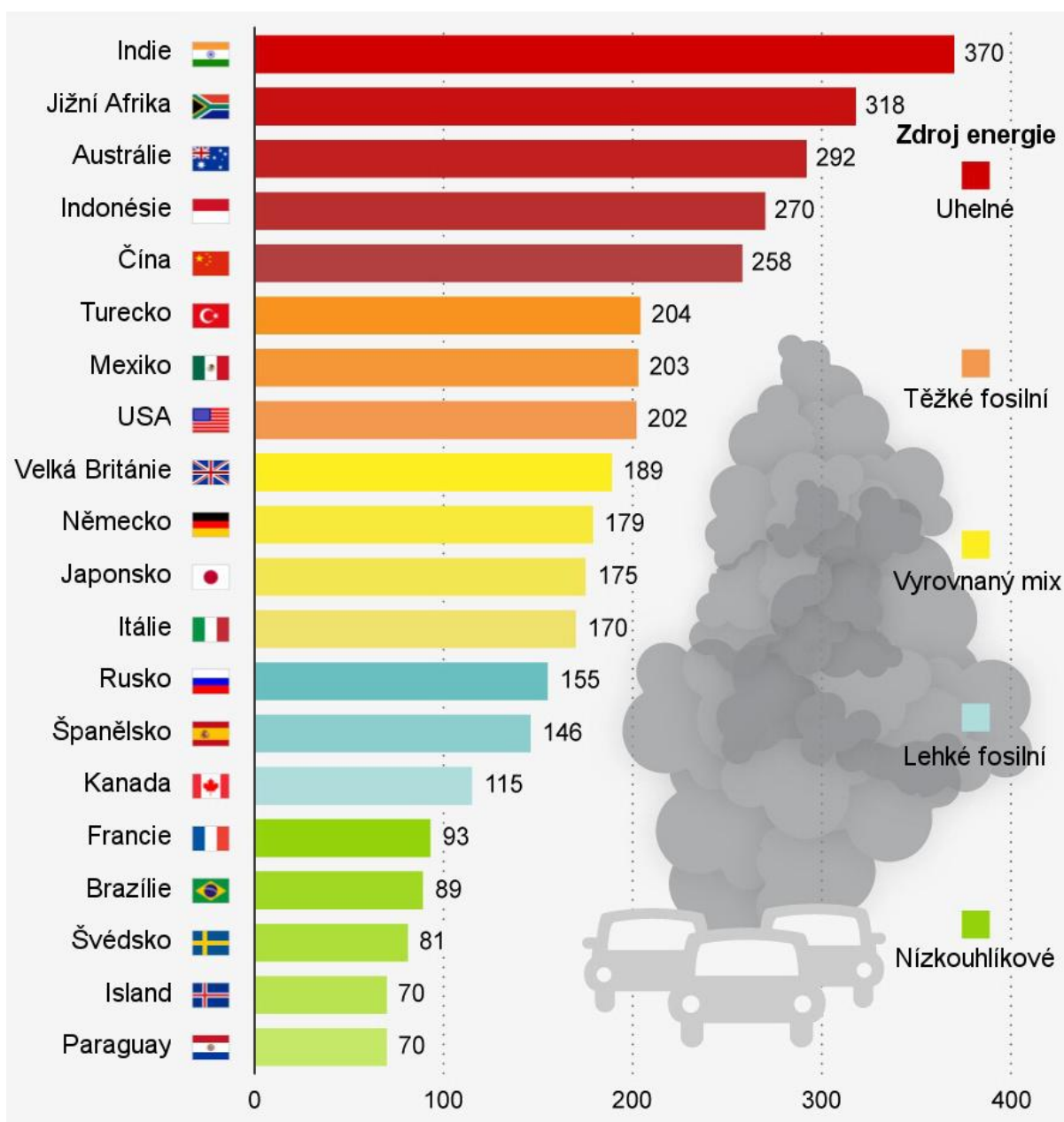
Obr. 7 Analýza Well-To-Wheel pro různé druhy paliv.

Efektivita provozu elektromobilů je přímo závislá na efektivitě výroby elektrické energie. Platí zde: čím „čistší“ výroba elektrické energie, tím „čistší“ provoz elektromobilů (vztaženo ke škodlivým látkám produkovaným do ovzduší). Obr. 8 popisuje emise oxidu uhličitého elektromobilů napájených z rozvodné sítě. Nejde o emise vozidel, ale jde o produkci CO₂ při výrobě elektrické energie, která by byla spotřebována v elektromobilu na jeden kilometr jízdy. Jde o zrcadlení energetického mixu dané země do provozu elektromobilů. Na vodorovné ose jsou vyneseny vyprodukované gramy CO₂ na 1 km jízdy elektromobilem (např. Nissan Leaf).

V Paraguay je produkce CO₂ pouze 70 g/km, protože její energetický mix je tvořen z 99,93 % obnovitelnými zdroji energie (především využití energie vody) [24].

V následující kapitole bude elektromobil podrobněji probrán, budou popsány jeho hlavní části, konstrukce a provoz.

3 Dělení vozidel dle pohonných systémů



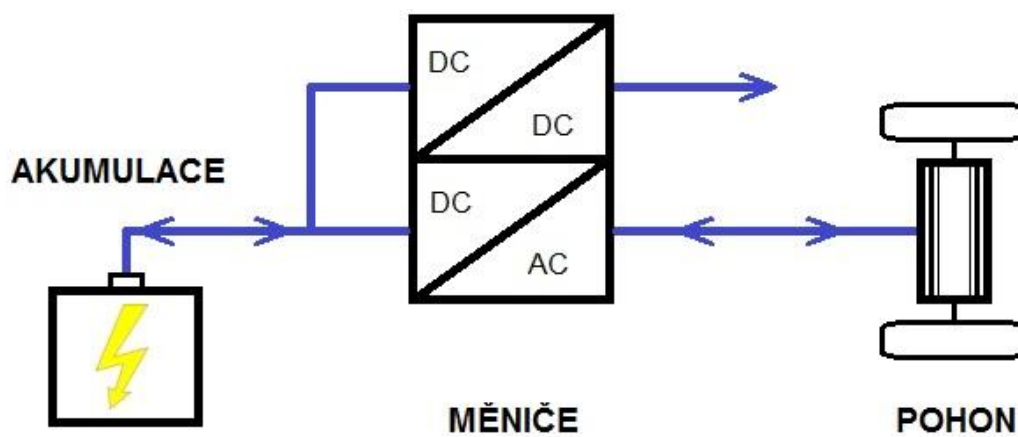
Obr. 8 Gramů CO₂ vyprodukovaných při výrobě elektrické energie užitě k ujetí 1 km elektromobilem [23].

4 Elektromobil

Elektromobil je možno z pohledu principu fungování rozdělit do tří základních bloků:

- pohon (jeden či více elektromotorů);
- měnič;
- akumulace elektrické energie.

Koncepce je znázorněna na *Obr. 9*. EV nejsou samozřejmě omezena pouze na skladbu z těchto tří částí, jde však o základní stavební kameny, bez kterých se žádný elektromobil neobejde.



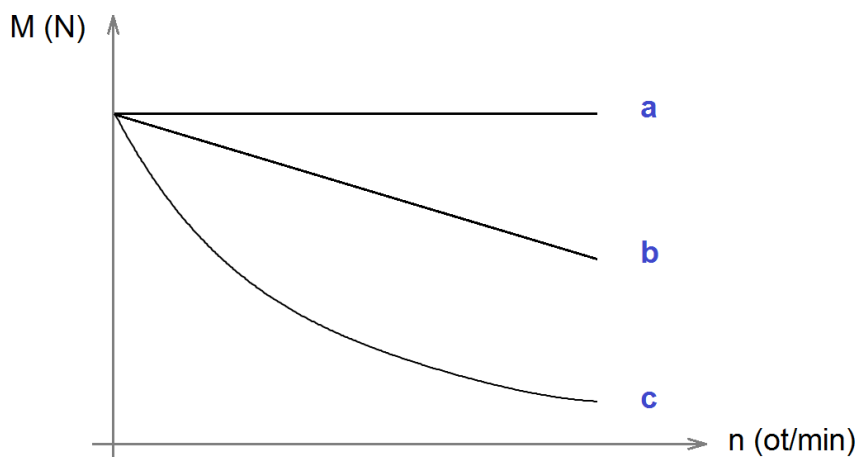
Obr. 9 blokové schéma elektromobilu.

4.1 Pohon elektromobilu

4.1.1 Elektromotor

Základní a jedinou pohonnou jednotkou ve vozidle je elektromotor (elektromotory). Při návrhu pohonu je nutno zvolit elektromotor s vhodnou momentovou charakteristikou. Momentová charakteristika je závislost momentu motoru M (N) na otáčkách motoru n (otáčky za min). Různé typy elektromotorů mají různé momentové charakteristiky (*Obr. 10*).

Křivka a je absolutně tvrdá charakteristika a disponují jí synchronní elektromotory. Druhá charakteristika b je tvrdá momentová charakteristika a znázorňuje lineární pokles momentu na hřídeli stroje s rostoucími otáčkami. Tato charakteristika je společná pro stejnosměrné derivační motory a asynchronní motory v pracovní oblasti momentové charakteristiky. Poslední křivka c je měkká momentová charakteristika a vyskytuje se u sériově buzených stejnosměrných motorů.

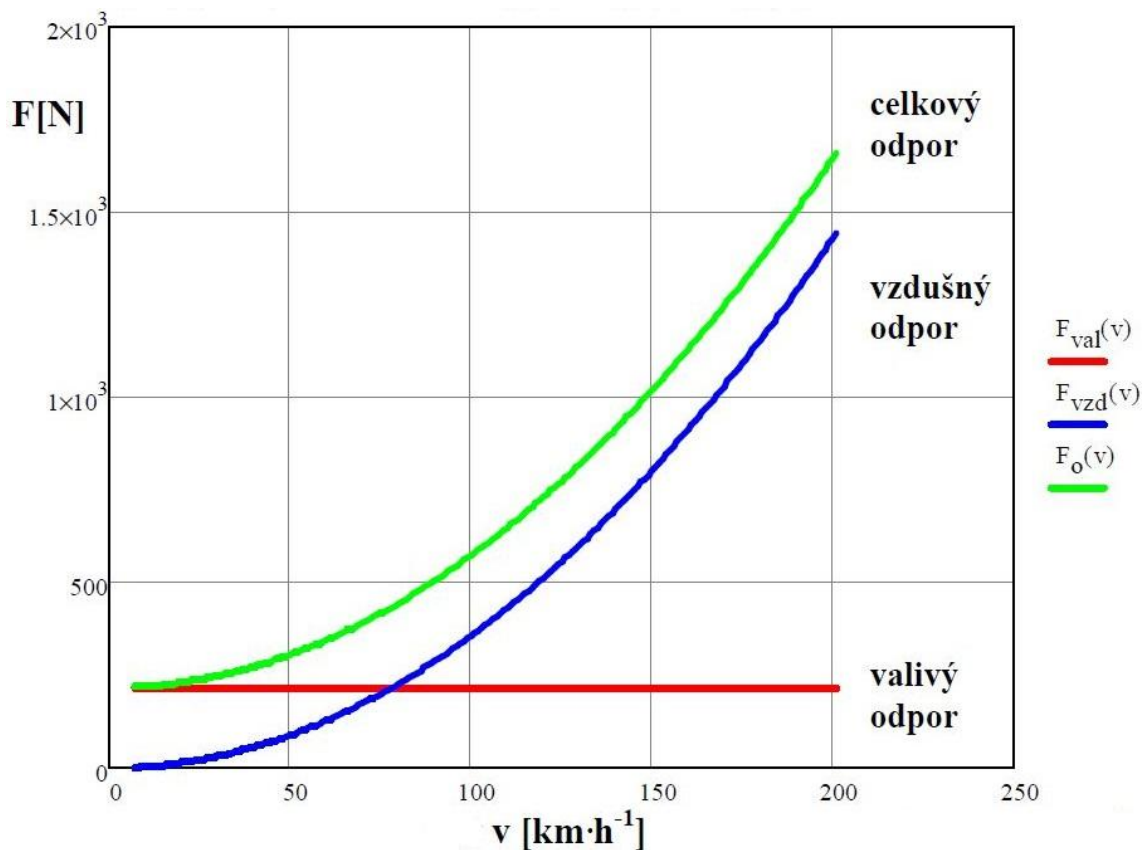


Obr. 10 Momentové charakteristiky elektromotorů.

Kromě správné momentové charakteristiky musí být pohon i správně výkonově dimenzován. Motor musí být dostatečně silný, aby překonal všechny odporové síly a umožnil tak rozjezd vozidla i jeho akceleraci při vyšších rychlostech. Dle Obr. 11 celková odporová síla F_o působící na vozidlo roste exponenciálně se zvyšující se rychlostí vozidla v . Z toho důvodu bývá v elektromobilech často elektronicky omezoována maximální rychlost. Důvodem není neschopnost pohonu takovou rychlost vyvinout, nýbrž její nepříznivý vliv na spotřebu elektrické energie, která je díky omezené kapacitě akumulátorů kritickým parametrem. Pokud je zvolen předdimenzovaný výkon elektromotoru, vozidlo doplácí na jeho velkou hmotnost. Poddimenzovaný motor sníží dynamiku pohonu a dochází k jeho častému přetěžování, čímž rostou ztráty v něm a krátí se jeho životnost. Požadavky minimální hmotnosti a minimálních ztrát jsou důležité opět hlavně díky omezené kapacitě baterií ve voze.

Doba komutátorových strojů je již dávno pryč. Důvodem k jejich útlumu je hlavně mechanický komutátor, který byl problematický z hlediska spolehlivosti a proudového zatížení. V dnešní době, kdy je již k dispozici dostačující výkonová elektronika a mikroelektronika, již k pohonu lze bez problémů využívat bezkomutátorové střídavé motory, tj. synchronní a asynchronní motor. Jejich výhody jsou především v menších geometrických rozměrech, oproti stejnosměrným motorům, dále je to vysoká proudová a momentová přetížitelnost a nižší nároky na údržbu.

V poslední době se jako nejvýhodnější motor pro elektrickou trakci jeví synchronní motor s permanentními magnety. Oproti asynchronnímu stroji má synchronní motor s permanentními magnety při stejné hmotnosti vyšší točivý moment, vyšší účinnost a menší nároky na chlazení. Jeho další předností je, že může vyvíjet maximální točivý moment už od nulových otáček [25].



Obr. 11 Závislost odporových sil osobního automobilu na jeho rychlosti [26].

4.1.2 Umístění elektromotoru

Umístění elektromotoru v EV není tak jednoznačná záležitost, jako u vozidel se spalovacími motory. U nich nalezneme pohonnou jednotku v drtivé většině případů nad přední nápravou (ať už pohání jakoukoliv nápravu), tzn. v přední části vozu. U elektromobilů se vyskytují nejčastěji tyto tři případy umístění elektromotoru:

- vzadu (používá např. BMW i3, Tesla S, Peugeot iOn, Smart ED);
- vpředu (používá např. Mini E, THINK City);
- v kolech (používá např. Venturi Volage, Ford Fiesta E-Wheel Drive, Mitsubishi Colt EV, Volvo ReCharge).

Elektromotor je menší a lehčí než spalovací motor, proto je možné ho uložit přímo k poháněné nápravě. Malé EV mívají často motor vpředu. Stejně tak elektromobily vzniklé přestavbou z původně spalovacích verzí využívají původně projektovaný prostor pod přední kapotou pro pohonnou jednotku. Zatím co větší či sportovněji laděné vozy mají elektromotor vzadu. Není to však pravidlem. Speciální případ jsou elektromotory zabudované přímo v kolech.

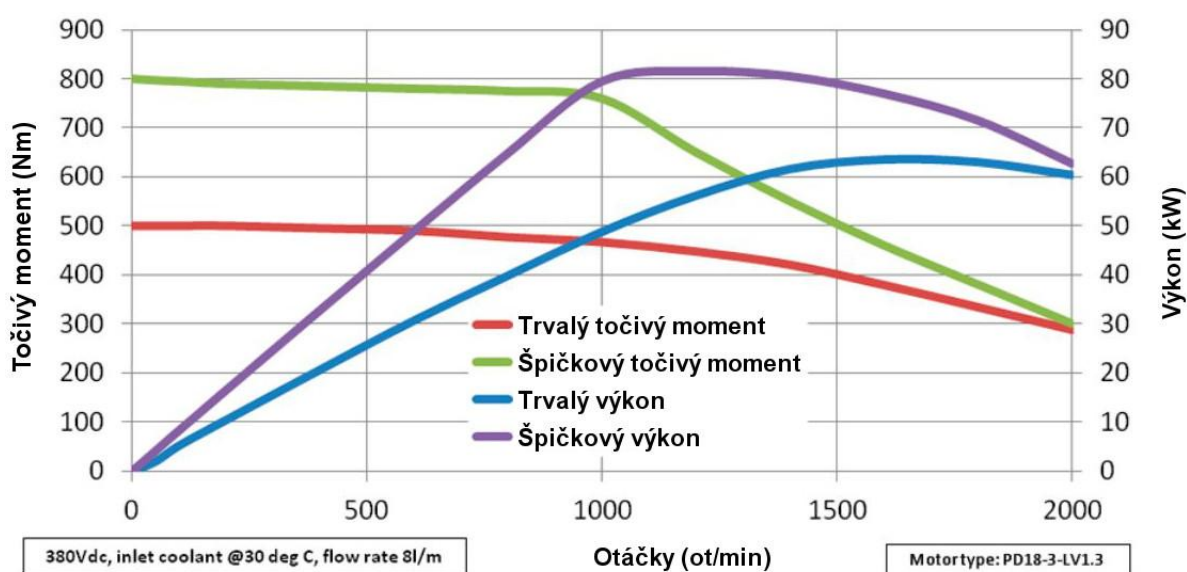
4.1.3 Elektromotory v kolech

Nespornou výhodou tohoto systému je kromě určitého zvýšení účinnosti pohonu hlavně výrazné zjednodušení mechanické konstrukce automobilu. Samostatně elektricky poháněná kola nepotřebují žádnou transmisii (převodovka, spojka, rozvodné hřídele), šetří místo v karoserii i spoustu kabeláže, zjednodušují její konstrukci a snižují její hmotnost. Kola se dají ovládat zcela nezávisle, což může při použití vhodného softwaru přinést značné zvýšení bezpečnosti v extrémních situacích i zlepšení jízdních vlastností v terénu [27], [28]. V případě osazení všech čtyř kol vozidla elektromotory lze pak libovolně řídicí jednotkou přepínat mezi režimy pohonu jen předních kol, jen zadních kol, nebo všech čtyř kol. V kolech však nejsou jen elektromotory, je v nich implementována i veškerá ovládací elektronika, chladicí systém, brzdový systém a odpružení. Řešení s elektromotory integrovanými do kol nabízí možnost vyvinout vůz schopný jízdy bočním směrem, což významně usnadní například parkování.

Největším problémem této technologie je hmotnost celého kola. Hmotnosti kol i s elektromotory se pohybují zhruba od 30 kg do 55 kg. Umístění elektromotorů v kolech výrazně zvyšuje neodpruženou hmotnost, což se negativně projeví na jízdních vlastnostech, zejména zhoršením kontaktu kola s vozovkou.

Toto zhoršení jízdních vlastností však není tak drastické, aby nedovolovalo technologii se šířit. V současné době se vývojem v této oblasti zabývá několik firem. Mezi ty nejvýznamnější patří Protean se svým Protean Drive (*Obr. 13*), Michelin s technologií nazvanou Active Wheel, E-Wheel Drive od firmy Schaeffler a Mitsubishi se systémem MIEV (Mitsubishi In-wheel motor Electric Vehicle).

Výkony elektromotorů v kolech se pohybují od 30 kW do 75 kW. Protean Drive dosahuje krouticího momentu až 700 Nm. Výkonová charakteristika pro Protean Drive PD18 je vynesena na *Obr. 12*. Elektromotory neslouží pouze jako pohon, ale dokážou také elektrickou energii při brzdění rekuperovat. PD18 to podle [29] zvládá až s 85 % účinností.



Obr. 12 Výkonné charakteristiky Protean Drive PD18 [29].



Obr. 13 Protean Drive PD18 [29].

Firmy se v současné době snaží kromě stálého zdokonalování začít své produkty sériově vyrábět, snížit tak jejich cenu a nabídnout je k dispozici na trh.

4.2 Elektronika v elektromobilu

4.2.1 Měníč elektrické energie

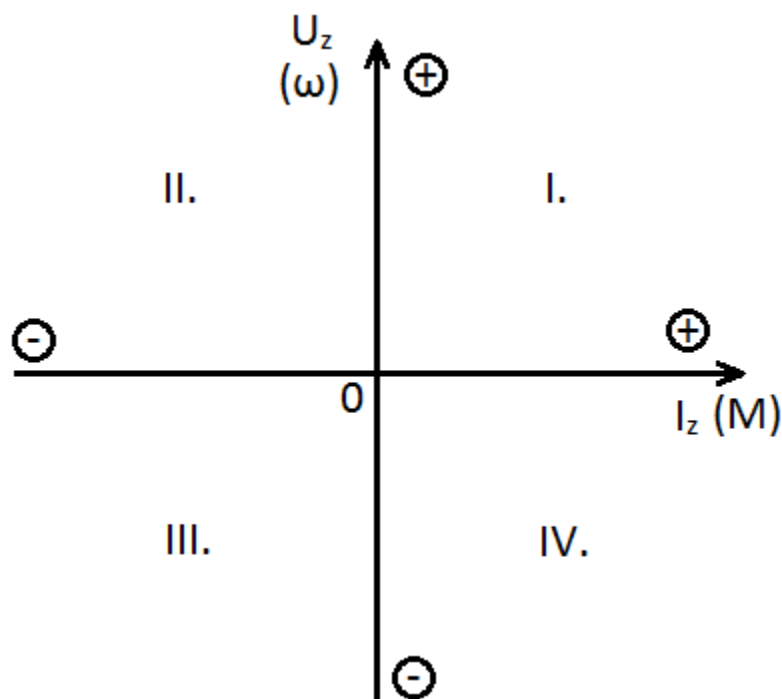
Jednou z hlavních součástí elektromobilu je měnič elektrické energie. Měníč je zařízení, které slouží k přeměně parametrů elektrické energie. Měníče v EV jsou nejčastěji realizovány pomocí výkonových spínacích tranzistorů (obvykle IGBT). V elektřinou poháněném vozidle se nacházejí dva typy měničů, měnič DC/DC a měnič DC/AC.

DC/DC měnič mění pouze hladinu napětí elektrické energie uložené v akumulátorech ve vozidle. Tento měnič potom napájí všechny stejnosměrné spotřebiče. V podstatě vše, kromě pohonu vozidla, tzn. osvětlení vozu, klimatizaci, palubní počítač, všechna čerpadla, všechny servomotory atd.

DC/AC měnič se stará o napájení pohonu vozu, tj. o střídavý synchronní motor (ve většině případů). Střídače mohou být jak v jednofázovém, tak trojfázovém provedení. Obvykle pracují v režimu sinusové pulzní šířkové modulace s vysokofrekvenčním nosným

kmitočtem 2 až 20 kHz. Činný výkon je přenášen první harmonickou složkou výstupního napětí, která se pohybuje v rozmezí 0 až 400 Hz. Vyšší harmonické složky výstupního napětí způsobují pouze přídavné vířivé a hysterezní ztráty v železe [25].

Soustava měnič-motor může pracovat ve čtyřech různých režimech. Tyto režimy odpovídají čtyřem kvadrantům roviny tvořené osou proudu motorem (odpovídá momentu) a osou napětí na motoru (odpovídá otáčkám), viz *Obr. 14*. Elektromotor může pracovat v motorickém režimu (I. a III. kvadrant), nebo v režimu brzděném (II. a IV. kvadrant). Obecně platí, že v motorickém režimu je elektrická energie čerpána ze zdroje (baterie) přes měnič do motoru. V brzděném režimu je kinetická energie v motoru převáděna na elektrickou energii a ta se přes měnič vrací zpět do baterie. Tento jev se nazývá rekuperace energie [25]. Proto nutně musí být měnič DC/AC čtyřkvadrantový, na rozdíl od DC/DC.



Obr. 14 Pracovní kvadranty pulsního měniče [25].

4.2.2 Dobíjení elektromobilu

Dobíjení elektromobilu je nedílnou součástí jeho provozu. V této kapitole nebudou řešeny parametry akumulátorů, kterým je přímo úměrná potřeba dobíjení a dobíjecí infrastruktura. Budou popsány základní režimy připojení pro nabíjení a typy konektorů.

Pro normální (pomalé) dobíjení je ve vozidle zabudována od výrobce palubní dobíječka, která je právě tím prvkem, jež mění AC z externího zdroje na DC, potřebný k dobití baterií ve vozidle. V případě například Nissanu Leaf o výkonu 3,3 kW, v případě Tesly Model S 10 kW. Jako příplatková výbava u obou vozů je palubní dobíječka dvojnásobného výkonu, tedy 6,6 kW resp. 20 kW. Pro ještě rychlejší dobíjení se využívá externích dobíječek, které kabelem

vozidlu dodávají usměrněný proud, který teče přímo do baterií, palubní nabíječka není v činnosti. Nejsou omezeny prostorem ve vozidle, proto mohou mít dostatečné rozměry a mohou tak splnit všechna bezpečnostní hlediska a výkonové požadavky k velmi rychlému dobíjení vozidla (maximum standardu CHAdeMO je 62,5 kW a Supercharger 135 kW).

Standard IEC 61851-1 definuje čtyři módy nabíjení EV ze zdroje energie [30].

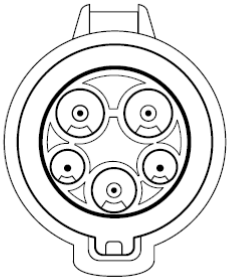
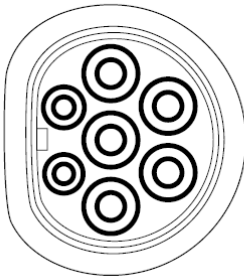
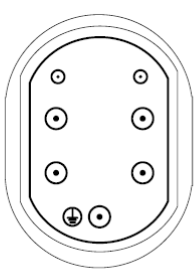
- Režim 1 (AC) - standardní domovní zásuvka (víceúčelová) a prodlužovací kabel.
- Režim 2 (AC) - standardní domovní zásuvka (víceúčelová) a kabel s ochranným přístrojem.
- Režim 3 (AC) - Jednoúčelová zásuvka připojená do vyhrazeného obvodu s řídicími a ochrannými funkcemi.
- Režim 4 (DC) – Rychlé dobíjení využívající externí nabíječky

Režimy nabíjení AC (1 až 3) jsou ještě definovány zvlášť v IEC 62196-2 a rychlonabíjení DC v režimu 4 se věnuje IEC 62196-3.

Jsou zde také definovány tři případy kabelového připojení. Příklad A, kdy je nabíjecí kabel trvale upevněn k automobilu, případ B, kdy je kabel volný na obou koncích, a případ C, pro kabel pevně připojený k nabíjecí stanici.

Standard IEC 62196-2 “Vidlice, zásuvky, vozidlová zásuvková spojení a vozidlové přívodky – nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením” standardizuje řadu zásuvek, které mohou být použity pro nabíjení v režimu 3. Tyto typy jsou popsány v *Tab. 3*. Zásuvky typu 2 a 3 jsou i na *Obr. 16*.

Tab. 3 Zásuvky pro dobíjení EV v režimu 3 [31].

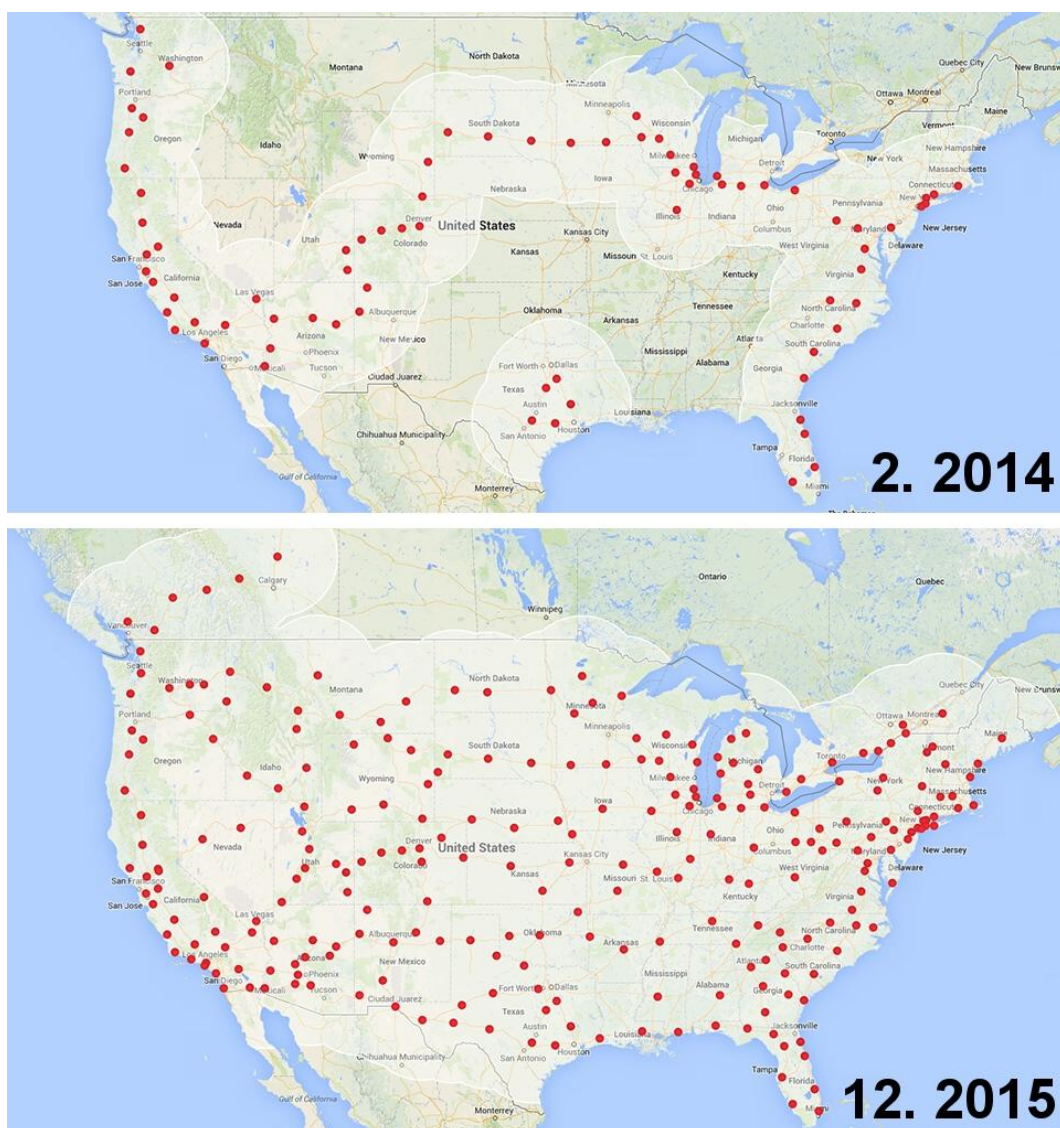
Parametry	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Fáze	1-fáz.	1-fáz. / 3-fáz.	1-fáz. / 3-fáz.
Proud	32 A	70 A (1-fáz.) 63 A	32 A
Napětí	250 V	500 V	500 V
Počet pinů	5	7	5 nebo 7
Zaslepovací zařízení	Ne	Ne	Ano
Schéma			

Jednotliví výrobci příslušenství se drží standardů IEC. Kabel s jedním ze tří definovaných konektorů (typ 1 až 3) vybaví např. ochrannými prvky dle způsobu použití, to znamená, na který režim nabíjení je určený (režim 1 až 4). Tento propojovací prvek pak musí ještě splňovat případné uchycení na jedné straně, podle případu A až C.

4 Elektromobil

Aby to nebylo tak jednoduché, k technickému pokroku se téměř vždy připletou národní či ještě vyšší zájmy. Jak by byl svět jednoduchý, kdyby byl celosvětově s platností pro všechny velké automobilové koncerny a zbývající automobilky popsán způsob dobíjení na různých hladinách, dobíjecí konektory, propojovací kabely a komunikační rozhraní.

Automobilky z celého světa, Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ford, General Motors, Porsche a Volkswagen, se sice dohodly na jednotném standardu dobíjení pro své elektromobily Combo 2, který jim schvaluje i Evropská komise, ale dnešní vybudovanou dobíjecí infrastrukturu nelze jen tak smazat z map. Japonský standard CHAdeMO (Charge for moving) využívají automobilky Toyota, Nissan, Honda, Mitsubishi a Subaru. Ke konci března roku 2014 je vystavěno 3643 rychlodobíjecích stanic, z toho 1072 jich je v Evropě, většina však v domácím Japonsku [32].



Obr. 15 Dobíjecí stanice Supercharger v Severní Americe [33].

4 Elektromobil

Oproti tomu firma Tesla Motors čile buduje síť dobíjecích stanic Supercharger pro své velmi dobře prodávající se modely (především Tesla S). USA lze díky této síti stanic projet bez problému od západu na východ a naopak, viz *Obr. 15*. A to zdarma pro majitele vozů Tesla. Ke konci roku 2015 má být jejich počet několikanásobný. I Evropa zažívá invazi vozů Tesla, je zde vybudováno zatím 14 stanic Supercharger, ale počítá se s jejich dalším rozšiřováním [33].

Pro ucelení, dobíjecí systém CCS, neboli Combined Charging System (zkráceně Combo System) je všeobecná zkratka, kde se kombinuje dobíjení AC i DC v jednom konektoru. Přičemž AC konektor je buď zastoupen severoamerickým jednofázovým standardem SAE J1772 a pak se jedná o SAE CCS, tomu se říká Combo 1 (používá japonský Yazaki konektor), nebo německým (potažmo evropským) 3 fázovým standardem Mennekes, a pak se jedná o Mennekes CCS, či Mennekes Combo, nebo jen Combo 2 (používá Mennekes konektor). Standard CHAdeMO a Supercharger pracuje jen s DC.

	Typ 1 / USA	Typ 2 / Evropa	GB / Čína
AC	 SAE J1772 / IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB Part 2
DC	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB Part 3 / IEC 62196-3
COMBO	 SAE J1772 / IEC 62196-3	 IEC 62196-3	

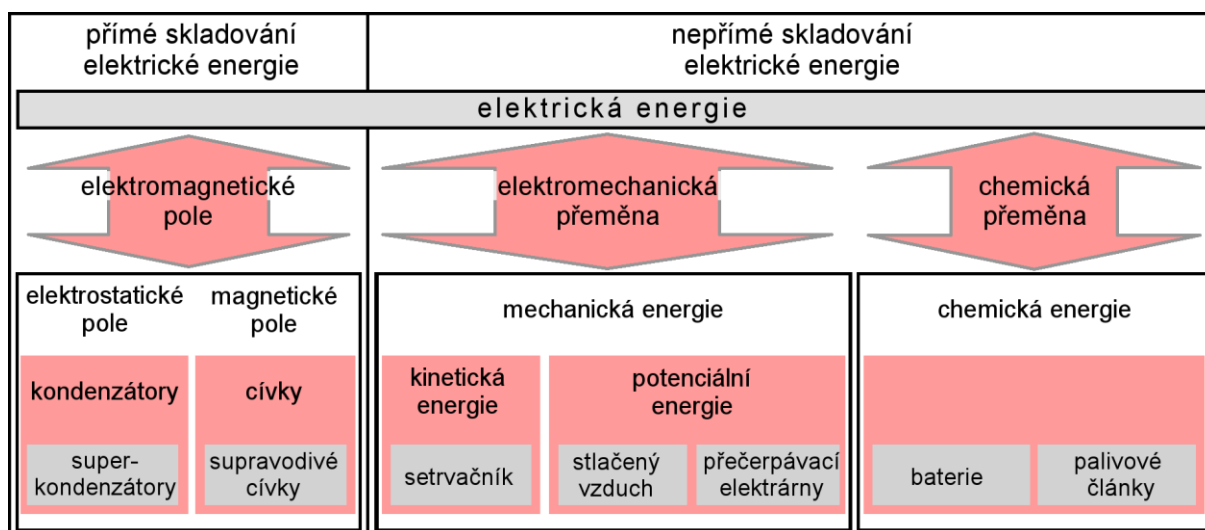
Obr. 16 Konektory Combined Charging System.

Proto když majitelé elektromobilů a plug-in hybridů dorazí na svých cestách k veřejné dobíjecí stanici, nemají ještě zdaleka vyhráno. Musí doufat, že na stanici naleznou kompatibilní konektory, nebo v kufru svého vozu budou mít potřebnou redukci. Ani po úspěšném připojení vozidla k síti si ještě nemohou bezstarostně oddechnout. Protože majitelé dobíjecích stanic si za každou kilowatthodinu nebo za každý úkon dobítí naúčtují určitou sumu. Platby ovšem v bezobslužných stanicích neprobíhají hotovostně, nýbrž často je třeba se elektronicky identifikovat pomocí dobíjecích karet. A zde se objevuje další problém, co společnost, to jiný identifikační systém. Vlastnictví karet je tak podmíněno registrací u provozovatelů.

Lze tak jen doufat, že v budoucnu dojde ke sjednocení dobíjecích standardů (popřípadě k jejich dalšímu nerozrůstání se) a také ke sjednocení autorizací přístupu k veřejným dobíjecím stanicím.

4.3 Akumulace elektrické energie

Tak jako se v konvenčních vozech nachází palivová nádrž s palivem, ve kterém je uložena energie, i na palubě elektromobilů je třeba mít nějaký zásobník energie. Elektrická energie může být uložena přímo nebo nepřímo, v závislosti na úložném médiu. Dostupné možnosti ukládání energie jsou rozděleny v Obr. 17.



Obr. 17 Možnosti uložení elektrické energie.

Srovnání akumulčních metod, které budou popsány, je v Tab. 5. U každé metody, je uvedeno několik hlavních parametrů, jako je účinnost systému při akumulaci elektrické energie, dále hustota energie (nebo také měrná energie), kterou je důležité sledovat kvůli faktu, že prostor pro akumulční systém je v elektromobilu omezený a také čím těžší vozidlo bude (hmotnost akumulčního systému na palubě), tím vyšší výkon bude potřebovat k pohybu, a to má zásadní vliv na jeho dojezd. Měrný výkon udává rychlost, se kterou akumulční systém energii vydává či přijímá a rozumné je sledovat i životnost akumulátoru.

V Tab. 5 se nacházejí elektrochemické akumulátory, dále superkondenzátor (EDLC - Electrochemical Double-Layer Capacitor), vodní přečerpávací elektrárna, akumulční systém využívající stlačeného vzduchu (CAES - Compressed Air Energy Storage) a setrvačnický.

Důležitá je také cena při skladování elektrické energie. Uvádí se cena odpovídající kapacitě daného systému (\$/kWh) a cena odpovídající nákladnosti řízení systému pracujícího s určitým výkonem (\$/kW). Finanční náročnost některých skladovacích metod uvádí Tab. 4.

4 Elektromobil

Tab. 4 Ekonomické srovnání způsobů skladování elektrické energie [54]

Technologie	Náklady na výkon	Náklady na skladování
	\$/ kW	\$/ kWh
Olověné akumulátor	400	330
NaS	350	350
ZnBr	400	400
VRB	400	600
Li-Ion (velká)	400	600
CAES	700	5
Přečerpávací el.	1 200	75
Setrvačnick (kompozitní)	600	1 600
EDLC	500	10 000

Tab. 5 Srovnání akumulčních metod [34]

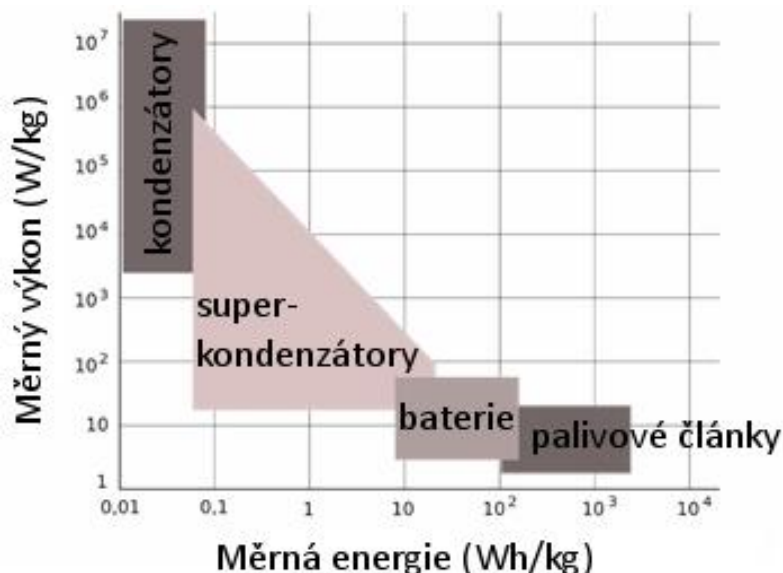
Typ	Účinnost (%)	Hustota energie (Wh/kg)	Měrný výkon (W/kg)	Životnost (cykly)	Samovybití
Olověné akumul.	70–80	20–35	25	200–2000	Nízké
Ni-Cd	60–90	40–60	140–180	500–2000	Nízké
Ni-MH	50–80	60–80	220	< 3000	Vysoké
Li-Ion	70–85	100–200	360	500–2000	Střední
Li-polymer	70	200	250–1000	> 1200	Střední
NaS	70	120	120	2000	-
VRB	80	25	80–150	> 16000	Zanedbatelné
EDLC	95	< 50	4000	> 50000	Velmi vysoké
Přečerpávací elektr.	65–80	0.3	-	> 20 let	Zanedbatelné
CAES	40–50	10–30	-	> 20 let	-
Setrvačnick (ocelový)	95	5–30	1000	> 20000	Velmi vysoké
Setrvačnick (kompozitní)	95	> 50	5000	> 20000	Velmi vysoké

4.3.1 Přímé skladování elektrické energie

Zařízení pro přímé skladování elektrické energie ji skladují bez konverze na jakýkoliv jiný druh energie. Energie je uskladňována ve formě elektromagnetického pole. Zařízení, která využívají pro skladování energie elektrického pole, se nazývají kondenzátory. Naopak zařízení, která využívají pro skladování energie magnetického pole, se nazývají cívky.

Běžné kondenzátory mají malé dosažitelné kapacity a hustoty energie (řádově 0,2 Wh/kg), vhodnější ke skladování elektrické energie jsou elektrochemické kondenzátory (superkondenzátory, ultrakapacitory). Jsou to součástky schopné akumulovat, udržet a vydat velké množství elektrické energie. K uchování energie využívají dvou principů, elektrické dvojrůstvy a vratné chemické reakce. Komerčně prodávané superkondenzátory mají kapacitu až několik tisíc faradů a nabíjecí/vybíjecí proud v rozmezí od jednotek ampér až po stovky

ampér. Svými energetickými vlastnostmi vyplňují prázdné místo mezi bateriemi a klasickými kondenzátory, viz *Obr. 18* [35]. Superkondenzátory se však stále hromadně nevyužívají jako úložiště elektrické energie, protože jejich energetická hustota je i tak příliš nízká a cena vysoká. Nemění to ani jejich velmi dobrá schopnost přenášet (ukládat/vydávat) velké výkony v krátkém čase a vysoký počet nabíjecích/vybíjecích cyklů. Proto se v EV testují jako rychlé vyrovnávací kapacity ve spojení s klasickými elektrochemickými akumulátory (při rekuperaci a akceleraci vozidla).



Obr. 18 Závislost měrného výkonu na měrné energii akumulčních prvků [35].

Základem supravodivého akumulátoru, SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage), je toroidní supravodivá cívka, kterou téměř beze ztrát protéká stejnosměrný proud, který vytvoří magnetické pole, jež je nosičem energie. Cívka musí být po celou dobu chlazená na supravodivou kritickou teplotu, aby měla nulový odpor. Tato potřeba, udržovat stále nízkou teplotu (řádově desítky kelvinů), si vyžádá zhruba 5 % výkonu cívky. Díky tomu jsou ale na druhou stranu ztráty systému po nabití velmi malé. Další výhodou je velmi vysoká rychlost nabití/vybití, dosažitelný výkon SMES je limitován pouze omezením výkonové elektroniky. Nevýhodou SMES je jeho vysoká cena a bezpečnostní riziko, kdy po výpadku chlazení odezní efekt supravodivosti a veškerá akumulovaná energie je uvolněna ve velmi krátkém časovém okamžiku.

4.3.2 Nepřímé skladování elektrické energie

Zařízení na nepřímé skladování elektrické energie jsou taková zařízení, která pro uskladnění elektrické energie používají přeměny uskladňované energie na jiný typ energie, který ukládají. Zařízení se skládají z převodníku energie a ze skladovaného média. Elektrická energie může být konvertována na mechanickou nebo chemickou energii. Převodníkem energie je elektromotor/generátor či elektrochemický reaktor.

Mechanická energie může být ukládána jako kinetická nebo potenciální energie.

4.3.2.1 Setrvačnick

Pro ukládání kinetické energie se používají setrvačnick. Pro rychlou přeměnu elektrické energie na mechanickou a zpět se používá soustrojí setrvačnick-elektromotor. K dosažení vysoké energetické hustoty musí mít setrvačnick vysoké otáčky. Setrvačnick se dělí právě dle rychlosti otáček, hranice mezi nízkorychlostními a vysokorychlostními je 10000 ot/min. Vysoké otáčky kladou nároky hlavně na rotor, který bývá často z uhlíkových kompozit a kvůli minimalizaci ztrát bývá umístěn ve vakuu. Zatěžována jsou i ložiska, která bývají magnetická. Velkou výhodou je vysoký výkon a dlouhá životnost těchto zařízení. Přesto jsou však pro mobilní elektrická vozidla nevhodná, kvůli nízké hustotě energie a gyroskopickému efektu.

Uložení ve formě potenciální energie lze využít v přečerpávacích elektrárnách a při stlačování vzduchu.

4.3.2.2 Přečerpávací elektrárna

Přečerpávací elektrárny jsou používány pro skladování velkého množství energie na delší dobu. Jde o vodní elektrárny, jejichž turbíny jdou spojeny s elektromotory, které pracují v motorickém (čerpadlovém) nebo generátorickém režimu. V nočních hodinách v době přebytku levné energie čerpají vodu ze spodní nádrže do horní nádrže a v poledních hodinách, v době špiček, přepouští vodu do spodní nádrže a generují elektrickou energii.

Výhodou je dobře zvládnutá technologie, vysoké výkony a možnost akumulovat energii po dlouhou dobu. Čerpání uložené energie je pomalejší než u výše zmíněných akumulátorů nebo setrvačnicků a používají se proto spíše k vyrovnávání potřeby elektřiny během dne. Celková energetická účinnost bývá 70 až 85 %. Hlavní nevýhodou je, že vyžadují velký rezervoár vody a pokud možno velký rozdíl hladin. Budování takovýchto nádrží má značný vliv na krajinný ráz a míst, kde se dají stavět, není mnoho [36].

4.3.2.3 Stlačený vzduch

CAES je technologie, která ukládá energii v podobě stlačeného vzduchu. Energie je získávána použitím klasické plynové turbíny, v jejímž cyklu je užití zemního plynu jako paliva pro stlačení vzduchu nahrazeno stlačeným vzduchem z úložiště. Práci systému komplikuje fakt, že komprese a expanze vzduchu je exotermická resp. endotermická reakce. V důsledku toho jsou používány 3 systémy.

- Izotermické skladování, kdy je vzduch stlačován pomalu. Funguje dobře pro malé systémy, kde není rozhodující hustota energie.
- Adiabatický systém, který odebírá teplo vzniklé kompresí a při expanzi jej opět vzduchu navrácí. Nevýhodou je nutnost mít i zásobník na teplo a uchování tepla je časově omezené.
- Systém, udržující konstantní teplotu. Když je vzduch stlačován, chladí se, když expanduje, přihřívá se z externího zdroje energie. Je to nejprozkoumanější a nejpoužívanější varianta CAES, a to i na úkor velkým nákladům a malé efektivitě.

Principiální využití je stejné, jako u přečerpávací elektrárny, ve špičky dodává naakumulovanou elektřinu za vyšší sazby. Jako úložiště se často používají přírodní jeskyně nebo různé podzemní dutiny, což může představovat jisté bezpečnostní riziko.

Dalším typem nepřímého skladování elektrické energie je využití energie, vznikající při chemických reakcích. Často se používají dva koncepty, užití vodíkových palivových článků a skladování v elektrochemických člancích (bateriích).

4.3.2.4 Ukládání energie ve formě vodíku

Proces uložení energie zahrnuje tři kroky. Nejprve je třeba elektrickou energii převést na vodík. Vyrobený vodík je třeba uskladnit. Posledním krokem je zpětný převod energie ve vodíku na elektrickou energii.

Pomocí elektrické energie se provede elektrolyza (rozklad) vody na žádaný vodík a nepotřebný kyslík. Elektrolyzéry běžně dosahují účinnosti kolem 70 %. Ke skladování vodíku je třeba speciálních tlakových zásobníků. Tyto zásobníky musí být vyrobeny z materiálů, které nereagují s vodíkem. V mnoha materiálech totiž vodík difunduje do krystalické mřížky a způsobuje křehnutí materiálu. Vodík také snadno proniká malými netěsnostmi a se vzduchem způsobuje výbušnou směs. Toto jsou důvody, které komplikují skladování vodíku a tím i využití celého systému pro uložení energie. V případě potřeby elektrické energie je uložený vodík použit jako palivo do palivových článků. V palivových člancích probíhá řízená elektrochemická reakce, tzv. studená oxidace vodíku neboli studené spalování. Účinnost palivových článků se pohybuje kolem 60 %. Ve svém principu může každý palivový článek pracovat i jako elektrolyzér, ale většinou jsou optimalizovány na vykonávání pouze jedné funkce.

Regenerativní palivové články jsou speciální skupinou, která se snaží sloučit obě zařízení, jak elektrolyzér, tak palivový článek, do jednoho zařízení. Takové zařízení by zjednodušilo celý systém a přispělo by i ke zmenšení jeho velikosti. Zatím je třeba ale zvýšit účinnost regenerativních palivových článků, jejich současná efektivita při výrobě vodíku je nižší, než při konvenční elektrolyze. Jedná se o typ palivových článků s polymerní membránou.

Vodíku se využívá i v dopravě. Takzvané vodíkové automobily jsou již nějakou dobu na světě. Jejich provoz je velmi šetrný vůči životnímu prostředí, protože odpadní látkou z palivového článku je jen voda. Vodík je dodáván z plynové nádrže ve vozidle, kyslík je využíván z okolního vzduchu a vyrobená elektrická energie pohání elektromotor. Vybudovat čerpací síť stanic na vodík i přes výše popsána bezpečnostní rizika by až takový problém nebyl. Problémem je spíše malý výkon palivových článků. Palivové články se spojují do sérioparalelních kombinací, ale i přesto je jich potřeba ve vozidle velký počet. Palivové články jsou drahá záležitost, i díky membráně a ušlechtilým kovům k výrobě elektrod (platina). Dále vodík není primární zdroj elektrické energie, jako třeba ropa, jeho výroba je energeticky náročná a vyrobený plyn nelze zkapalnit při rozumné teplotě (bod varu -253 °C), proto se musí používat vodík stlačený.

Skladování elektrické energie v elektrochemických článcích bude detailněji popsáno v následující kapitole, protože se jedná o dosud jediný používaný způsob, z výše popsaných, v sériově vyráběných elektromobilech.

4.3.3 Elektrochemické akumulátory

Elektrochemické akumulátory akumulují elektrickou energii ve formě chemické energie. Vybíjení a nabíjení je mnohem pomalejší než například u superkondenzátorů. Článek lze chápat jako elektrochemickou soustavu obsahující kladné a záporné elektrody s navzájem elektricky oddělenými separátory uloženými spolu s elektrolytem v článkové nádobě. Během nabíjení nabíjecím proudem z externího zdroje se dodávaná elektrická energie mění na chemickou energii a během vybíjení se akumulovaná chemická energie opět mění na elektrickou energii dodávanou do elektrického obvodu, kam je akumulátor zapojen. Záporná elektroda je katodou během vybíjení a anodou během nabíjení. Při vybíjení zde reaktant oxiduje a volné elektrony předává záporné elektrodě. Kladná elektroda je anodou během vybíjení a katodou během nabíjení. Při vybíjení je zde redukován reaktant a volné elektrony reaktant přijímá z kladné elektrody. Elektrické napětí elektrochemických článků se pohybuje podle typu akumulátorů kolem hodnot 1 až 4,5 V. Pro technické účely se proto běžně využívají akumulátory sestavené sériově do baterií. Většina akumulátorů je schopna opětovného nabití ve stovkách až tisících cyklů [37].

U akumulátorů jsou důležité následující parametry:

- specifická energie (J/kg), (Wh/kg) – množství uložené energie připadající na jednotku hmotnosti akumulátoru;
- kapacita (Ah) – velikost elektrického náboje, který akumulátor pojme;
- napětí článku (V);
- vnitřní odpor (Ω) – čím nižší bude, tím vyšší proud bude článek schopný dodávat;
- účinnost při nabíjení (%) – menší než 100 % kvůli vedlejším reakcím, jako například tvorba vodíku a kyslíku na elektrodách;
- životnost – počet nabíjecích/vybíjecích cyklů, které akumulátor snese, aniž by došlo k výraznému poklesu kapacity (většinou hranice 70 či 80 % plné kapacity).

4.3.3.1 Specifická energie akumulátorů

Ze všech výše popsaných metod k akumulaci elektrické energie se v elektromobilu používají právě elektrochemické baterie. Základní problém elektromobilu je v poměru uložené energie a hmotnosti akumulátoru (hustota elektrické energie, specifická energie, měrná energie). I když jsou baterie nejvhodnějším akumulacním prostředkem, stále nedovolují elektromobilům dosahovat žádaných dojezdů, protože jejich specifická energie je v porovnání s jinými energetickými zdroji podstatně menší, jak je uvedeno v *Tab. 5* či *Tab. 6*. Zatím jsou na trhu vozidla s dojezdem do 500 km, běžně však kolem 200 km. Ke zlepšení situace je třeba zvýšit kapacitu akumulátorů, při minimálním nárůstu hmotnosti (nebo jejímu

4 Elektromobil

poklesu). Ideální baterie by měly být lehké, levné, měly by mít vysokou kapacitu, vysoké napětí, nízký vnitřní odpor a velkou životnost.

Tab. 6 Specifická energie paliv [38].

Materiál (technologie)	druh energie	hustota energie (MJ/kg)	obvyklé praktické využití
uran, plutonium	jaderná	20 000,0	elektrárny
stlačený vodík	chemická	143,0	palivové články
benzín	chemická	47,2	automobilové motory
nafta	chemická	45,4	automobilové motory
LPG	chemická	46,0	automobilové motory
baterie lithium-vzduch	elektrochemická	9,0	přenosná zařízení s malým odběrem
baterie lithium-ion	elektrochemická	0,7	notebooky, telefony
nikl-metal hydridový akumulátor	elektrochemická	0,3	spotřební elektronika
superkondenzátor	elektrická	0,1	vyrovnávání zatížení, rekuperace
olověný akumulátor	elektrochemická	0,1	startovací baterie

K pohonu elektromotoru je potřeba elektrický proud, který s magnetickým polem vytváří potřebný točivý moment. Elektrický proud je tvořen proudem elektronů. Elektrony samy o sobě mají velmi malou hmotnost. K přenesení 15 kWh elektrické energie při napětí 3,7 V (průměrné napětí lithiového článku) stačí pouhých 9 mg elektronů [38]. Problém je ale v tom, že elektrony nelze uchovat v nějaké nádobě, stejné náboje se navzájem odpuzují. Poblíž záporně nabitého elektronu vždy musí být nějaký kladný náboj stejné velikosti. V kovu, z něhož se dělá anoda akumulátoru (zdroj elektronů), jsou volně se pohybující elektrony, jejichž náboj je vyvažován kladnými náboji na atomech kovu. Atomy kovu se ale skládají z protonů a neutronů, které jsou téměř 2000krát těžší než elektrony.

Atom lithia se skládá ze tří protonů a čtyř neutronů a je tedy 13000krát těžší, než samotný elektron. V případě atomu olova je jeho hmotnost ještě 15krát větší než u lithia. Z toho vyplývá, že na každý využitelný elektron, který anoda „pošle“ do motoru, připadá ohromné množství hmoty. Je tedy třeba se při hledání kovů, vhodných pro výrobu akumulátorů, které jsou určeny pro pohon elektromobilů, soustředit na lehké kovy na začátku periodické soustavy prvků, jako je Li (lithium), Na (sodík), Mg (hořčík) a Al (hliník).

Na velikost výsledné akumulované energie má kromě proudu vliv i napětí. To je tím větší, čím elektro pozitivnější (reaktivnější) kov je na anodu použit (dle redox potenciálu). Oxidačně-redukční (redox) potenciál je složený parametr celkové intenzity oxidačních nebo redukčních podmínek v systému a odráží stupeň vyváženosti mezi oxidačními a redukčními procesy. Reduktant je sloučenina, která při reakci uvolňuje elektrony a sama se oxiduje, oxidant je naopak látka, která elektrony přijímá a sama se redukuje. V tomto ohledu je k výrobě anody nejvýhodnější Li (reduktant). Druhá elektroda, kam se elektrony prošle

cívkou motoru vracejí, by měla být vyráběna z materiálů z opačného konce tabulky seřazených prvků dle redukčního potenciálu (oxidantů).

Na posledním místě se nachází fluor. Lithium-fluórový článek by měl napětí přes 5 V. Fluor je ovšem velmi reaktivní prvek, těžko se hledá kompatibilní elektrolyt, proto je téměř nemožné jej použít. Dalším použitelným prvkem je kyslík (O_2). Ten už sice neposkytne tak vysoké napětí, ale zase je dostupný všude kolem nás ve vzduchu a nijak automobil nezatíží. Článek s lithiovou anodou a vzduchovou katodou má dle [38] teoretickou specifickou energii přes 11 kWh/kg, což je srovnatelné s výhřevností automobilového benzínu (8,89 až 12,9 kWh/kg dle [39]).

Další, už podstatně horší možností, je pak síra, která se dnes již používá ve stacionárních sodíkovo-sírových bateriích, popsanych v další kapitole. Zajímavou možností je i baterie Mg/O_2 , kde by hořčík měl podobu mechanicky vyměnitelných desek, tj. nebyl by to akumulátor, ale primární článek, kde by se po vybití celá anoda i s elektrolytem (chlorid sodný) vyměnila a hořčík by se recykloval centrálně pomocí vhodného redukčního činidla [38]. Jakákoliv další kombinace je v porovnání s článkem s lithiovou anodou a vzduchovou katodou horší, hodnoty specifické energie u některých vybraných kombinací jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab. 7 Kombinace materiálů anody se vzduchovou katodou [38].

baterie kov-vzduch	Teoretická specifická energie (kWh/kg)
Li/ O_2	11,14
Na/ O_2	2,26
Ca/ O_2	4,18
Mg/ O_2	6,46
Zn/ O_2	1,35

Důležitý je fakt, že kromě aktivních prvků musí být v akumulátoru ještě další pomocné struktury (elektrolyt, nádoba apod.) a výsledná specifická energie je tedy vždy menší, než ta teoretická.

4.3.3.2 Dostupné baterie

Parametry dostupných baterií jsou uvedeny v Tab. 5 a Tab. 6.

- **Olověné akumulátory** - jsou nejstarší a i přes jejich nízkou hustotu energie a toxicitu olova jsou ve světě stále nejrozšířenější. Napětí článku se pohybuje v rozmezí od 1,1 V do 2 V. Akumulátor se skládá z olověné záporné elektrody, oxidu olovičitého (PbO_2) na kladné elektrodě a separátorů. Elektrody a separátory jsou ponořené do zředěné kyseliny sírové, plnící úlohu elektrolytu. Podle konstrukce je lze rozdělit na otevřené se zaplavenou konstrukcí a bezúdržbový akumulátor ventilem řízený (VRLA - Valve Regulated Lead Acid). Podle provedení je lze dále rozdělit na akumulátory s deskovými elektrodami nebo s trubkovými elektrodami.

Olověné akumulátory převládají v cenově nenáročných aplikacích, kde nízká hustota energie ani nízký počet nabíjecích/vybíjecích cyklů není překážkou. Hodí se do automobilů, pro SLI aplikace (Starting, Lighting and Ignition) nebo záložních zdrojů UPS.

Je snaha nahradit olovo lehčími materiály, jako je uhlík, pro zvýšení výkonu a hustoty energie.

- **Nikl-kadmiové akumulátory** – se skládají ze záporné elektrody z kadmia a z kladné elektrody z oxid-hydroxidu niklitého. Elektrolyt je zásaditý a je to koncentrovaný roztok hydroxidu draselného, který obsahuje hydroxid lithný. Napětí článku v nabitém stavu je kolem 1,35 V.

Výhody Ni-Cd baterie jsou vyšší měrný výkon a vysoká specifická energie, dlouhá životnost, možnost velmi rychlého nabíjení, široký rozsah pracovních teplot a možnost dlouhodobého skladování energie. Hlavní nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady, nízké napětí článku a ohrožení životního prostředí kadmiiem.

- **Nikl-metal hydridové akumulátory** - mají obdobné vlastnosti jako nikl-kadmiové baterie. Hlavní rozdíl je v záporné elektrodě. Místo kadmia je vyrobena z vodíku absorbovaného v kovové slitině. Tato slitina je většinou složena z niklu, kobaltu, manganu, případně hliníku a některých vzácných kovů – lanthanu, ceru, neodymu, praseodymu. Kladná elektroda je z oxid-hydroxidu niklitého a elektrolytem je vodný roztok hydroxidu draselného. Napětí článku je 1,2 V. Ni-MH baterie mají podobné výhody jako Ni-Cd baterie. Kromě toho jsou šetrné k životnímu prostředí, protože neobsahují toxické kadmium. Hlavními nevýhodami jsou vysoké pořizovací náklady a paměťový efekt.

- **Lithium-iontová baterie** - bylo vyvinuto mnoho chemických variací s lithiem. Kov lithium prudce reaguje s vodou a může se vznítit. V počátcích vývoje byly lithiové články považovány za nebezpečné, ale dnes se nepoužívá volné lithium, ale místo něj lithium v kombinaci s dalšími prvky ve sloučeninách, které nereagují s vodou.

Lithium-iontové baterie používají uhlík pro anodu a lithium kobalt uhličitý nebo sloučeniny lithia a manganu jako katodu. Elektrolyt je obvykle založen na lithiové soli v organickém rozpouštědle. Lithiové baterie jsou hlavně používány jako dobíjecí baterie pro přenosnou elektroniku a dávají se do většiny elektromobilů jako akumulací prvek. I když byly při uvedení na trh velmi drahé, s postupem času a masovější výrobou jejich cena klesá.

Mezi výhody patří vysoké napětí článku, až obvykle 3,6 V. Dále vysoká hustota energie, kvůli nízké hmotnosti lithia. Naopak mezi nevýhody patří fakt, že baterie ztrácí s časem svou kapacitu, i když není používána. Rychlost tohoto stárnutí se zvyšuje s vyšší teplotou a vyšším nabíjecím/vybíjecím proudem. Je citlivá i na hluboké vybití a přebíjení.

Lithium bylo díky svým vlastnostem použito jako základ mnoha chemických baterií. V Tab. 8 jsou uvedeny některé z nich.

Tab. 8 Charakteristika baterií využívajících lithia s uhlíkovou anodou [40].

materiál katody	napětí (V)	hustota energie		teplotní stabilita
		hmotnostní (Wh/kg)	objemová (Wh/l)	
oxid kobaltu	3,7	195	560	špatná
nikl kobalt hliník oxid (NCA)	3,6	220	600	dostačující
nikl kobalt mangan oxid (NCM)	3,6	205	580	dostačující
oxid manganu (LMO)	3,9	150	420	dobrá
železo fosfát (LFP)	3,2	90 až 170	333	velmi dobrá

- **Sodík-síra akumulátory** - jejich výhodou je slušná energetická hustota, celkem dobrá účinnost a prakticky nepodléhají samovybití. Jejich životnost je zhruba 2000 nabíjecích/vybíjecích cyklů. Sodík a síra jsou dostupné a levné prvky, které nejsou při správném zacházení toxické pro životní prostředí.

Zásadní nevýhodou těchto akumulátorů je to, že musí pracovat za vysoké teploty (přibližně 300°C), kdy jsou sodík a síra v kapalném stavu. Kapalným sodíkem je ale nebezpečná látka, při styku se vzduchem okamžitě hoří a při styku s vodou dojde k výbuchu vzniklého vodíku. Pro použití ve velkých stacionárních jednotkách (elektrárnách) to ale nepředstavuje tak zásadní omezení [36]. A právě tam je jejich hlavní využití, používají se zde jednotky o megawattových výkonech.

4.3.3.3 Budoucnost baterií

- **Průtokové baterie** – skládají se ze dvou rezervoárů naplněných elektrolytem proudícím elektrochemickým článkem. Hustota energie těchto baterií je dána množstvím elektrolytu v rezervoárech, zatímco hustota výkonu je ovlivněna chemickými reakcemi probíhajícími na elektrodách. Účinnost těchto baterií je od 75 % do 85 %, napětí na článku závisí na použitém elektrolytu a pohybuje se v rozmezí od 1,4 V do 2 V. Jednou z jejich největších výhod je, že mohou být téměř okamžitě dobity výměnou kapaliny elektrolytu a zároveň získaný materiál znovu zpracovat k opětovnému použití. Tento fakt by proces dobíjení baterií na veřejných místech časově postavil na úroveň dočerpání běžných paliv do palivové nádrže. Průtokové baterie vynikají vysokou kapacitou, dlouhou životností a nízkými náklady. Ceněná je také jejich vlastnost, že jim neškodí vybití ze 100 %. Jejich nevýhoda je ale v nízké hustotě energie.

Nutno však dodat, že ne všechny typy jsou k dispozici pro komerční použití, zatím jsou stále ve stádiu vývoje. Známé jsou zatím například typy: zinko-

bromový akumulátor, vanadium-redox akumulátor, železo-chromový akumulátor a Redox baterie (Red jako Redukce = přijímání elektronů, Ox jako Oxidace = uvolňování elektronů).

Zkoumá se také technologie, nazvaná průtoková protonová baterie, nápadně připomínající vodíkový článek. Jako nosič energie se zde nepoužívá plynný vodík, nýbrž sloučeniny vodíku s kovovými prvky (kovové hydridy). Protonové průtokové baterie nepotřebují plynný vodík, jehož výroba je energeticky náročná, a odpadá i starost s jeho problematickým skladováním. Při nabíjení protonové průtokové baterie se ionty vodíku přímo kombinují s elektrony a kovovými částicemi v elektrodě. Elektrická energie je pak uložena v kovovém hydridu.

- **Baterie kov-vzduch** – není ve světě žádnou novinkou. Nejčastěji se pracuje s bateriemi lithium-vzduch (lithium-kyslík, Li/O_2) a zinek-vzduch. Druhé jmenované se používají například v naslouchátkách. Baterie kov-vzduch těží právě z toho, že katodu tvoří vzduch, který ji nezatěžuje přídavnou hmotností. Z toho důvodu dosahují baterie vyšších hustot energie, než například Li-ion akumulátory. Při dobíjení jak lithiové tak zinkové baterie rapidně klesá životnost. Proto se zinko-vzduchové články používají jako primární články. I tento problém se už ale řeší, pomocí návrhu katalyzátorů, které kombinují nanokrystaly a uhlíkové nanotrubic, pokryté dostupnými a hlavně levnými sloučeninami niklu, železa a oxidu kobaltu. Při reakci uvnitř klasického článku zinek-vzduch spotřebovává baterie okolní kyslík, který společně se zinkem v podobě alkalického elektrolytu produkuje elektrický náboj. Při postupném vybíjení je produkován oxid zinečnatý.

Zinko-vzduchové články se již nějakou dobu na trhu vyskytují a stále se laboratorně zdokonalují, zatím co články Li-vzduch jsou ve vývoji o něco opožděné, vyskytují se zatím jen v laboratorních podmínkách.

- **Nanobaterie** – jejich princip je jednoduchý - díky použití nanomateriálů se při zachování stejné velikosti akumulátoru, jako mají ostatní baterie na trhu, zvětší několikanásobně povrch elektrod, což rapidně zkrátí dobu nabíjení nebo zvýší kapacitu akumulátoru. Při sestrojení baterie obdobné kapacity, jako jsou dnešní, by se zase zásadně zmenšily její rozměry. A je jedno, jestli se jedná o elektrody z uhlíkového aerogelu, uspořádanou konstrukci z uhlíkových nanotubic či nanopórovitou slitinu niklu a cínu.

Nanobaterie jsou velmi perspektivní technologie, která je ale zatím na počátku svého vývoje. Stejně tak i nanomateriály na výrobu elektrod jsou dnes velmi drahá záležitost. To, že to jde, ukázala automobilka Volvo, která představila koncept vozu S80, který má kompozitní díly karoserie se zabudovanými nanobateriemi a superkondenzátory.

4.3.3.4 Bateriový blok v elektromobilu

Články jsou spojovány sériově (vytváří celkové napětí) a paralelně (udávají výslednou kapacitu) do modulů, které jsou smontovány společně v jednom pouzdře. Celková energie bateriového bloku je rovna celkovému napětí násobeného kapacitou. Bateriový blok však obsahuje i další zařízení kromě akumulátorů, především pro zajištění jejich nejlepšího fungování z hlediska jejich výkonu, životnosti a bezpečnosti.

BMS (Battery Management System) je řídicí elektronika ve formě plošných spojů, které mají za úkol monitorovat články (např. jejich teplotu a napětí) a hlídat celý blok z pohledu životnosti baterií a dostupné kapacity. Zajišťuje bezpečnost bloku a jeho komunikaci s nabíječkou. Náklady na něj rostou s rostoucím počtem článků, které monitoruje.

Výkonová elektronika distribuuje vysoké nabíjecí proudy a zahrnuje bezpečnostní prvky (pojistky, stykače, bezpečnostní vypínač). Nejedná se však o výkonovou elektroniku použitou na řízení elektromotoru nebo měničů napětí.

Jsou zde i kabelové svazky, propojující hlavní řídicí jednotku s podřízenými monitorovacími deskami. Konektory podléhají automobilovým standardům a často vyžadují vysokou úroveň krytí IP proti vniknutí vody, což navyšuje výrobní náklady.

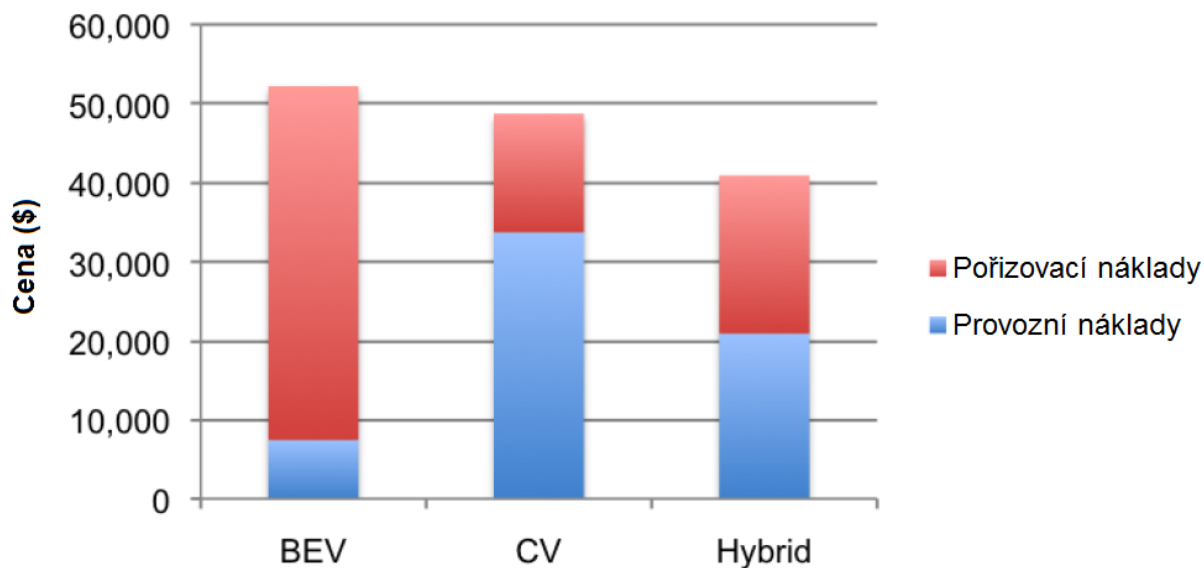
Vnitřní podpurná konstrukce pro články je vyrobena z plastu anebo z kovu a udržuje články při montáži na svých místech. Pokud je bateriový blok chlazen kapalinou, podpurná konstrukce je složitější, protože zároveň funguje jako chladič.

Systém pro řízení teploty (topení, chlazení, chladiče, ventilátory atd.) udržuje baterie v optimální teplotě, což je zásadní pro uchování jejich dlouhé životnosti. Pro baterie je třeba chlazení i ohřívání. Chlazení může být aktivní nebo pasivní. U aktivního chlazení ochlazuje tekutina (voda, jiné kapaliny nebo vzduch) povrch článků nuceným prouděním. U pasivního chlazení je nadměrné teplo odváděno bez nucené ventilace.

Baterie jsou nejdražší součástí na vozidle a cena je jedna z hlavních překážek, která brání elektromobilu se masově šířit. Jak ukazuje *Obr. 19*, přestože jsou náklady na palivo elektromobilu několikanásobně nižší, než u konvenčních vozů, stále je nejdražší možnou variantou v porovnání s vozy se spalovacím motorem a automobily s hybridním pohonem.

Na obrázku je pořízení a provoz elektromobilu stanoven na výši 52204 \$ za dobu 15 let a najetých 289700 km. Tyto náklady zahrnují domácí nabíječku v hodnotě 3000 \$, výměnu baterií za nové po ujetí vzdálenosti 161000 km nebo uplynutí 8 let v hodnotě 10000 \$. Ve výpočtu není zahrnuta státní podpora na nákup elektromobilů, která je v mnoha zemích poskytována. Cena projeté elektrické energie je uvažována 7436 \$. Náklady na pořízení a provoz hybridního vozidla činí 40907 \$. Tytéž náklady u konvenčního vozidla jsou o 7814 \$ vyšší, i přes jeho nejnižší pořizovací cenu, a to hlavně díky nákladům za benzín ve výši 33720 \$.

4 Elektromobil



Obr. 19 Cenové zhodnocení automobilů (BEV – elektromobily, CV – konvenční vozy, Hybrid – vozy s hybridním pohonem) [41].

Graf na obrázku nezohledňuje ekologický přínos elektromobilů. Ale i přesto bude velmi brzy s rostoucí tendencí ceny ropy a naopak klesající ceně baterií (díky masové výrobě) elektromobil finančně výhodná volba. Po započtení dotací na koupi elektromobilu do výše popsaného modelu je výhodnější již dnes, pokud se bude jejich výše pohybovat nad úrovní 3500 \$.

5 Elektromobilismus v ČR

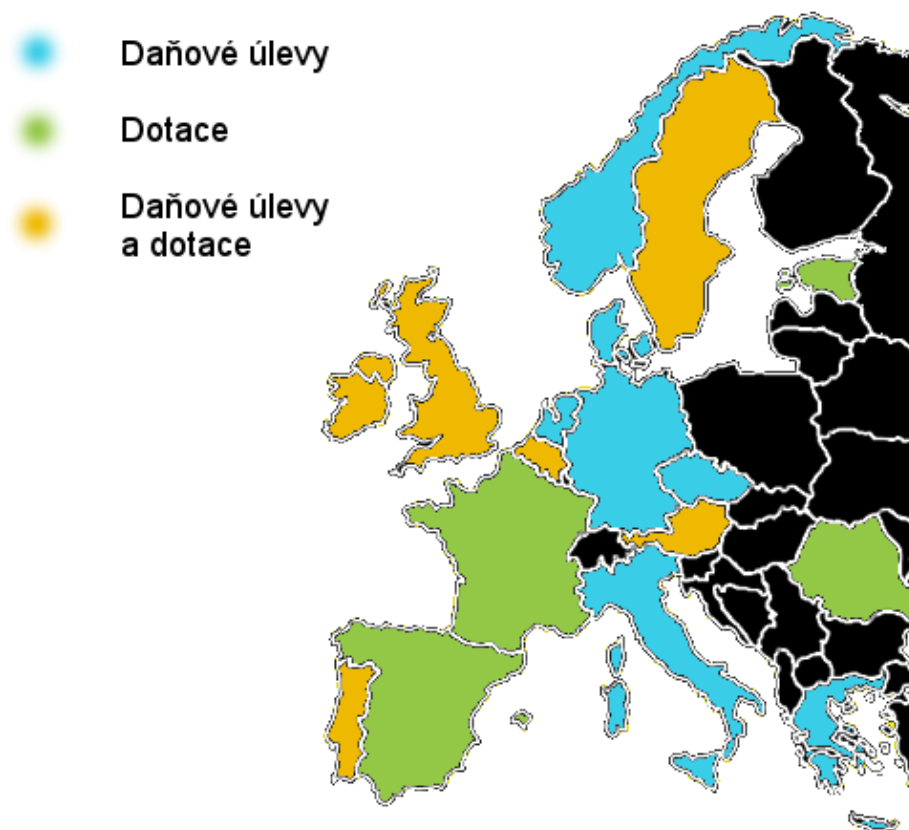
V následující kapitole bude osvětlen přístup k elektromobilitě u nás co se finančních pobídek týče, jak ze strany státu, tak ze strany společností distribuujících elektrickou energii. Dále bude představena situace v dobíjecí infrastruktuře a budou představeny elektromobily, aktuálně dostupné na českém trhu.

5.1 Státní podpora

Pro stát je jistě výhodné snížit znečištění ovzduší výfukovými plyny nejen v centrech velkých měst, protože zdravější obyvatelé nevyžadují tak nákladnou zdravotní péči, spolu se snížením hluku to přispěje i ke zvýšení turistického ruchu. Nemalé částky také města investují do oprav znečištěných fasád mnohdy historických domů. Ke zlepšení situace je třeba podniknout určité kroky a většinou vynaložit nějaké finanční prostředky. Státy po celém světě motivují své obyvatele k nákupu vozidel, šetrnějších k životnímu prostředí, různými způsoby. Často se jedná o přímou dotaci stanovenou peněžní částkou při koupi takového vozidla. Ale může jít i o bezplatný vjezd do nízkemisních zón, užívání vyhrazených pruhů v době dopravních špiček, bezplatné parkování, úleva od provozních či registračních daní a mnoho dalších úlev. Dotace tak lze rozdělit na přímé, kdy majitelé obdrží jednorázově určený finanční obnos k nákupu vozidla, nebo nepřímé, kdy majitelé vozidel neobdrží žádné peníze, ale jsou zbaveni poplatků, které ostatní z povinnosti platit musí.

Přestože lze v České republice nalézt spoustu míst, která znečištěním ovzduší silně trpí, a v tomto ohledu se nijak neliší od ostatních Evropských států, žádná přímá podpora zde není poskytována. Jedinou výhodou mají elektromobily, hybridní automobily a vozy s alternativními pohony provozované právníky osobami v tom, že nepodléhají silniční dani. Silniční daň je třeba platit pouze za vozidla, určeného k podnikání. Proto lze říci, že pro fyzické osoby nemá stát připravenou žádnou pobídku ke koupi ekologičtějšího automobilu.

Dotace k nákupu ekologických vozů lze těžko vzájemně porovnávat, protože jsou mnohdy podmíněny odlišnými požadavky, které se vztahují například k daňovému systému dané země. Přesto však pro představu lze uvést, jedny z největších benefitů v Evropě poskytuje Velká Británie, kde přímé dotace sahají až k výši 8000 £, nebo ve Španělsku či Francii, kde lze dostat od státu příspěvek až ve výši 7000 € [42]. Situace v Evropě je naznačena na mapě na *Obr. 20*. Mimo Evropu platí například v USA plošná dotace 7500 \$ už od roku 2010. Jedním z aktuálně nejpostiženějších oblastí na světě je rychle rozvíjející se Čína. Zde je vidět velká snaha špatný stav ovzduší změnit, čínská vláda poskytuje dotace 9800 \$ při pořízení osobního elektrického vozu.



Obr. 20 Podpora elektromobility v Evropě [42].

5.2 Tarify distribučních společností

Distribuční společnosti poměrně hlasitě e-mobilitu podporují. Není se čemu divit, není však zcela vhodné v tom vidět ryzí snahu o snížení emisí výfukových plynů a o zlepšení stavu životního prostředí. Každý provozovaný elektromobil potřebuje své palivo – elektřinu, kterou uživatelům distribuční společnosti rády prodají. Nejde však jen o příjmy z prodané elektrické energie, distribuční společnosti také získají svůj podíl na státem vypsáných zakázkách na rozšiřování infrastruktury, instalaci dobíjecích stanic u soukromých osob apod.

Od 1. července 2013 byla zavedena nová distribuční dvoutarifová sazba elektřiny pro majitele elektromobilů. Zavedená sazba je výsledkem jednání Asociace elektromobilového průmyslu, Energetického regulačního úřadu a energetických společností PRE, ČEZ a E.ON. Distribuční sazba D 27d, respektive C 27d je určena pro nabíjení elektromobilů, a to zejména pro stávající odběratele, užívající jednotarifové sazby, kteří vlastní a používají elektromobily.

Pro přiznání dvoutarifové sazby D 27d, resp. C 27d (kategorie D – domácnosti, C – podnikatelé) je třeba dle Energetického regulačního úřadu splnit následující podmínky [43]:

- Tato sazba je určena pro odběrná místa, u nichž žadatel věrohodným způsobem doloží vlastnické právo, případně užívací právo (leasing apod.) k elektromobilu.

- Časové vymezení doby platnosti nízkého tarifu je provedeno distributorem v celkové délce minimálně 8 hodin denně v době od 18:00 hodin do 8:00 hodin. V průběhu dne může distributor dobu platnosti nízkého tarifu operativně měnit.
- Časové vymezení těchto pásem nemusí být stejné pro všechny odběratele a jednotlivé dny a ani nemusí být v souvislé délce.
- Osmihodinové pásmo platnosti nízkého tarifu může být rozděleno během stanovené doby maximálně do dvou časových úseků.

Výše ceny je rozdělena do dvou úrovní, vysoký a nízký tarif. Odběratel platí částku podle daného tarifu v závislosti na denní době jeho odběru. Cena za odebranou megawatthodinu se mírně liší dle distributora, protože každý distributor má jinak nastavené ceny složek dle cenového rozhodnutí a dle zákona o stabilizaci veřejných rozpočtů. Výsledná cena zahrnující všechny složky a stále měsíční poplatky vyjma měsíční platby za jistič pro různé distributory na rok 2014 je uvedena v *Tab. 9*.

Tab. 9 Sazba D 27d s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 8 hodin [44].

D 27d		E.ON	PRE	ČEZ
cena 1 MWh v Kč	vysoký tarif	4715,54	4481,55	4969,09
	nízký tarif	1984,02	1888,27	2066,55
jistič		měsíční plat v Kč		
jistič do 3x10 A do 1x25 A včetně		102	142,78	62,92
jistič nad 3x10 A do 3x16 A včetně		128	170,61	93,17
jistič nad 3x16 A do 3x20 A včetně		145	189,97	113,74
jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně		167	214,17	139,15
jistič nad 3x25 A do 3x32 A včetně		197	246,84	174,24
jistič nad 3x32 A do 3x40 A včetně		232	284,35	215,38
jistič nad 3x40 A do 3x50 A včetně		276	331,54	266,20
jistič nad 3x50 A do 3x63 A včetně		333	393,25	332,75
jistič nad 3x63A za každou 1 A		4,36	4,72	5,08
se k celk. ceně připočte E.ON 58,- PRE 95,59 ČEZ 72,60				
jistič nad 1x25 A za každou 1 A		1,45	1,57	1,69
se k celk. ceně připočte E.ON 58,- PRE 95,59 ČEZ 72,60				

5.3 Dobíjecí infrastruktura

Pro provoz elektromobilů je dobíjecí infrastruktura nezbytná. Pod dobíjecí infrastrukturou si lze představit veřejné dobíjecí stanice, ať už rychlodobíjecí DC stanice nebo stanice s AC dobíjením. Patří sem i neveřejné dobíjecí stanice a soukromé stanice v garážích. V soukromém sektoru se elektromobily dobíjejí, když parkují doma, nebo stojí na parkovišti v zaměstnání, což podle společnosti E.ON tvoří 80 až 90 % veškerého dobíjení. AC nabíjení ve veřejném sektoru, tj. při nakupování, při využívání EV na dovolených nebo pro volný čas, má podíl na celkovém dobíjení asi jen 10 až 20 %. Rychlodobíjení pomocí DC tvoří pak už jen minimální podíl na dobíjení. Podíl jeho užívání je sice zanedbatelný, oproti ostatním

způsobům, ale ve své podstatě je velmi důležitý. Protože právě rychlé DC dobíjení má za úkol odstranit, nebo alespoň částečně eliminovat, zatím nejčastěji zmiňovanou nevýhodu EV – dojezdovou vzdálenost. Proto když potřebuje uživatel překonat s elektromobilem vzdálenost větší, než mu nabízí kapacita baterií v jeho vozidle, je nucen udělat v průběhu cesty nucenou přestávku a baterie ve vozidle si pokud možno v co nejkratším čase dobít, aby mohl opět pokračovat v cestě. Záleží na způsobu užívání vozidla, ale u drtivé většiny uživatelů dojezdové vzdálenosti dnešních EV stačí, jen výjimečně je řidič nucen absolvovat cesty delší.

Stav v České republice připomíná začarovaný kruh. Řidiči s koupí elektromobilů otálejí i kvůli zatím slabé stávající dobíjecí infrastruktuře a společnosti, které mají možnosti infrastrukturu tvořit, se do její výstavby zatím příliš nehrnou, protože zájem o e-mobilitu v naší zemi není nijak vysoký. Neznamená to však, že by se u nás žádná infrastruktura nevyvíjela, jen to jde ve srovnání s ostatními státy EU o poznání pomaleji.

K první třetině roku 2014 je u nás vystavěno zhruba 60 veřejných dobíjecích stanic (ČEZ 34 ks, PRE 15 ks, E.ON 5 ks a ostatní), z toho však jen 7 rychlodobíjecích stanic se standardem CHAdeMO. Pro řidiče elektromobilů však není k dispozici žádná ucelená aktualizovaná mapa. Každá distribuční společnost ve své mapě uvádí pouze své dobíjecí stanice. Od počátku vývoje infrastruktury byla vytvářena mapa dobíjecích míst, kde je dnes zaneseno bezmála 230 dobíjecích míst. Většina jich však leží u soukromníků nebo v sídlech firem, kde své dobíjecí stanice zpřístupní sice ochotně, ale až po telefonické domluvě nutné mnohdy i den předem, což je velmi nepraktické. V dnešní době, kdy roste počet veřejně dostupných dobíjecích stanic, tato databáze již postrádá větší smysl. Nejucelenější mapu tak provozuje server Hybrid.cz, která je na *Obr. 21*.

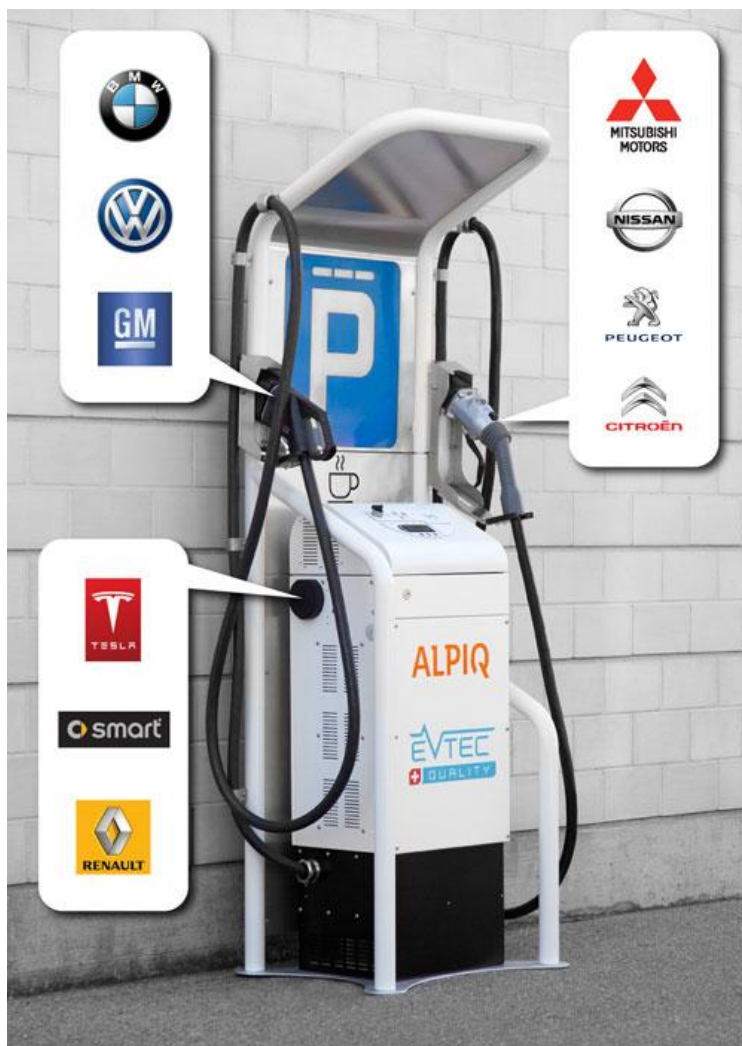


Obr. 21 Veřejné dobíjecí stanice v ČR.

5 Elektromobilismus v ČR

U každého dobíjecího místa je vyplněna otevírací doba, adresa včetně popisu umístění, způsob placení, počet zásuvek, typy konektorů, provozovatel a typ dobíjení (AC/DC).

Veřejné dobíjecí stanice jsou nejčastěji instalovány jako nabíjecí sloup. Díky ne velké shodě společností na dobíjecích standardech (popsané v kapitole 4.2.2) mohou dobíjecí stanice v budoucnu vypadat i jako stanice na Obr. 22, kterou nabízí firma Alpiq.



Obr. 22 Dobíjecí stanice Alpiq Public Fast Charger (PFC)[45].

5.4 Dostupné elektromobily v ČR

V následující kapitole budou popsány elektromobily, které se vyskytují na českém trhu. Ne všechny lze však koupit do soukromého vlastnictví, některé jsou pronajímány pouze firmám za měsíční nájem a po vypršení smlouvy se EV vrátí zpět k automobilkám. Těchto elektromobilů po našich silnicích však jezdí ne úplně zanedbatelný počet, proto jsou v přehledu také uvedeny.

Ještě je třeba na úvod poznamenat, že celosvětová nabídka elektromobilů jejich nabídku v České republice značně převyšuje, za neochotou automobilek uvádět své modely i u nás může stát malý veřejný zájem o elektromobilitu, způsobený slabou infrastrukturou a minimálními pobídkami ze strany státu.

V nabídce převažují malé městské vozy, najdeme zde ale také vůz střední třídy a užitkový vůz. Přehled parametrů popisovaných EV je uveden v *Tab. 10*.

5.4.1 BMW i3

Jedná se o první sériově vyráběný elektromobil automobilky BMW. BMW i3 má Li-ion baterie o dostupné kapacitě 18,8 kWh rozloženy v podlaze vozu náhon na zadní nápravu. Jeho udávaný dojezd 190 km lze navýšit zakoupením extenderu až na 340 km. Jedná se o zážehový dvouválcový motor, s jehož použitím pak pracuje i3 jako sériový hybrid. Výkon palubní nabíječky lze za příplatek 25 425 Kč zvýšit na 7,4 kW a za další příplatek 15000 Kč lze aktivovat rychlodobíjení DC [46]. V naší zemi však zatím není jediná dobíjecí stanice podporující standard Combo 2, proto je pro provoz na našich silnicích povolení dobíjení DC prozatím zbytečnou investicí. Na akumulátory BMW i3 je poskytována záruka na 8 let nebo 100000 km (minimum 70 % kapacity akumulátorů). Ke konci prvního čtvrtletí 2014 bylo celosvětově od uvedení do výroby prodáno přes 3300 ks tohoto EV. BMW i3 je na *Obr. 23*.



Obr. 23 BMW i3[47].

5 Elektromobilismus v ČR

Tab. 10 Parametry elektromobilů.

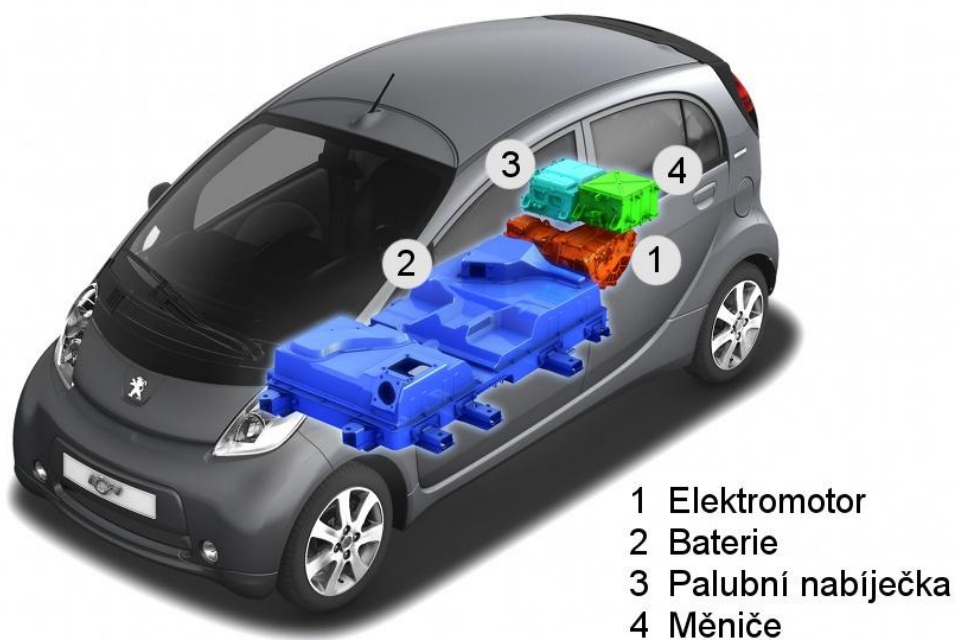
Značka	BMW	Citröen	Citröen	Citröen	Mercedes-Benz	Mia	Nissan	Peugeot	Peugeot	Smart	Tazzari	Think	Volkswagen
Model	i3	C-Zero	Berlingo Electric	Vito E-CELL	Electric	Leaf	Partner Electric	iOn	Fortwo ED	Zero	City	e-up!	
Dojezd dle NEDC (EPA)	190	150	170	130	80 / 125	199 (135)	170	150	145	140 / 180	(160)	160	
Kapacita akumulátoru	18,8	15,2	22,5	32	8 / 12	24	22,5	15,2	17,6	12,5 / 16	23	18,7	
Kombinovaná spotřeba energie	12,9	13,5	-	22	-	15	17,7	13,5	15,1	-	15	11,7	
Max. výkon	125	49	49	60	18	80	49	47	55	15	37	60	
Max. točivý moment	250	180	200	280	58	254	200	180	130	150	90	210	
Max. rychlost	150	130	110	80	100	144	110	130	125	100	100	130	
Zrychlení 0-100 km/h	7,2	15,9	-	-	-	11,5	18,7	15,9	11,5	-	-	12,4	
Pohotovostní hmotnost	1195	1195	1530	2200	764 / 814	1511	1390	1195	975/995 *	542	1038	1185	
Cena vč. DPH	900 000	717 288	781 055	50 364/měs	640 000/ 740 000	715 300	828 366	717 288	547 250/ 618 640 *	635 250/ 662 300	980 100	599 900	
Dobíjecí standardy	Combo 2	CHAdeMO, IEC62196-2 Type 2	CHAdeMO, SAE-J1772	IEC62196-2 Type 2	SAE-J1772	CHAdeMO, SAE-J1772	CHAdeMO, SAE-J1772	CHAdeMO, IEC62196-2 Type 2	IEC62196-2 Type 2	SAE-J1772	SAE-J1772	Combo 2	
* veze Coupé/Cabrio													

5.4.2 Citroën C-Zero a Peugeot iOn

Tyto dva automobily jsou si velice podobné. Oba dva mají společné kořeny v modelu iMiEV, který pro koncern PSA (evropský trh) vyráběla automobilka Mistubishi. Výroba automobilů byla však v roce 2012 pozastavena kvůli nízké poptávce, výroba iMiEV ale zastavena není. U nás je několik desítek vozů, většina však v pronájmu (např. ČEZ má k dispozici přes 30 vozů). Elektromobily používají lithium mangan-oxid akumulátory (LMO) o užité kapacitě 15,2 kWh. Baterie jsou uloženy v podlaze a poháněna je zadní náprava. Peugeot dává záruku na hnací ústrojí (včetně baterií) 5 let nebo 65000 km. C-Zero a iOn jsou na *Obr. 24*. Uložení základních komponent je na *Obr. 25*.



Obr. 24 Citroën C-Zero a Peugeot iOn [48], [49].



Obr. 25 základní komponenty EV Peugeot iOn [50].

5.4.3 Mercedes-Benz Vito E-CELL

Vito E-CELL je jediná nabízená dodávka u nás poháněná elektrickou energií. Tato EV však nelze koupit, Mercedes-Benz nabízí pouze model dlouhodobého pronájmu na 4 roky při ročním nájezdu max. 80000 km. Vůz je vhodný do firemních flotil pro městskou rozvážku (jeden například vlastní firma DPD). A to i díky omezené maximální rychlosti na 80 km/h. Nájem automobilu vychází na 50360 Kč za měsíc bez ceny paliva. Za 4 roky tak vůz vyjde na bezmála 2 a půl milionu korun, což není vůbec nízká částka, i přes to, že cena zahrnuje kompletní údržbu a opravy opotřebovaných dílů. Vito E-CELL je na Obr. 26 a Obr. 27.



Obr. 26 Mercedes-Benz Vito E-CELL [51].



Obr. 27 Vnitřní struktura Vito E-CELL [52].

5.4.4 Mia Electric

Je to malá dodávka z dílny francouzské automobilky, jen 3,2 m dlouhá, s variabilním vnitřním prostorem. Může mít k dispozici 1 až 4 místa k sezení. Patří hlavně do města. Lze ji pořídit s 8 nebo 12 kWh LiFePO₄ baterií. Na akumulátory je poskytována záruční doba 3 roky nebo 50000 km. Dobíjení lze provádět pouze pomocí standardu SAE-J1772, žádná možnost rychlodobíjení stejnosměrným proudem není k dispozici. Jedna z verzí vozu je na *Obr. 28*. Výroba vozů začala v červnu roku 2011, o dva roky později však byla výroba zastavena a v březnu roku 2014 soud rozhodl o likvidaci firmy.



Obr. 28 Mia Electric [53].

5.4.5 Nissan Leaf

Nissan Leaf je nejprodávanější elektromobil na světě. Na konci ledna 2014 byl prodán 100000. kus tohoto vozu, který zaujímá 45 % podíl na trhu s EV prodaných od roku 2010 [55]. Nejvíce kusů se prodalo v USA a Kanadě (44 %), dále v domácím Japonsku (36 %) a třetí je Evropa (20 %) [56]. Jeho prodej v ČR byl zahájen v prosinci roku 2013 distribucí do jediného autosalonu v Pardubicích.

Dnes se u nás Leaf prodává už ve druhé generaci (od roku 2013). Ta oproti první generaci nabízí například vyšší dojezd, zvětšení zavazadlového prostoru o 40 l díky přesunutí a zmenšení palubní dobíječky, snížení hmotnosti o 80 kg díky integraci vysokonapěťové jednotky včetně elektromotoru, invertoru do jediné komponenty a použitím nového elektromotoru, tepelné čerpadlo pro vytápění vozu a několik interiérových změn.

Je to osobní vůz střední třídy, je vybaven dvěma typy konektorů pro dobíjení. Podporuje jak standard SAE-J1772, tak rychlodobíjecí CHAdeMO. Jeho laminovaná lithium-iontová baterie má kapacitu 24 kWh a sestává ze 192 článků ve 48 modulech s výstupním napětím 360 V. Nissan garantuje po dobu 5 let nebo 100000 najetých kilometrů, že kapacita baterií neklesne na palubním ukazateli pod 9 z 12 dílků při plném nabití, a pokud se tak stane, provede záruční opravu.

Druhá generace Nissanu Leaf je na *Obr. 29*.



Obr. 29 Nissan Leaf 2. generace [57].

5.4.6 Citroën Berlingo Electric a Peugeot Partner Electric

Jedná se opět o dvojici podobných koncernových vozů PSA. Berlingo i Partner jsou elektricky poháněné užitkové vozy (Obr. 30). Jsou to nástupci předchozích užitkových vozidel první generace s Ni-Cd akumulátory, které se na trhu udržely více než deset let. Se svým nákladovým prostorem o objemu 3,3 až 4,1 m³ a dojezdem 170 km by měly ideálně zapadat do profilu městských dodávek malých podnikatelů či rozvázkových služeb.

Poháněna je přední náprava synchronním elektromotorem s permanentními magnety o výkonu 49 kW. Osmdesát Li-Ion sériové spojených článků, každý o napětí 3,75 V, rozdělených do pěti modulů, dává celkové napětí 300 V. Baterie jsou rozděleny do dvou akumulátorových bloků (3 + 2 moduly). Oba dva bloky dohromady váží 320 kg, z toho samotné články mají hmotnost 204 kg. Palubní nabíječka zvládá 14 A, resp. 16 A nabíjecí AC (standard SAE-J1772). Za příplatek je možná instalace zásuvky pro stejnosměrné rychlodobíjení standardu CHAdeMO.



Obr. 30 Citroën Berlingo Electric a Peugeot Partner Electric [58], [59].

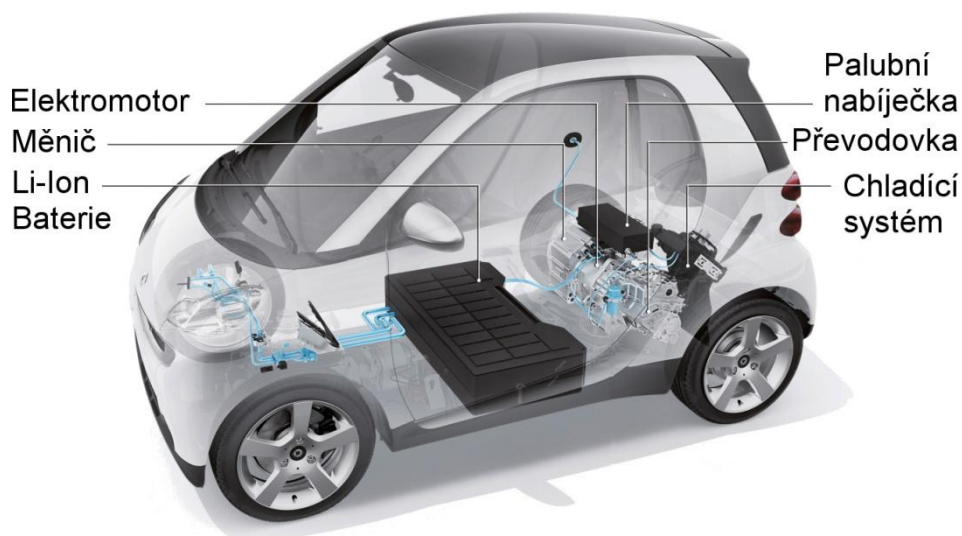
5.4.7 Smart Fortwo ED

Automobilka Smart je součástí koncernu Daimler AG a v roce 2007 začala testovat verzi Electric Drive (ED). Ve druhé generaci Smart Fortwo ED byla nabízena v 18 zemích světa na leasingové smlouvy. V květnu 2013 dorazila na trh 3. generace tohoto EV (*Obr. 31*). V České republice však zatím nabízen není. Přesto je v přehledu uveden, protože energetická společnost E.ON má v pronájmu ve své flotile 26 Smartů ED. Šest z nich provozuje sama a devatenáct poskytla svým partnerům, například Zoo Praha, Letiště Brno, Vodafone nebo Zdravotnická záchranná služba hlavního města Prahy.

Jedná se o malý dvoumístný vůz s rozvorem pouhých 1867 mm. Konstrukce vozu se na *Obr. 32*. Celková kapacita Li-Ion akumulátorů je 17,6 kWh, sestává z 93 článků a umožňuje dojezd až 145 km. Zadní náprava je poháněna elektromotorem o maximálním výkonu 55 kW.



Obr. 31 Smart Fortwo Electric Drive Brabus 3. generace [60].



Obr. 32 Smart Fortwo Electric Drive 2. generace – konstrukce [61].

5.4.8 Tazzari Zero

Zero bylo uvedeno na trh v lednu roku 2010. Je to další zástupce malých EV, jde o dvoudveřové kupé s hliníkovou karosérií a dojezdem 140 km resp. 180 km, dle instalované baterie. Pohonnou jednotku vozu tvoří asynchronní motor, který pohání zadní nápravu. Výrobce, italská firma Tazzari GL, prodává vůz ve dvou variantách: s baterií 12,5 kW nebo 16 kW. Jejich životnost je však poměrně malá, je stanovena na pouhých 80000 km. Vůz může být vybaven interní nabíječkou o výkonu 1,7 kW nebo 2,7 kW, která má zaručit nabití z 0 % na 100 % za 8 hodin resp. 5 hodin (pro 12,5 kWh baterii). K dobíjení je použit standard SAE-J1772.

Tazzari Zero dováží do České republiky firma 3E s.r.o.

Jedno z mnoha barevných provedení Zera je vyobrazeno na *Obr. 33*.



Obr. 33 Tazzari Zero [62].

5.4.9 Think City

Vůz Think City se vyrábí v Norsku a patří do stejné třídy jako předcházející Tazzari Zero. Je to nástupce modelu Ford TH!NK, jak je popsáno v kapitole 2.3. Automobilka měla v historii mnoho problému a několikrát změnila majitele. Výroba vozu byla zastavena na začátku roku 2012.

City je vybaveno EnerDel Li-Ion bateriemi o kapacitě 23 kWh, které mají hmotnost 286 kg a jejich výstupní napětí je 400 V. Think City je na *Obr. 34*.



Obr. 34 Think City [63].

5.4.10 Volkswagen e-up!

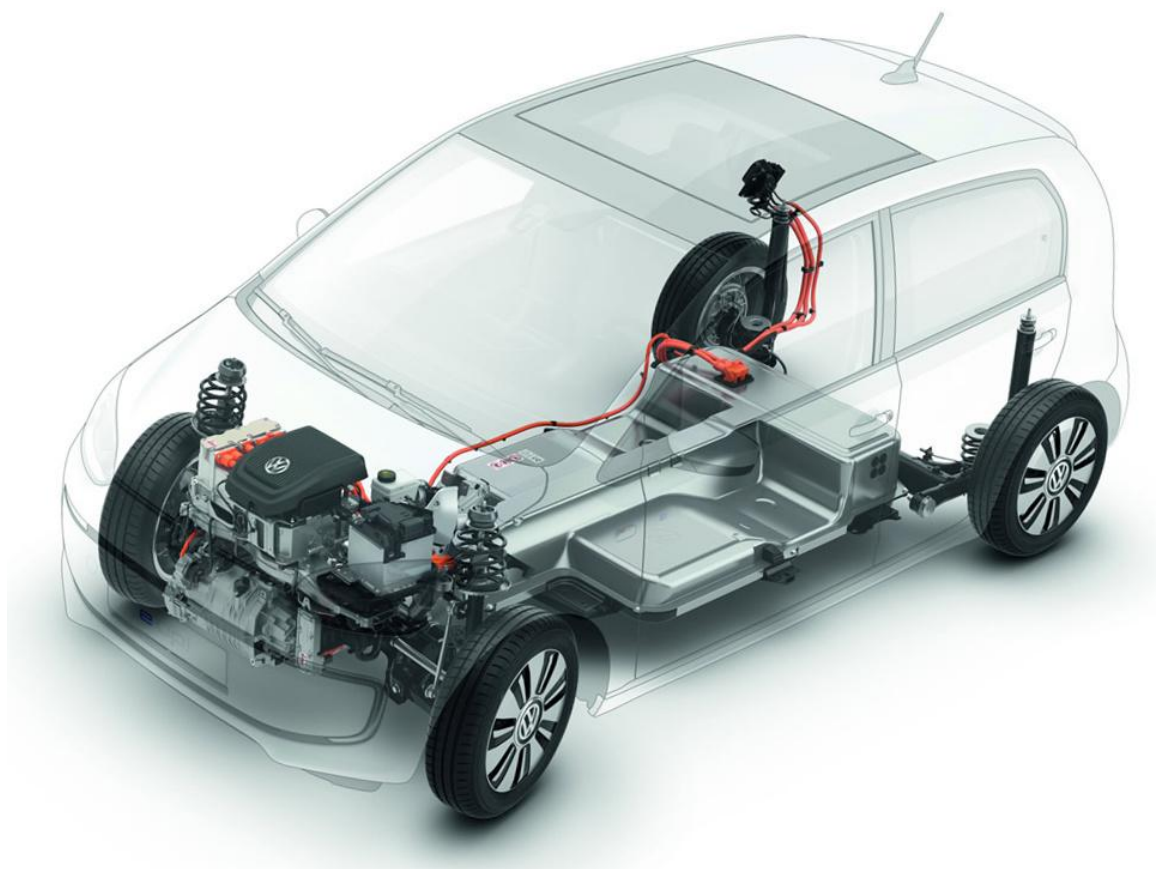
Jde o první sériově vyráběný elektromobil Volkswagen (VW) po více než desetiletí. Je založen na modelu VW up!, který se prodává také jako Škoda Citigo a Seat Mii. Na trh byl uveden v září 2013. Elektromotor pohánějící přední nápravu disponuje maximálním výkonem 60 kW. Baterie o kapacitě 18,7 kWh mají zaručit dojezd až 160 km. Záruka na baterie je 8 let.

Vůz podporuje dobíjecí standard Combo 2, proto opět naráží v České republice na stejný problém jako elektromobil BMW i3. Nabíjení DC v tomto standardu zůstane nevyužité kvůli absenci dobíjecích stanic vybavených potřebným konektorem.

E-up! je na *Obr. 35* a jeho konstrukce je vyobrazena na *Obr. 36*.



Obr. 35 Volkswagen e-up! [64].



Obr. 36 Volkswagen e-up! - konstrukce [65].

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

Tato kapitola má za cíl ověřit výpočty, zda a za jakých podmínek je výhodné použití baterií elektromobilu v grid off sítích s obnovitelnými zdroji energie (OZE). Při takovémto výpočtu je třeba brát v potaz řadu aspektů, jako je roční nájezd s elektromobilem ze strany řidiče, dále stárnutí baterií vlivem dodatečného zatížení zapojením k OZE, životnost vozidla, životnost baterie ve vozidle způsobenou stárnutím bez ohledu na její využití atd.

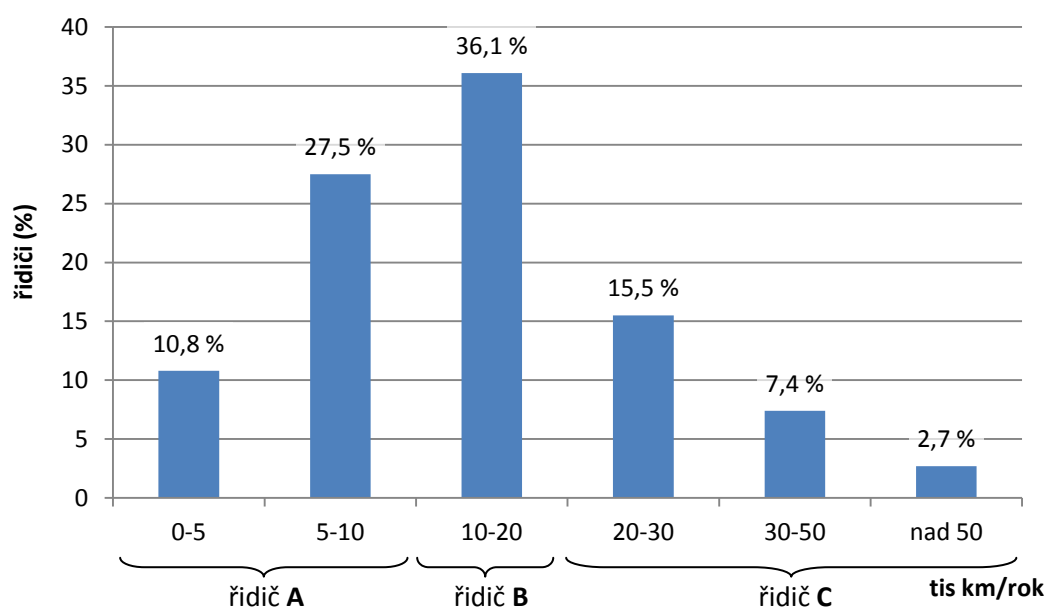
Koncept připojení je následující:

- rodinný dům s určenou roční spotřebou elektrické energie;
- fotovoltaická elektrárna (FVE) instalovaná na obydlí;
- elektromobil se stanovenou kapacitou baterií;
- řidič, využívající elektromobil určitý počet kilometrů a dní za rok;
- stanovená kapacita baterie, která je možná využívat bez výrazného snížení životnosti EV;
- vyčíslení úspor při využití EV oproti konvenčnímu vozu;
- vyčíslení úspor při připojení EV k OZE;
- posouzení finanční výhodnosti konceptu.

6.1 Profil řidiče

Nejdříve je nutné stanovit, kolik řidič elektromobilu najede ročně kilometrů. Protože však existuje velký rozdíl mezi jednotlivými řidiči, byli vytvořeni tři řidiči, jejichž průměrný roční nájezd představuje průřez profilem českých řidičů.

Graf na *Obr. 37* udává množství řidičů v závislosti na jejich ročním nájezdu podle průzkumu z konce roku 2013.



Obr. 37 Roční nájezd řidičů v ČR v tisících km [66].

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

Pro první kategorii, nula až pět tisíc kilometrů, byl stanoven odhadovaný průměrný roční nájezd 3500 km, pro druhou kategorii, pět až deset tisíc kilometrů, nájezd 7500 km, dále 15000 km, 25000 km, 40000 km a 55000 km. Řidiči byli rozděleni do tří skupin tak, aby bylo v každé skupině jejich co nejvyšší procentuální zastoupení:

- řidič A: 0 až 10 tis km/rok
- řidič B: 10 až 20 tis km/rok
- řidič C: nad 20 tis km/rok

Dle váženého průměru byl stanoven průměrný počet kilometrů, které profilový řidič ujede za jeden rok. Tyto hodnoty jsou zapsány v *Tab. 11*. Řidičům A, B a C byla přidělena i charakteristika jejich předpokládaného chování. Řidič A nedojíždí každodenně automobilem do práce, v pracovních dnech ho využívá jen minimálně. Většinu víkendů využívá automobil k jízdě na chalupu, kde nemá možnost elektromobil dobít, nebo k jízdě na výlety či nákupy. Řidič B dojíždí každodenně malou vzdálenost do práce, o víkendu využívá vůz jen minimálně. Řidič C dojíždí do zaměstnání větší vzdálenost, nejezdí však pravidelně každý den. Bydlí například na vesnici se špatnou dopravní obsluhou, proto je nucen využívat vůz téměř pořád. Stanovený počet dní užívání automobilu o víkendu (t_v) a v pracovních dnech (t_{pr}) je rozepsaný pro jednotlivé řidiče v *Tab. 11*.

Tab. 11 Charakteristika profilových řidičů.

řidič	l_r (km)	l_d (km)	užívané dny		t_p (dny)	l_u (km)
			t_{pr}	t_v		
A	6 372,06	17,46	45	100	145	43,95
B	15 000,00	41,10	251	34	285	52,63
C	32 500,00	89,04	190	80	270	120,37

Příklad výpočtu pro řidiče A:

$$\text{ročně: } l_r = \frac{(l_{p1} \cdot p_1 + l_{p2} \cdot p_2)}{p_1 + p_2} = \frac{(3500 \cdot 10,8 + 7500 \cdot 27,5)}{10,8 + 27,5} = 6372,06 \text{ km,} \quad (6)$$

$$\text{denně: } l_d = \frac{l_r}{365} = \frac{6372,06}{365} = 17,46 \text{ km,} \quad (7)$$

$$\text{v provozu: } t_p = t_{pr} + t_v = 45 + 100 = 145 \text{ dní,} \quad (8)$$

$$\text{při užívání: } l_u = \frac{l_r}{d_p} = \frac{6372,06}{145} = 43,95 \text{ km,} \quad (9)$$

kde l_r je průměrný počet kilometrů za rok, které řidič urazí (km),

l_{p1} je odhadovaný průměrný roční nájezd pro kategorii 0 až 5 tis km/rok (km),

l_{p2} odhadovaný průměrný roční nájezd pro kategorii 5 až 10 tis km/rok (km),

p_1 je procentní zastoupení řidičů v kategorii 0 až 5 tis km/rok (%),

p_2 je procentní zastoupení řidičů v kategorii 5 až 10 tis km/rok (%),

l_d je průměrný počet kilometrů, které řidič urazí za den (km),

l_p je průměrný počet kilometrů, které řidič urazí za den, kdy je vozidlo využíváno (km),

t_p je počet dní, kdy je vozidlo využíváno (dny).

6.2 Kapacita baterií

Nyní je třeba zabývat se kapacitou baterie ve vozidle. Byla zvolena lithiová baterie o celkové kapacitě 24 kWh, obdobná se nachází v elektromobilu Nissan Leaf. Při popisování stavu či míry dobití u baterií se používá několik ukazatelů. Jedná se o parametr SOC (State Of Charge), který popisuje množství právě dostupné kapacity baterie.

$$SOC = \frac{\text{zbývající kapacita}}{\text{jmenovitá kapacita}} \cdot 100 (\%). \quad (10)$$

Dále se používá parametr DOD (Depth Of Discharge), ten udává hloubku vybití baterie.

$$DOD = (1 - SOC) \cdot 100 (\%). \quad (11)$$

Co se týče životnosti, respektive technického stavu baterie, ten popisuje SOH (State Of Health).

$$SOH = \frac{\text{max kapacita používané baterie}}{\text{max kapacita nové baterie}} \cdot 100 (\%). \quad (12)$$

Nejen lithiové baterie jsou citlivé na DOD. Hluboká vybití, a ba naopak častá přebíjení do maxima kapacity rapidně zkracují životnost baterie, tedy snižují možný počet cyklů nabití a vybití. Závislost počtu cyklů lithiové baterie na DOD je vynesena v grafu na *Obr. 38* dle [67]. Konec životnosti baterie, a tedy celkový počet cyklů, je obecně stanoven na 70 % její kapacity, po té je již považována za nepoužitelnou v EV. Pro různé druhy lithiových baterií má charakteristika na osách jiná měřítka, ale navzájem se příliš neliší.

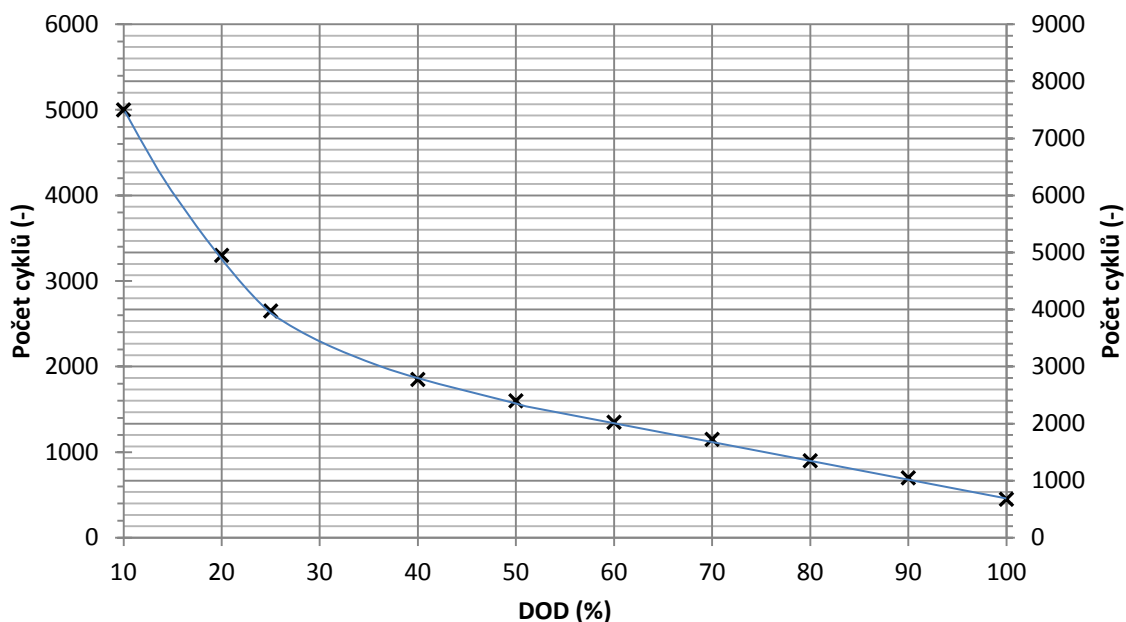
Právě z tohoto důvodu jsou baterie implementované v BMS chráněny omezením jak na horní hranici nabití, tak na spodní hranici vybití. O tato omezení se stará právě BMS, který celkovou kapacitu zmenší o tyto meze a uživateli je k dispozici jen užitná kapacita. Užitná kapacita se na displeji palubního počítače ve voze prezentuje hodnotami od sta do nuly procent, ve skutečnosti se však jedná o menší kapacitu, než jsou fyzické možnosti akumulátorů (*Obr. 39*).

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

Pro přehlednost bude zavedeno značení veličin s “ * “ pro užitnou kapacitu a bez symbolu pro celkovou kapacitu (např.: 90 % DOD = 100 % DOD*).

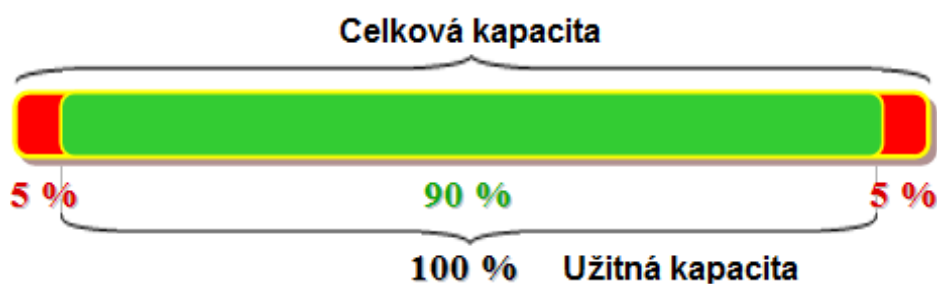
Pro zkoumaný model byly zvoleny meze:

- dolní mez vybití: 5 % kapacity;
- horní mez nabití: 95 % kapacity.



Obr. 38 Závislost počtu cyklů baterie na hloubce vybití (SOH = 70 %).

Osa napravo znázorňuje možný počet cyklů při dobíjení baterie pouze do 95 % její celkové kapacity.



Obr. 39 Užitná kapacita baterie v EV.

Užitná kapacita má tedy hodnotu:

$$c_u = c_{celk} \cdot 0,9 = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ kWh}. \quad (13)$$

kde c_u užitná kapacita baterie (kWh),

c_{celk} celková kapacita baterie (kWh).

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

Reálný dojezd zkoumaného elektromobilu stanovíme na 150 km na jedno nabití. K překonání vzdálenosti 150 km je použita celá užitná kapacita, tedy $DOD^* = 100\%$. Odečtením z grafu na Obr. 38 lze při hodnotě $DOD^* = 100\%$ využít 700 cyklů baterie. Tím, že je baterie dobývána maximálně do svých 95 % kapacity, se její životnost ze 700 cyklů prodlouží na 1 050 cyklů (osa napravo).

Bude-li tedy využita baterie 1050krát a v každém cyklu vůz najede 150 km, za celou životnost akumulátorů se dá urazit s EV vzdálenost 157500 km (zatím je uvažováno stárnutí akumulátorů pouze vlivem užívané hloubky vybití).

Spotřeba elektromobilu byla stanovena průměrně na 15 kWh na 100 km jízdy. Při znalosti spotřeby vozu a denního nájezdu vozu lze určit množství elektrické energie, které vůz denně spotřebuje (E_d).

Denní spotřebu EV lze vyčíslit jako procentní část užité kapacity využití za den, kdy je s vozidlem vykonaná cesta (p_d). K této hodnotě je přidáných 10 % jako rezerva. Ta může sloužit například při zvýšené spotřebě elektrické energie při jízdě způsobenou nepřízní počasí nebo jen náhlá potřeba změny (prodloužení) naplánované trasy. Při známém množství potřebné elektrické energie na určitý den lze snadno spočítat zbývající volnou část kapacity baterie (p_{vv}). Pro řidiče A, který jezdí s automobilem na chatu, kde jej není možno dobít, je třeba mít nachystané dvojnásobné množství energie i na cestu zpět. Z úvahy použití automobilu padesátkrát na dva víkendové dny, kdy je zapotřebí zhruba kapacita $2 \cdot 40\% = 80\%$, a čtyřicet pětkrát na jednodenní použití v pracovní dny, vychází volná kapacita i s rezervou dle váženého průměru 39 % pro řidiče A (p_v). Tyto údaje jsou zapsány v Tab. 12.

Tab. 12 Spotřeba elektrické energie.

řidič	E_d	p_d	p_{dr}	p_{vv}	p_v
	(kWh)	(%)	(%)	(%)	(%)
A	6,59	31	41	59	39
B	7,89	37	47	53	53
C	18,06	84	94	6	6

Příklad výpočtu pro řidiče A:

$$\text{denně:} \quad E_d = E_s \cdot l_u = \frac{15}{100} \cdot 43,95 = 6,59 \text{ kWh}, \quad (14)$$

$$p_d = \frac{E_d}{c_u/100} = \frac{6,59}{21,6/100} = 30,51 \approx 31\%, \quad (15)$$

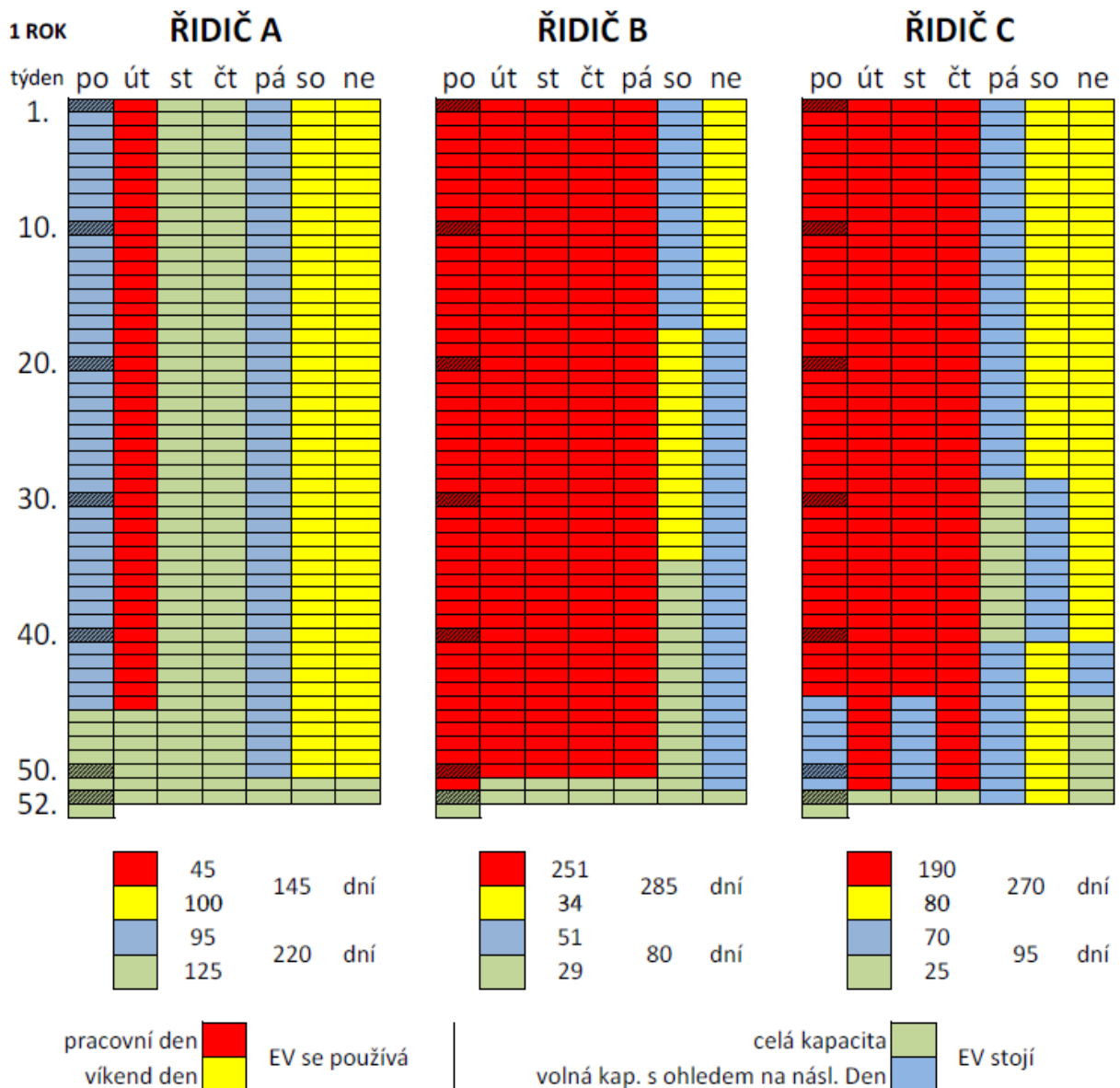
$$p_{dr} = p_d + 10 = 31 + 10 = 41\%, \quad (16)$$

$$p_{vv} = 100 - p_{dr} = 100 - 41 = 59\%, \quad (17)$$

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

$$p_v = \frac{(t_v/2) \cdot p_v + t_{pr} \cdot p_p}{p_p + p_v} = \frac{(100/2) \cdot 20 + 45 \cdot 60}{50 + 45} = 38,95 \doteq 39 \%, \quad (18)$$

kde E_s je průměrná spotřeba elektrické energie na 100 km (kWh),
 p_{dr} je průměrná denní spotřeba energie včetně rezervy v procentech (%),
 p_p je volná kapacita před pracovním dnem v procentech z užitné kapacity (%),
 p_v je volná kapacita před víkendem v procentech z užitné kapacity (%).



Obr. 40 Roční harmonogram řidičů.

Je známo, kolik elektrické energie je potřeba na dny, kdy bude vozidlo používáno. Nelze však říct, že inverzně k počtu dnů, kdy se EV používá, stojí dny, kdy je kapacita baterie plně k využití pro spolupráci s OZE. Podmínka k využívání části kapacity akumulátorů ve vozidle je ta, že je nutné v baterii zachovat dostatečné množství elektrické energie na další den. Z toho plyne, že když je s elektromobilem další den plánovaná cesta, ke spolupráci OZE a baterie elektromobilu je den před cestou k dispozici pouze zbývající kapacita.

Z toho důvodu bylo třeba sestavit roční harmonogram chování řidičů A, B i C vycházející z počtu pracovních a víkendových dní, kdy je automobil používán, na základě hodnot v *Tab. 11*. V rozpisu není podstatné pořadí volných a využitých dní v roce, ale spíše jejich návaznost v rámci týdne. Neznamená to tedy, že řidič C užívá vůz na od začátku roku pravidelně každý pracovní den kromě pátku a až teprve ke konci roku jej využívá obden. Pořadí týdnů není nijak stanoveno. Důležité je vyčíst z této tabulky počet dní, kdy je k dispozici pouze kapacita, respektující využití EV další den (volná kapacita), a počet dní, kdy je k dispozici celá kapacita. Tyto počty dní jsou uvedeny pod tabulkou, reprezentují je modrá a zelená políčka.

6.3 Životnost baterie

Ze znalosti potřebné kapacity baterie na cestování pro všechny řidiče je možné určit počet cyklů, které baterie vydrží (zatím stále bez připojení k OZE). Jak již bylo řečeno, pokud nejsou akumulátory používány v jejich plném rozsahu ($DOD < 100\%$) jejich životnost se prodlužuje. Z grafu na *Obr. 38* lze odečíst pro jednotlivé DOD_d^* z *Tab. 13* počet cyklů (n_{cz}), který baterie vydrží, zvláště pro každého řidiče. Z počtu cyklů lze při znalosti denního nájezdu určit, jakou vzdálenost vůz urazí, dokud SOH baterie neklesne pod hranici 70 %. Počet kilometrů l_z při průměrné roční naježděné vzdálenosti urazí EV za dobu $t_{z70\%}$.

Tab. 13 Životnost baterie.

řidič	DOD_d^*	n_{cz}	l_z	$t_{z70\%}$	$t_{z80\%}$	$t_{z50\%}$
	(%)	(-)	(km)	(-)	(-)	(-)
A	61	2250	98 887,50	15,52	-	26,00
B	47	2700	142 101,00	9,47	-	16,00
C	94	1350	162 499,50	5,00	3,30	-

Příklad výpočtu pro řidiče A:

$$l_z = l_u \cdot n_{cz} = 43,95 \cdot 2250 = 98887,50 \text{ km}, \quad (19)$$

$$t_{z70\%} = \frac{l_z}{l_r} = \frac{98887,50}{6372,06} = 15,52 \text{ roků}. \quad (20)$$

$$t_{z50\%} = t_{z70\%} \cdot \frac{50}{30} = 15,52 \cdot \frac{5}{3} = 25,87 \doteq 26 \text{ roků}. \quad (21)$$

Jsou-li známy jízdní návyky řidičů, nemusí fakt, že SOH baterie klesne na hodnotu 70 %, znamenat konec provozu EV. Konkrétně řidič A (bez rezervy) i řidič B mohou svá vozidla využívat, až dokud SOH neklesne k 50 %. Lineární extrapolací závislosti životnosti akumulátorů (počet cyklů) na SOH lze přibližně určit, kolik let by teoreticky akumulátory vydržely, než dosáhnou $SOH = 50\%$ ($t_{z50\%}$) a lineární interpolací počet let pro $SOH = 80\%$ u řidiče C ($t_{z80\%}$).

Do této chvíle bylo uvažováno stárnutí akumulátorů pouze vlivem užívané hloubky vybití. Akumulátory však stárnou nejen vlivem používání, ale taky při skladování (ať už krátkodobém či dlouhodobém), má na ně vliv více faktorů, velikost okolní teploty, velikost SOC apod. Proto určit stav baterie v určitém čase vyžaduje velkou spoustu vstupních údajů a je velmi složité. V této práci bude uvažováno se zvolenou hodnotou poklesu kapacity 3 % za rok.

Je tedy zřejmé, že u řidiče A baterie nemůže vydržet její teoretický odhad 26 let. Při aplikaci výše popsaného poklesu kapacity vydrží baterie ve vozidlech řidiče A téměř 17 let. I tak ale tato hodnota převyšuje životnost ostatních součástí EV. Průměrný věk osobních automobilů v ČR je dle [68] 14,2 let. Ve statistice je však započítáno dost starších automobilů, které byly oproti dnes vyráběným vozům kvalitněji zpracovány. Proto je životnost modelového EV omezena na 12 let provozu ($t_{živ}$).

V této chvíli lze z dalších výpočtů vyřadit řidiče C. Jestliže mu baterie v elektromobilu vydrží 3,3 let a poté ji bude muset vyřadit, lze uvažovat, že si může dokoupit ještě jednu baterii a pak provoz vozidla ukončit. U takového řidiče není prostor pro zapojení jeho vozidla do domácí sítě s OZE. Jednoduše, vůz je natolik využíván, že nezbývá téměř žádná volná kapacita a hlavně životnost dnešních baterií není dostatečně velká, aby pokryla i požadavky domácího systému na využití baterií vozidla.

U zbývajících řidičů, A a B, by vydržela baterie při jejich jízdních návycích 16 a necelých 17 let, ale vozidlo vydrží jen maximálně 12 let. Proto by bylo dobré využít jeho potenciál, resp. využívat baterie v elektromobilu více než jen na provoz ve vozidle. Zvýšit počet cyklů za rok oproti počtu jízd s vozidlem za rok. Takto získané cykly je možné využít ve dnech, kdy EV není v provozu. Za slunečných dní budou baterie ve voze nabíjeny z FVE a večer, přes noc, nebo ráno se dovolené množství naakumulované elektrické energie použije k provozu spotřebičů v domácnosti.

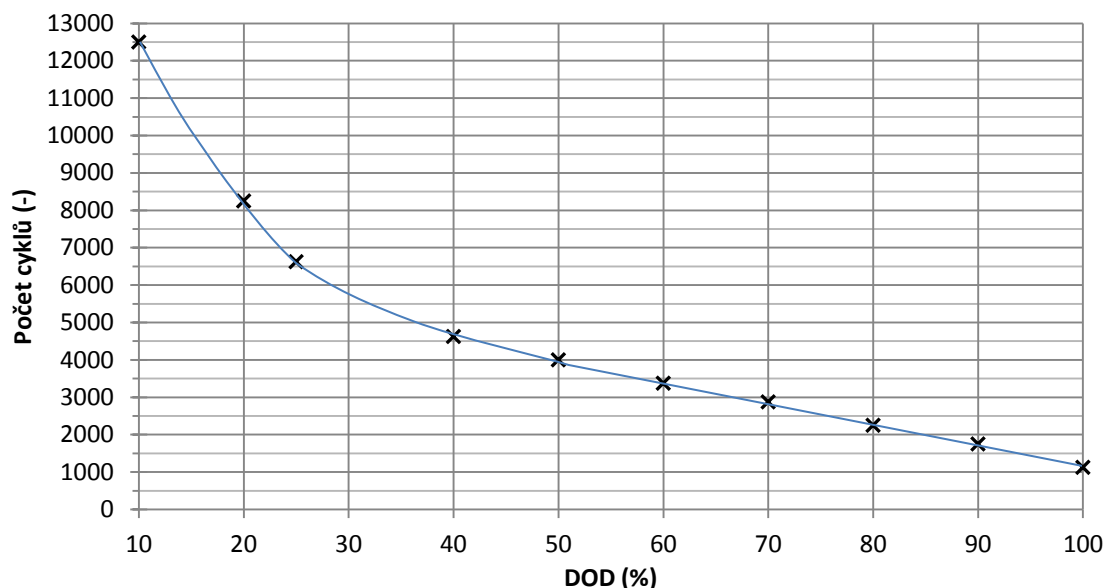
Osa na pravé části grafu na *Obr. 38* s počtem cyklů a limitem baterie $SOH = 70\%$ bude přečíslována a počet cyklů bude odpovídat životnosti baterie s $SOH = 50\%$ (možné díky lineární závislosti počtu cyklů na SOH). Z nového grafu (*Obr. 41*) je odečten počet cyklů, který je baterie schopna vykonat po dobu své teoretické životnosti (16 a 26 let). Pro řidiče A je to 3750 cyklů při $DOD^* = 61\%$ a pro řidiče B 4500 cyklů při $DOD^* = 47\%$.

Řidič A potřebuje využít vůz k jízdě 145krát za rok. Za životnost, tedy 12 let, vykoná 1740 jízd. Cyklů pro ukládání energie z OZE tak zbývá 2010 (3750 – 1740). V jednom roce má řidič A k dispozici 168 cyklů pro uložení energie. Toto číslo musí být menší než počet

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

dní, kdy elektromobil stojí v garáži. Z harmonogramu na *Obr. 40* je patrné, že tato podmínka je splněna, protože $168 < 220$.

Řidič B využije vůz 285krát za rok, tedy 3420krát za jeho životnost. Volných cyklů má k dispozici 90 za rok. Zde ovšem podmínka počtu volných dní splněna není, 90 není menší než 80. U cyklů pro ukládání energie z OZE je tedy třeba zvýšit objem přenášené elektrické energie, tím se sníží počet dostupných cyklů pro ukládání a nepřevyší dostupný počet volných dní, kdy vůz není v pohybu.



Obr. 41 Závislost počtu cyklů baterie na hloubce vybití (SOH = 50 %).

Aby byla co nejvíce využita úspora elektřiny nakupované ze sítě, je dobré se zaměřit spíše na počet cyklů, než na objem přenášené energie. Energie získávaná ze slunce není stálá, každý den je to jiný počet kWh. Proto je lepší volnou kapacitu rozložit raději po menších dávkách, ale rovnoměrně přes co největší počet volných dní, kdy vůz stojí. V *Tab. 14* jsou návrhy poměru hloubek vybití a k nim stanovený počet cyklů.

Nyní je třeba zvolit spotřebu modelového rodinného domu, kde bude systém provozován. Průměrná roční spotřeba je stanovena na 3 MWh za rok. Z této spotřeby elektrické energie lze snadno vyčíslit průměrnou denní spotřebu, která činí 8,22 kWh. Spotřeba elektrické energie se v průběhu roku mění, pro další výpočty však bude tato změna zanedbána a bude se počítat s neměnnou průměrnou hodnotou denní spotřeby.

Hloubka vybití 38 % byla vybrána právě proto, že 38 % z užité kapacity je 8,21 kWh, což je hodnota téměř pokrývající denní spotřebu v rodinném domě. Druhá hodnota DOD byla vybrána na základě výše popsané úvahy rovnoměrně rozložit volnou kapacitu na volné dny. Byla snaha vybrat takové kombinace, kdy se celkový počet cyklů nejvíce blíží počtu volných cyklů za životnost (p_{cA} a p_{cB} nejbližší 100 %). Tyto kombinace jsou vyznačeny v tabulce tmavě.

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

Tab. 14 Rozložení volných cyklů s různými DOD za životnost baterie.

řidič A	DOD* 38 %		DOD* 33 %		n_c	p_c
	n_{c38} (-)	p_{DOD38} (%)	n_{c33} (-)	p_{DOD33} (%)	(-)	(%)
1	2519	100,00	0	0	2519	95,42
2	2000	78,00	564	22,00	2564	97,12
3	1500	57,52	1108	42,48	2608	98,79
4	1140	43,18	1500	56,82	2640	100,00
5	500	18,55	2195	81,45	2695	102,08
6	0	0	2739	100,00	2739	103,75
řidič B	DOD* 58 %		DOD* 38 %		n_c	p_c
	n_{c58} (-)	p_{DOD58} (%)	n_{c38} (-)	p_{DOD38} (%)	(-)	(%)
1	886	100,00	0	0	886	92,29
2	700	74,79	236	25,21	936	97,50
3	612	63,75	348	36,25	960	100,00
4	400	39,25	619	60,75	1019	106,15
5	200	18,64	873	81,36	1073	111,77
6	0	0	1128	100,00	1128	117,50

počet volných cyklů za životnost pro řidiče A: $n_{vc} = 2640$ a pro B: $n_{vc} = 960$

Příklad výpočtu pro řidiče A, kombinace 2:

$$p_{DOD38} = \frac{n_{c38}}{\frac{n_c}{100}} = \frac{2000}{\frac{2564}{100}} = 78,00 \% , \quad (22)$$

$$p_{DOD33} = \frac{n_{c33}}{\frac{n_c}{100}} = \frac{564}{\frac{2564}{100}} = 22,00 \% , \quad (23)$$

$$n_c = n_{c38} + n_{c33} = 2000 + 564 = 2564 , \quad (24)$$

$$p_c = \frac{n_c}{\frac{n_{vc}}{100}} = \frac{2564}{\frac{2640}{100}} = 97,12 \% , \quad (25)$$

kde p_{DOD38} je procentní díl n_{c38} z celkového počtu cyklů (%),
 p_{DOD33} je procentní díl n_{c33} z celkového počtu cyklů (%),
 n_{c38} je počet cyklů pro danou kombinaci při DOD* 38 % (-),
 n_{c33} je počet cyklů pro danou kombinaci při DOD* 33 % (-),
 n_c je celkový počet cyklů pro danou kombinaci (-),
 p_c je procentní díl celkového počtu cyklů pro danou kombinaci z počtu volných cyklů za životnost (%).

U řidiče B je však zvolena větší hloubka vybití 58 %, což představuje kapacitu přesahující průměrnou denní spotřebu. Při použití nižší hloubky vybití by narostl počet cyklů nad počet volných dní, a proto by zůstaly cenné cykly nevyužity. Předpokládá se tedy, že v určitých dnech bude vyšší spotřeba energie v rodinném domě, odpovídající 58 % užité kapacity baterie ve vozidle, která bude vyvážena nižší spotřebou v době, kdy bude EV na cestách.

Ve dnech, kdy je k dispozici volná kapacita, viz harmonogram řidičů, bude využívána menší část kapacity baterie (tzv. menší kapacita), odpovídající 33 % DOD* pro řidiče A a 38 % DOD* pro řidiče B, a ve dnech, kdy je k dispozici celá kapacita, bude využívána větší část kapacity baterie (tzv. větší kapacita), odpovídající 38 % DOD* pro řidiče A a 58 % DOD* pro řidiče B.

Samotná selekce velikosti kapacity poskytnuté ke spolupráci s OZE v konkrétní den může být ovlivněna predikcí počasí. Inteligentní systém by měl například při dvou za sebou jdoucích dnech, kdy EV stojí a má k dispozici dostatek volné kapacity, umět na základě předpovědi počasí rozhodnout, zda je výhodné aktuální den využít kapacitu baterie více, než je průměrná dovolená hodnota. V takovém případě, je-li předpovídán slunný den, bude kapacita vyčerpaná nad průměrnou hodnotu následující den díky vysokému výkonu FVE zase dobít.

6.4 Finanční zhodnocení

V této kapitole proti sobě bude postaven konvenční vůz a elektromobil. Srovnání má za cíl odhalit, zda se za současných podmínek vyplatí investice do elektromobilu, který bude spolupracovat s domácí fotovoltaickou elektrárnou. V potaz nejsou brány pořizovací ani provozní náklady FVE, počítá se s tím, že ji majitel domu již má nainstalovanou a rozhoduje se pouze o typu nově pořizovaného vozu. Dále jsou zanedbány provozní náklady konvenčního vozu i elektromobilu. Obecně je však známo, že provozní náklady elektromobilu jsou podstatně nižší díky jeho jednoduchosti a nižšímu počtu komponent.

Při získávání některých parametrů elektromobilu se vychází z vozu Nissan Leaf. Model Hyundai i30 se zážehovým motorem o objemu 1396 cm³ (palivo je Natural 95) byl vybrán jako zástupce konvenčního vozu. Cena za 1 kWh při užívání EV vychází z nízkého tarifu sazby D 27d popsáno v Tab. 9. Úspory na palivu jsou vyčísleny v Tab. 15.

Tab. 15 Finanční úspora na palivu.

	řidič	E _s		k _j	N _p	N _{pμ}	N _{úp}
		l/100 km	kWh/100 km	Kč	Kč	Kč	Kč
Konven. vůz:	A	7,5	-	36,000	17 204,57	17 204,57	-
	B				40 500,00	40 500,00	-
EV:	A	-	15	1,984	1 896,33	2 217,93	14 986,64
	B				4 464,00	5 221,05	35 278,95

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

Příklad výpočtu pro EV, řidič A:

$$N_p = \frac{E_s}{100} \cdot k_j \cdot l_r = \frac{15}{100} \cdot 1,984 \cdot 6372,06 = 1896,33 \text{ Kč}, \quad (26)$$

včetně účinnosti:
$$N_{p\mu} = \frac{N_p}{\mu_n \cdot \mu_b} = \frac{1896,33}{0,90 \cdot 0,95} = 2217,93 \text{ Kč}, \quad (27)$$

úspora:
$$N_{\acute{u}p} = N_{p\mu k} - N_{p\mu e} = 17204,57 - 2217,93 = 14986,64 \text{ Kč}, \quad (28)$$

kde N_p jsou roční náklady na palivo (Kč),

$N_{p\mu}$ jsou roční náklady na palivo včetně účinností nabíjecího procesu EV (Kč),

$N_{\acute{u}p}$ jsou roční úspory na palivo EV oproti konvenčnímu vozu pro řidiče (Kč),

$N_{p\mu k}$ jsou roční náklady na palivo konvenčního vozu (Kč),

$N_{p\mu e}$ jsou roční náklady na palivo včetně účinností nabíjecího procesu EV (Kč),

E_s je množství spotřebovaného paliva na 100 km (l/km; kWh/km),

k_j cena za jednotku paliva (Kč),

μ_n je účinnost nabíječky (-),

μ_b je účinnost baterií při nabíjení (-).

Nyní se k celkovým nákladům na palivo za 12 let (N_{pc}) přičte pořizovací cena vozu ($N_{poř}$). K pořizovací ceně elektromobilu bude přičtena ještě cena za pořízení a instalaci nabíjecího wallboxu (nástěnné externí nabíječky), instalovaného v garáži u vozu. Součet všech dílčích nákladů, uvedený v *Tab. 16*, dá dohromady celkové náklady na vůz (N_v).

Tab. 16 Celkové náklady na vůz.

	řidič	$N_{poř}$	N_w	N_{pc}	N_v
		Kč	Kč	Kč	Kč
Konvenční vůz:	A	360 000,00	-	206 454,83	566 454,83
	B		-	486 000,00	846 000,00
EV:	A	715 300,00	40 000,00	26 615,16	781 915,16
	B		40 000,00	62 652,63	817 952,63

Příklad výpočtu pro EV, řidič A:

$$N_{pc} = N_{p\mu} \cdot t_{živ} = 2\,217,93 \cdot 12 = 26\,615,16 \text{ Kč}, \quad (29)$$

$$N_v = N_{pc} + N_w + N_{poř} = 26\,615,16 + 40\,000 + 715\,300 = 781\,915,16 \text{ Kč}. \quad (30)$$

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

Z dílčích výsledků je patrné, že řidiči A, který zastupuje skupinu lidí, jež za rok najezdí do 10000 km, se koupě elektromobilu za životnost nevrátí. Řidič B již vynaloží obdobné finanční prostředky na pořízení a provoz elektromobilu a vozu se spalovacím motorem. Dále bude připočten další aspekt, zapojení elektromobilu do sítě s OZE. Tento krok bude mít za následek dalšího snížení provozní ceny elektromobilu v podobě odečtu ceny elektrické energie, kterou by jinak uživatel musel nakoupit ze sítě. Uživatel před nákupem nového vozu využívá nejběžnější jednotarifovou sazbu v ČR D 02d. Cena za 1 kWh při započítání všech složek a stálých měsíčních poplatků vyjma měsíční platby za jistič od společnosti E.ON činí 4,332 Kč (k_{je}). Při zakoupení konvenčního vozu mu tato sazba zůstává, ovšem při koupi automobilu s elektrickým pohonem je mu přiznána dvoutarifová sazba D 27d (viz Tab. 9). Pokud bude majiteli EV přiznána v rodinném domě sazba D 27d, nezanedbatelnou měrou se zaslouží o celkové snížení účtu za elektrickou energii spotřebovanou v domě na běžný provoz. Tyto úspory však nejsou ve výpočtech zahrnuty.

V Tab. 17 jsou vyčísleny úspory za jednotlivé cykly (cyklus s větší kapacitou pro řidiče A i B k_{VKc} a cyklus s menší kapacitou pro řidiče A i B k_{MKc}), kdy energie z FVE uložená v baterii ve vozidle nahrazuje elektrickou energii koupenou ze sítě. Tyto úspory jsou vyčísleny vzhledem k dvanáctileté životnosti vozu (k_{VK} a k_{MK}).

Tab. 17 Celkové náklady na vůz zapojený připojený k OZE.

	řidič	k_{VKc}	k_{MKc}	k_{VK}	k_{MK}	$N_{úe}$	N_{cv}
		Kč	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč
Konv. vůz:	A	32,001	27,791	36 481,14	41 686,50	0	566 454,83
	B	48,844	32,001	29 892,53	11 136,35		846 000,00
EV:	A	0	0	0	0	78 167,64	703 747,52
	B	0	0	0	0	41 028,88	776 923,76

Příklad výpočtu pro konvenční vůz, řidič A:

$$k_{VKc} = k_{je} \cdot \mu_b \cdot \frac{DOD_{VK}^*}{100} \cdot c_u = 4,332 \cdot 0,9 \cdot \frac{38}{100} \cdot 21,6 = 32,001 \text{ Kč}, \quad (31)$$

$$k_{MKc} = k_{je} \cdot \mu_b \cdot \frac{DOD_{MK}^*}{100} \cdot c_u = 4,332 \cdot 0,9 \cdot \frac{33}{100} \cdot 21,6 = 27,791 \text{ Kč}, \quad (32)$$

$$k_{VK} = k_{VKc} \cdot n_{c38} = 32,001 \cdot 1140 = 36481,14 \text{ Kč}, \quad (33)$$

$$k_{MK} = k_{MKc} \cdot n_{c33} = 27,791 \cdot 1500 = 41686,50 \text{ Kč}, \quad (34)$$

Příklad výpočtu pro EV, řidič A:

$$N_{úe} = k_{VK} + k_{MK} = 36481,14 + 41686,50 = 78167,64 \text{ Kč}, \quad (35)$$

6 Koncept připojení k obnovitelnému zdroji

$$N_{cv} = N_v - N_{úe} = 781915,16 - 78167,64 = 703747,52 \text{ Kč}, \quad (36)$$

kde DOD^*_{VK} je hloubka vybití u větší kapacity pro řidiče (%),
 DOD^*_{MK} je hloubka vybití u menší kapacity pro řidiče (%),
 $N_{úe}$ jsou úspory za neodebranou energii ze sítě za životnost EV pro řidiče (Kč),
 N_{cv} jsou celkové náklady na vůz zapojený do sítě s OZE (Kč).

Úspory při zapojení elektrického vozidla do sítě s obnovitelným zdrojem se pohybují pro řidiče A ve výši asi 78,2 tis Kč a pro řidiče B 41 tis Kč.

Na závěr budou pro srovnání stanoveni další dva řidiči (majitelé), D a E. Ani jeden z těchto majitelů si elektromobil nepořídí na cestování, ale pouze využije kapacitu jeho baterií k ukládání energie z OZE. Budou tak vypočteny maximální úspory za elektrickou energii na úkor možnosti využití elektromobilu jako dopravního prostředku (Tab. 18). V předchozích výpočtech tomu bylo naopak, cestování bylo upřednostněno a kapacita na užití baterie v síti s OZE byla cestování podřízena.

Oba dva majitelé počítají ukončení provozu zařízení, když SOC dosáhne hodnoty 38 % (s nižším SOC již vzhledem ke zvolené DOD nezle zařízení provozovat). Majitel D využije akumulaci 4380krát, což je počet dní za 12 let. Nestárnoucí baterie by umožnila majiteli E systém provozovat 6303 dnů, což je 17,3 roků, výpočet je pouze informativní. Hloubka vybití 38 % užité kapacity opět odpovídá průměrné denní spotřebě elektrické energie v domácnosti, tj. 8,22 kWh.

Tab. 18 Maximální úspory připojením baterie k OZE

řidič	DOD*	n_c	k_{Kc}	$N_{úe}$	N_{cv}
	(%)	(-)	Kč	Kč	Kč
D	38	4 380	32,001	140 164,38	615 135,62
E	38	6 303	32,001	201 702,30	553 597,70

$$k_{Kc} = k_{je} \cdot \mu_b \cdot \frac{DOD^*}{100} \cdot c_u = 4,332 \cdot 0,9 \cdot \frac{38}{100} \cdot 21,6 = 32,001 \text{ Kč} \quad (37)$$

$$N_{úe} = k_{vc} \cdot n_c = 32,001 \cdot 4380 = 140164,38 \text{ Kč}, \quad (38)$$

$$N_{cv} = N_{poř} + N_w - N_{úe} = 715300 + 40000 - 140164,38 = 703747,52 \text{ Kč}, \quad (39)$$

kde n_c je počet cyklů při zvolené DOD^* (-),
 k_{Kc} je úspora za nenakoupenou elektrickou energii za jeden cyklus (Kč).

7 Závěr

Kvůli celosvětově zhoršujícímu se stavu životního prostředí, na němž má svůj nezanedbatelný podíl i sektor dopravy, a také kvůli nezvratnému faktu, že fosilní paliva patří do energetických zdrojů neobnovitelných a jednou opravdu dojdou, vznikají snahy zmírnit pro planetu destruktivní chování člověka a stávat se čím dál více nezávislymi na neobnovitelných zdrojích energie.

V dopravě to znamená omezení spotřeby ropy pro výrobu pohonných hmot. Benzín a nafta jsou nahrazovány tzv. alternativními palivy. Nepocházejí z ropy a mnohdy jejich spalování nezpůsobuje tak velké znečištění jako spalování ropných produktů. Mimo nahrazování paliv je také snaha o výrobu automobilů s nižšími obsahy motoru. V neposlední řadě jde o zvyšování efektivity přeměny energie uložené v palivu na energii k pohonu kol. Té se často úspěšně dosahuje instalací více pohonných jednotek do vozu. Jde o takzvané hybridní automobily. Kromě hybridních vozů jsou vyvíjeny automobily, jež používají jiný pohon než spalovací motor. Jde o elektromobily, které mají jako pohonnou jednotku pouze elektromotor či více elektromotorů, nebo vodíková auta, která pomocí palivových článků generují elektrický proud, jenž napájí elektrický pohon.

Výkonová elektronika i elektromotory sloužící pro pohon vozidla jsou zařízení, která jsou vyvíjena již spoustu desetiletí, proto u nich bylo dosaženo vysoké technické úrovně a pokroku se dosahuje již těžko. Oproti tomu akumulátory ve vozidle zažívají rozmach až v poslední době (přestože jsou známy také dlouhou dobu). Nejedná se pouze o lithiové baterie, které jsou v EV používány nejčastěji. Snaha je vyvinout baterii s vysokou energetickou hustotou, vysokým měrným výkonem a nízkou cenou, ať už půjde o libovolný typ či chemickou kombinaci prvků. Do jisté míry lze říci, že masové rozšíření elektromobilů v dnešní době je přímo úměrné pokroku ve vývoji výkonné a levné baterie. Dá se očekávat pokles cen současných článků dostupných na trhu díky velkoobjemové výrobě. Otázkou však zůstává, zda to bude za současných parametrů článků stačit pro výraznější obměnu vozových parků.

Česká republika je oproti západním evropským státům v pronikání do elektromobility poměrně pozadu. V řadě států je občanům nabízena finanční podpora pro koupi a provoz ekologicky šetrnějších vozů. ČR nabízí podporu zatím pouze právnickým osobám, jejichž vozy jsou určeny k podnikání. Tito řidiči elektromobilů, hybridních automobilů nebo vozů s alternativním pohonem mohou získat úlevu v podobě neplacení silniční daně. Dobíjecí infrastrukturu u nás na začátku roku 2014 tvoří 60 dobíjecích stanic, z toho je pouze 7 dobíjecích míst, které podporují rychlodobíjení DC standardem CHAdeMO. Pro majitele elektromobilů je k dispozici nová sazba, kterou mají povinnost nabízet od 1. července 2013 všechny distribuční společnosti. Jedná se o dvoutarifovou sazbu D 27d, resp. C 27d.

V současné době je na českém trhu k dispozici osm oficiálně nabízených typů elektromobilů, mezi nimi je i celosvětově nejprodávanější elektromobil Nissan Leaf. Na našich silnicích lze však potkat elektrických modelů mnohem více, protože spousta majitelů

je ochotna si nový elektromobil dovézt ze zahraničí, popřípadě se dovozem zabývají specializované firmy.

V poslední části se zkoumala výhodnost propojení EV s domácí sítí, do které je připojený obnovitelný zdroj energie, konkrétně fotovoltaická elektrárna. Hlavní myšlenka je využít dostupnou kapacitu baterie elektromobilu v době, kdy není používán a stojí bezúčelně v garáži. Životnost baterie je nepřímo závislá na jejím využívání. Proto je třeba brát ohled i na tento aspekt a zajistit, aby se počet cyklů baterie častým nabíjením a vybíjením nezmensil pod hranici potřebnou pro provoz elektromobilu. Byli určeni tři modeloví řidiči, každému byla přidělena určitá vzdálenost, kterou s vozem ročně najezdí, a charakteristika, ze které plyne různé užívání vozu v pracovní dny a o víkendu. Bylo zjištěno, kolik cyklů při dané zátěži pro každého řidiče baterie vydrží a kolik let provozu by to znamenalo. Doba provozu elektromobilu je však limitována několika faktory. Jde o opakovanou hloubku vybití baterie, životnost ostatních komponent vozidla nebo samotné stárnutí baterie vlivem chemických procesů, ovlivněné teplotou okolí, kde je baterie skladována, nebo hodnoty SOC při skladování. Z toho plyne, že není moudré si elektromobil „šetřit“ s vidinou dlouhodobého užívání. V našich klimatických podmínkách lze velmi zhruba určit stárnutí baterie na úbytek 3% kapacity za rok bez ohledu na míru využívání. S vyšším využíváním, stejně jako s teplejším podnebím, bude kapacita ubývat rychleji. Maximální životnost elektromobilu s ohledem na všechny součásti byla stanovena na 12 let provozu.

Modelový řidič C, který ročně najezdí přes 30 tis km a absolvuje s vozem dlouhé cesty, opotřebuje baterie za 3,3 roku a pro jeho jízdní návyky se vozidlo stává nevyhovující. Vozidlo tohoto řidiče se nedá použít ke spolupráci s OZE, dokonce mu ani není doporučen za současných parametrů nákup elektromobilu.

U řidičů A a B byl vypočten počet cyklů, který je možný bez obav o životnost baterie použít ke skladování elektrické energie z FVE instalované v domě. Tato kapacita může být převedena na finanční částku, kterou majitelé EV ušetří oproti případu, kdy by stejný objem elektrické energie museli nakoupit z veřejné sítě. V porovnání s konvenčním benzínovým vozem při započtení nákladů na palivo, pořizovacích nákladů, nákladů na instalaci domácí nabíječky pro elektromobily, a při zanedbání servisních nákladů u obou typů vozů se řidiči A elektrický vůz prodraží o 215,5 tis Kč, kdežto řidič B na koupi elektromobilu ušetří 28 tis Kč za dvanáct let provozu. Úspory zapojením EV do sítě s OZE činí u řidiče A 78,2 tis Kč a u řidiče B 41 tis Kč. Odečtením od rozdílu 215,5 tis Kč u řidiče A se rozdíl ztlačí a přičtením k rozdílu u řidiče B se výsledná částka, zvýhodňující elektrické vozidlo, téměř ztrojnásobí. U majitelů D a E nejde o to dokázat, že nemá smysl si elektromobil kupovat jen jako akumulární prvek, nýbrž porovnat maximální ušetřené náklady spoluprací s OZE s náklady u řidičů, kteří vůz zároveň využívají po 12 let jako plnohodnotný dopravní prostředek. Maximální reálná úspora řidiče D je jen téměř dvakrát větší, než u řidiče A.

Úspory 78,2 tis Kč, resp. 41 tis Kč za 12 let nejsou zanedbatelné. Je třeba poznamenat, že řídicí elektronika spolupracující s FVE bude muset být nejprve vyvinuta a hlavně zaplácena, což se promítne majiteli jako další pořizovací náklad, který snad ale nebude nijak závažný.

Dá se předpokládat, že se bude jednat o jakýsi zdokonalený wallbox umožňující tok energie oběma směry. Automobilky poskytují záruku na baterie, které jsou využívány ve vozidle pouze pro pohon elektromotorů. Použitím vozu i pro jiný účel by byla záruka ztracena, nezmění-li se přístup výrobců elektromobilů. Je však patrné, že využití elektromobilu jako akumulárního prvku v domácnosti potenciál má. Ten bude dále narůstat se zlepšujícími se parametry baterií. Již dnes existují projekty zvláště v ostrovních státech, jako je například Japonsko, kdy v případě přírodní katastrofy a následného výpadku elektrického napájení domácnosti může být nabitě elektrické vozidlo použito jako záložní zdroj energie po dobu několika desítek hodin. K tomuto účelu však lze použít i baterie z již vyřazených elektromobilů, automobilky totiž počítají s ukončením provozu vozidel, když SOC baterií dosáhne 70 %. V tu dobu je ale k dispozici při plném nabití stále ještě více než dvě třetiny původní kapacity baterie, což není zanedbatelná hodnota, a bylo by neefektivní baterie likvidovat.

Na závěr je dobré uvědomit si, že ekologický přínos tohoto konceptu v podobě šetření energie i samotné elektromobility nemusí být vždy finančně výhodný, přesto zanedbatelnou roli v přístupu člověka k přírodě a jejím zdrojům hrát může.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] NOSKIEVIČ, Pavel. Energetické zamyšlení (2): Limity růstu a Největší bohatství. In: *TZB-info* [online]. 6.2010, 27.10.2013 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/10504-energeticke-zamysleni-2>
- [2] HORČÍK, Jan. Dosáhl počet osobních aut svého vrcholu?. In: *HYBRID.cz* [online]. 30.1.2013 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/dosahl-pocet-osobnich-aut-sveho-vrcholu>
- [3] INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS. *Vehicles in use: By country and type 2005-2011* [online]. 9.9.2013 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.oica.net/wp-content/uploads/2013/09/total-wviu.pdf>
- [4] VEGR, Jaromír. Elektromobily – historie a současnost. *PRO-ENERGY*. 3.2008, č. 7.
- [5] LÁZŇOVSKÝ, Matouš. Proč elektrická octavie nedojede dál než 100 let staré elektromobily. In: *Technet.cz* [online]. 21.1.2012 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/proc-elektricka-octavie-nedojede-dal-nez-100-let-stare-elektromobily-1d7-/tec_tecnika.aspx?c=A120117_173730_tec_tecnika_mla
- [6] SRB, Luděk. Trocha historie – víte, že EV tu jsou už od roku 1839?. In: *ElektrickéVozy.cz* [online]. 29.2.2012 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://elektrickevozy.cz/clanky/trochu-historie-vite-ze-elektromobily-tu-jsou-uz-od-roku-1839/>
- [7] Historie elektromobilismu. In: *Elektromobil.vseznamu.cz* [online]. 2010 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/historie-elektromobilismu>
- [8] BŘEZOVÁ, Kateřina. Kdo zabil elektromobil aneb smutná zpráva o naší fosilní společnosti. In: *Vaše věc.cz* [online]. 26.10.2011 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.vasevec.cz/blogy/kdo-zabil-elektromobil-aneb-smutna-zprava-o-nasi-fosilni-spolecnosti>
- [9] Citace obrázku: <http://www.favcars.com/wallpapers-gm-ev1-1996-99-13125.htm>
- [10] Citace obrázku: http://www.evnut.com/rav_data.htm
- [11] MUCHNA, Z. *Modelování a simulace silničních vozidel se zaměřením na pohony*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2012. 54 s.
- [12] CHROMÝ, M. *Výzkumné spalovací motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 55 s.
- [13] Citace obrázku: <http://auto-pc.webnode.cz/automobily/zazehovy-motor-cinnost/>
- [14] VLK, František. *ALTERNATIVNÍ POHONY MOTOROVÝCH VOZIDEL*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-212-224.pdf>.
- [15] Alternative Fuels Data Center – Fuel Properties Comparison. In: *Energy.gov* [online]. 27.2.2013 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: http://www.afdc.energy.gov/fuels/fuel_comparison_chart.pdf
- [16] DANIEL, Š. Spalovací motory a jejich vliv na životní prostředí. [online]. Univerzita Pardubice, 28.11.2001 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: envi.upce.cz/pisprace/prezencni/23_05_3.doc

- [17] HORČÍK, Jan. Mikrohybrid, plug-in nebo asistovaný? Uděláme vám v autech jasno!. In: *HYBRID.cz* [online]. 7.7.2011 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/mikrohybrid-plug-nebo-asistovany-udelame-vam-v-autech-jasno>
- [18] HORČÍK, Jan. Stop & Start. In: *HYBRID.cz* [online]. 7.10.2010 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovník/stop-start>
- [19] HORČÍK, Jan. Sériový hybrid. In: *HYBRID.cz* [online]. 17.9.2009 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovníček/seriovy-hybrid>
- [20] NOVÁK, M. *Hybridní pohony osobních vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 43 s.
- [21] KŘIVÁNEK, Václav. Hybridní pohony. In: *Krivanek.xf.cz* [online]. 21.4.2007 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://krivanek.xf.cz/hybrid.html>
- [22] Energy consumption, CO2 emissions and other considerations related to Battery Electric Vehicles. In: *European Association for Battery Electric Vehicles* [online]. 8.4.2009 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/consultations/doc/2009_03_27_future_of_transport/20090408_eabev_\(scientific_study\).pdf](http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/consultations/doc/2009_03_27_future_of_transport/20090408_eabev_(scientific_study).pdf)
- [23] Citace obrázku: <http://www.statista.com/chart/1698/the-power-source-of-an-electric-car-matters/>
- [24] Renewable Power: Paraguay factsheet. In: *Renewable facts* [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.renewablefacts.com/country/paraguay/renewables>
- [25] KACHLÍK, J. *Model elektrického vozidla v programu SIMULINK/SIMSCAPE*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 59 s.
- [26] MATELA P. *Studie pohonu elektromobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 49 s.
- [27] GROHMANN, Jan. Elektromotory v kolech blíže realitě. In: *HYBRID.cz* [online]. 18.4.2013 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/elektromotory-v-kolech-blize-realite>
- [28] MURTINGER, Karel a Jan GROHMANN. Motor v kolech: Je ideálním řešením pro elektromobily?. In: *Nazeleno.cz* [online]. 16.7.2012 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-ideálním-řešením-pro-elektromobily.aspx>
- [29] Protean ELECTRIC [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.proteanelectric.com/en/>
- [30] EVs ready to charge ahead. In: *International Electrotechnical Commission* [online]. Geneva (Switzerland), 18.10.2011 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.iec.ch/newslog/2011/nr1611.htm>
- [31] Elektromobil: Připojení systému k nabíjecí stanici – klíčový prvek pro elektromobily. In: *Schneider electric* [online]. 2011 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.cz/documents/product-services/en/product-launch/electric-vehicle/s1045.pdf>
- [32] CHAdeMO Association [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.chademo.com>

- [33] TESLA MOTORS. Supercharger [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.teslamotors.com/supercharger>
- [34] VAZQUES, S. [34] Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications. *Industrial Electronics: IEEE Transactions on*. 23.9.2010, roč. 57, č. 12, 3881 - 3895.
- [35] DVOŘÁK, Petr. Superkondenzátory. In: *TZB-info* [online]. 16.8.2010 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6710-superkondenzatory>
- [36] MURTINGER, Karel. Ukládání elektřiny z fotovoltaických a větrných elektráren. In: *Nazeleno.cz* [online]. 3.5.2011 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektřiny-z-fotovoltaických-a-větrných-elektřaren.aspx>
- [37] MAREŠ, J., M. LIBRA a V. POULEK. Akumulace elektrické energie. *Elektro*. 2011, č. 2, s. 6-10.
- [38] MURTINGER, Lithium: Nejdůležitější součást elektromobilů?. In: *Nazeleno.cz* [online]. 17.10.2011 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/lithium-nejdulezitejsi-soucast-elektromobilu.aspx>
- [39] Benzín. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Benzín>
- [40] Battery and Energy Technologies: Rechargeable Lithium Batteries. In: *Electropaedia.com* [online]. © 2005- [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.mpoweruk.com/lithiumS.htm>
- [41] AGUIRRE, K., L. EISENHARDT, Ch. LIM, B. NELSON, A. NORRING, P. SLOWIK a N. TU. Lifecycle Analysis Comparison of a Battery Electric Vehicle and a Conventional Gasoline Vehicle. 2012, 33 s.
- [42] Overview of purchase and tax incentives for electric vehicles in the EU. In: *European Automobile Manufacturers' Association* [online]. 4.4.2013 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.acea.be/uploads/publications/Electric_vehicles_overview_2013.pdf
- [43] VITÁSKOVÁ, A. Energetický regulační věštník. Jihlava, 28.11.2013, roč. 13, č. 9, s. 32. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/486920/ERV9_2013titul_konec_finish.pdf/78048141-3170-468e-8408-1d8917a49ba8
- [44] TZB-info. Ceny paliv a energií: Přehled cen elektrické energie. In: *TZB-info* [online]. 1.1.2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-elektricke-energie>
- [45] Citace obrázku: <http://www.alpiq.com/what-we-offer/energy-services/e-mobility/e-mobility.jsp>
- [46] BMW Group ČR. BMW i3 [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.bmw.cz/cz/cs/newvehicles/i/i3/2013/showroom/_shared/pdf/I01_04-2014.pdf?download=true
- [47] Citace obrázku: http://www.carsofyear.com/uploads/posts/2014-04/1396375989_bmw_i3_rt.jpg
- [48] Citace obrázku: <http://citroen.carling.cz/images/Item/medium/502111.jpg>

- [49] Citace obrázku:
http://www.buyacar.co.uk/img/lrg/peugeot_ion_hatchback_119073.jpg
- [50] Citace obrázku:
http://s1.cdn.autoevolution.com/images/news/gallery/medium/peugeot-ion-official-specs-and-pictures-released-medium_15.jpg
- [51] Citace obrázku:
http://www.fleetdrive-electric.com/wp-content/uploads/2013/10/mercedes-benz_vito_traveliner_long_diesel_33779.jpg
- [52] Citace obrázku:
http://img.auto.cz/news/img/galleries/2011-39/meviec84_4e86ae4121847.jpg
- [53] Citace obrázku: <http://ukelectriccars.co.uk/wp-content/uploads/2012/12/mia-electric-car.jpg>
- [54] SCHOENUNG, S. Energy Storage Systems Cost Update. In: *Sandia National Laboratories* [online]. 2011 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2011/112730.pdf>
- [55] NISSAN MOTOR CORPORATION. Nissan LEAF global sales reach 100,000 units [online]. 20.1.2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2014/_STORY/140120-03-e.html?rss
- [56] InsideEVs' Pie Chart Tracks Worldwide Nissan LEAF Sales Since Launch. In: *InsideEVs* [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://insideevs.com/insideevs-pie-chart-tracks-worldwide-nissan-leaf-sales-since-launch/>
- [57] Citace obrázku: <http://cdr.cz/sites/default/files/nissan-leaf-japanese-spec-front-side-view11.jpg>
- [58] Citace obrázku:
http://www.citroen-praha.cz/files/upload/images/2014/02/21/thumbs/13x34jpg_jpg_619x423_crop_q85.jpg
- [59] Citace obrázku: <http://www.inautonews.com/wp-content/uploads/2012/09/peugeot-partner-electric-1.jpg>
- [60] Citace obrázku: <http://insideevs.com/wp-content/uploads/2013/04/smart-fortwo-ed-brabus.png>
- [61] Citace obrázku: <http://www.451s.com/forum/topics/smart-ed-is-coming-to-the-usa>
- [62] Citace obrázku:
http://www.bankoboev.ru/images/MzY2MjA3/Bankoboev.Ru_tazzari_zero_special_edition_2011_sboku.jpg
- [63] Citace obrázku: http://www.4wheelsnews.com/images/news/11613/think_city.jpg
- [64] Citace obrázku:
<http://imagecom.volkswagen.co.uk/api/image/car/vw/e-up-nf/1651/1652/8e8e/n4ejy5mj/1mhb.cc8.qv3.s22/exterior-front/1024.png?context=publish>

- [65] Citace obrázku:
http://autoconcept-reviews.com/cars_reviews/volkswagen/Volkswagen-e-golf-and-e-up-electric-cars-2013/wallpapers/5%20-%20Volkswagen%20e-up.jpg
- [66] Generali. Polovina českých řidičů objede za rok pětkrát republiku [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <https://www.general.cz/tiskove-zpravy/polovina-ceskych-ridicu-objede-za-rok-petkrat-republiku>
- [67] How to Prolong Lithium-based Batteries. In: *Battery University* [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries
- [68] Sdružení automobilového průmyslu. Údaje o registracích vozidel v ČR [online]. 31.12.2013 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.autosap.cz/dalsi-informace/pocty-registrovanych-vozidel-vozidel-v-cr-a-dalsi-udaje/#struktS>
- [69] ROUSSEAU, A. et al Society of Automotive Engineers. In: *Well-to-Wheels Analysis of Advanced SUV Fuel Cell Vehicles* [online]. 2003 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.autonomie.net/docs/6%20-%20Papers/WTW/Well-to-Wheel_SUV%20Fuel%20Cell%20Vehicles.pdf