Vysoká škola logistiky o.p.s.

Elektromobilita automobilů v kontextu Green Deal

(Diplomová práce)

Přerov 2022 **Bc. Ondřej Ráž**

Vysoká škola logistiky o.p.s.

Zadání diplomové práce

student	**Bc. Ondřej Ráž**
studijní program	Logistika

Vedoucí Katedry magisterského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v navazujícím magisterském studijním programu určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Elektromobilita automobilů v kontextu Green Deal**

Cíl práce:

Na základě provedené analýzy elektrických pohonů osobních automobilů (pohonných jednotek) vyhodnotit použití technologie, upozornit na kritická místa a předložit návrhy na jejich odstranění (předcházení).

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Diplomovou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod
1. Teoretická východiska pro e-mobilitu
2. Pohonné jednotky pro e-mobilitu
3. Vyhodnocení použitých technologií a provozního nasazení
4. Kritická místa pro navržené technologie e-mobility
5. Návrhy a jejich zhodnocení

Závěr

Rozsah práce: 55 – 70 normostran textu

Seznam odborné literatury:

MATĚJOVSKÝ, Vladimír. Automobilová paliva. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5.

VLK, František. Paliva a maziva motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5.

VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D., DBA

Datum zadání diplomové práce: 31. 10. 2021
Datum odevzdání diplomové práce: 12. 5. 2022

Přerov 31. 10. 2021

Ing. Blanka Kalupová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.
rektor

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a že jsem ji vypracoval/a samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušil/a autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byl/a také seznámen/a s tím, že se na mou diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom/a povinnosti informovat předtím o této skutečnosti prorektora pro vzdělávání Vysoké školy logistiky o.p.s.

Prohlašuji, že jsem byl/a poučen/a o tom, že diplomová práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované diplomové práce v její tištěné i elektronické verzi. Souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze diplomové práce, elektronická verze na odevzdaném optickém médiu a verze nahraná do informačního systému jsou totožné.

V Přerově, dne 12.05.2022 …….

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Václavu Cempírkovi, Ph.D., DBA za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Mé poděkování patří též panu Ing. Janu Dvořákovi a všem odborníkům z jednotlivých útvarů společnosti Škoda Auto a.s., kteří poskytli důležité informace pro tvorbu této práce.

Anotace

Na základě teoretických znalostí o elektrických pohonech osobních automobilů zhodnotit varianty bateriových a vodíkových, nebo plug-in hybrid systémů pohonu.

V Diplomové práci budou uvedeny dvě různé technologie pro e-mobilitu s deskripcí jejich uložení na podvozku osobního automobilu.

Zhodnocení porovná výhody a nevýhody konstrukčního řešení a systémů pro nabíjení akumulátorů.

Klíčová slova

Automotive, Škoda Auto a.s., e-mobilita, pohonné systémy

Annotation

Based on theoretical knowledge of electric drives of passenger cars to evaluate variants of battery and hydrogen or plug-in hybrid drive systems.

The Diploma Thesis will present two different technologies for e-mobility with a description of their storage on the chassis of a passenger car.

The evaluation will compare the advantages and disadvantages of the constructional solution and systems for battery charging.

Keywords

Automotive, Skoda Auto a.s., e-mobility, propulsion systems

Obsah

Úvod ... 9

1 Teoretická východiska pro e-mobilitu ... 11

1.1 Elektromobily ... 12

1.1.1 Technologie pohonu BEV ... 15

1.1.2 Technologie pohonu FCEV ... 18

1.1.3 Elektrobusy ... 24

1.2 Hybridní pohon ... 26

1.2.1 Systémy uspořádání hybridního pohonu ... 27

1.2.2 Hybridní pohon v city logistice ... 32

1.3 Zelená dohoda pro Evropu ... 36

1.4 Analýza důsledků přijetí elektromobility v ČR ... 38

1.4.1 Zdroje elektrické energie a její zajištění ... 39

1.4.2 Potřebný výkon ... 41

1.4.3 Emise ... 42

1.4.4 Spotřeba a dojezd elektromobilů ... 43

1.4.5 Dobíjení ... 44

2 Pohonné jednotky pro e-mobilitu ... 47

2.1 Analýza pohonné jednotky technologie BEV ... 48

2.1.1 Platforma MEB ... 48

2.1.2 Rozbor výrobního procesu baterie platformy MEB ... 50

2.2 Analýza pohonné jednotky PHEV ... 54

2.2.1 Výroba trakčních baterií pro technologii PHEV ... 55

2.2.2 Rozbor výrobního procesu baterie pro technologii PHEV ... 56

2.3 Provozní nasazení pohonné jednotky technologie BEV ... 61

2.3.1 Test elektrického tahače v rámci provozního nasazení 61
2.3.2 Trasa testovaného úseku 63
2.3.3 Metodika provedeného testu 64
2.3.4 Sběr a zpracování dat 65
3 Vyhodnocení použitých technologií a provozního nasazení 67
3.1 Vyhodnocení provozního nasazení technologie BEV 67
3.2 Srovnání výrobních procesů pro technologie BEV a PHEV 73
4 Kritická místa pro navržené technologie e-mobility 78
5 Návrhy a jejich zhodnocení 80
5.1 Návrhy pro zabezpečení obslužnosti úseku 81
5.1.1 Alternativní nabíjecí zdroj 81
5.1.2 Náhradní tahač se spalovacím motorem 82
5.2 Vyhodnocení návrhů 82
5.2.1 SWOT analýza 1 83
5.2.2 SWOT analýza 2 84
Závěr 86

Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku e-mobility, což je v současné době velmi aktuální a probírané téma nejen v oblasti automobilového průmyslu. Nástup elektromobility je velice kontroverzní téma, o kterém se vedou nesčetné debaty napříč celou společností a zároveň rozděluje společnost na dvě skupiny, neboť každý má na tuto problematiku vlastní názor a já sám se setkávám spíše s odpůrci této technologie a těch důvodů je hned několik. Všeobecně známým faktem je cenová nedostupnost elektromobilů pro převážnou většinu lidí, neboť ceny nových elektromobilů jsou vysoké zejména v porovnání s vozidly se spalovacími motory. Není se čemu divit, neboť výrobní náklady spojené s touto technologií budoucnosti jsou také výrazně vyšší, než je tomu u vozidel se spalovacími motory, a to reflektuje také výsledná vyšší pořizovací cena. Většina názorů se také ztotožňuje s problematikou malého dojezdu, a především se stále ještě nedostatečným rozšířením sítě nabíjecích stanic. Celý smysl nenadálého nástupu elektromobility je podnícen především snahou o co největší snížení celkových emisí CO_2 ze strany Evropské unie, avšak otázkou zůstává, zda zaměření právě na podíl emisí CO_2 v dopravě je tou správnou cestou, jak podíl emisí v rámci celosvětového měřítka ovlivnit.

Cílem práce je na základě provedené analýzy elektrických pohonů automobilů, respektive pohonných jednotek vyhodnotit použití technologie, upozornit na kritická místa a předložit návrhy na jejich odstranění nebo jejich předcházení. Pro analýzu byly zvoleny dvě různé technologie e-mobility a analýza proběhne se zaměřením na výrobní procesy pohonných jednotek pro tyto zvolené technologie, přičemž kritická místa a následné návrhy budou posléze alokovány na základě analýzy konkrétního provozního nasazení jedné ze zvolených technologií e-mobility.

V první části této práce se budu věnovat teoretickému přístupu ke zvolené problematice a budou představeny jednotlivé varianty elektrických pohonů, jejich provedení, použití a v neposlední řadě bude krátce představena Zelená dohoda a jaké důsledky by pro ČR představovalo přijetí elektromobility jako takové. Ve druhé části práce se již budu věnovat zvoleným technologiím e-mobility a budou provedeny analýzy ve formě rozborů jednotlivých výrobních procesů pohonných jednotek, které budou následně vyhodnoceny a na základě těchto analýz bude možné definovat hlavní diference použitých technologií a jejich konstrukčního řešení včetně umístění na podvozku vozidla.

V návaznosti na analýzy zmíněných výrobních procesů se budu dále věnovat provoznímu nasazení jedné z technologií pohonu e-mobility a cílem bude na základě vyhodnocení tohoto provozního nasazení alokovat potenciální kritická místa v rámci použití dané technologie. Zjištěná kritická místa by měla zároveň potvrdit, nebo vyvrátit hypotézy o zmíněných všeobecně vnímaných nedostatcích technologie e-mobility. Výsledné návrhy na řešení budou posléze zpracovány dle povahy případných zjištěných kritických míst.

1 Teoretická východiska pro e-mobilitu

Samotný koncept e-mobility a současná elektrická revoluce v automobilovém průmyslu může působit na první pohled futuristicky, ale ve skutečnosti je však pouze návratem k historickým kořenům. Proto je velmi důležité na úvod zmínit i určitou část z historie e-mobility, aby bylo jasné, odkud se vůbec vzala myšlenka této převratné technologie způsobu pohonu určená nejen pro provoz osobních automobilů.

Úplně první elektromobil totiž spatřil světlo světa již v roce 1835, což bylo zhruba 50 let před prvním automobilem se spalovacím motorem, a i když se jednalo spíše o kočár bez koní, přesněji pak o tříkolku bez volantu, dá se tento vůz považovat za prvního průkopníka této technologie. Elektromobil také jako první překonal magickou hranici rychlosti 100 km/h a na počátku 20. století těchto vozů poháněných silou elektronů jezdilo v USA víc než těch poháněných spalováním benzinu. [1]

Tehdejší technologie těžkých olověných bateriových článků, ve kterých se využívala prudce leptavá kyselina sírová nebyla bohužel nijak zvlášť sofistikovaná a reálný dojezd byl velmi malý. Elektromobil tedy svou bitvu z pohledu využití v automobilovém průmyslu velmi rychle prohrál, jelikož se startem masové výroby získaly automobily se spalovacím motorem rychle navrch. Nyní však díky technologickému pokroku, miniaturizaci a rozvoji mobilní elektroniky hlásí elektromobilita svůj návrat. Nové bateriové články jsou lehké, kompaktní a samozřejmě se nabíjejí mnohem rychleji než kdy dřív a samotný vývoj neustále intenzivně pokračuje a technický pokrok je nezastavitelný. Elektrifikace otevírá celou řadu dalších, dosud zamčených bran mobility a další zrychlení a zefektivnění dopravy. Samotná elektřina a moderní technologie tak ještě zvyšují překotnou rychlost našich dnešních životů, ale také dávají naději na více odpočinku – minimalizaci a efektivní využití času, který bychom jinak strávili prostou dopravou z místa na místo.

V budoucnu není ani vyloučeno, že se jednou dočkáme i konečného řešení dopravního problému, tedy nějakého prostředku, který zvládne přepravovat osoby z místa na libovolně vzdálené místo prakticky okamžitě. [2]

1.1 Elektromobily

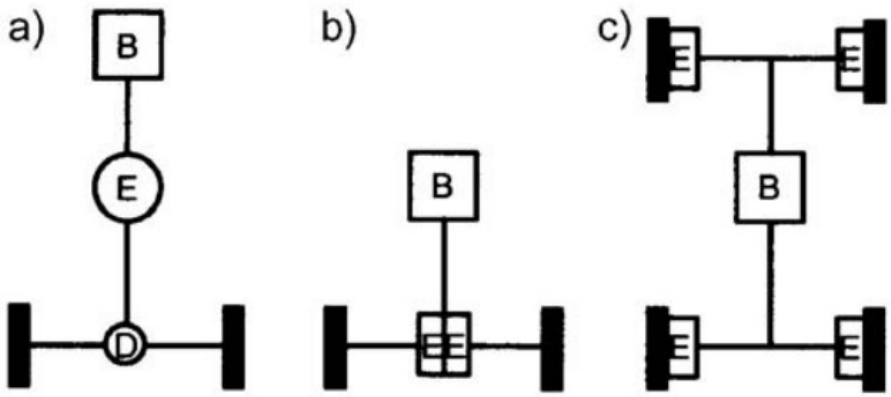
V samotné dopravě není elektrický pohon nic nového a každý ho určitě využívá častěji, než si vůbec uvědomuje. V hromadné dopravě je elektřina velice rozšířenou technologií, která se využívá jako pohon pro trolejbusy, tramvaje, metro, většinu vlaků, a dokonce i některé lodě. V individuální osobní dopravě však stále působí poněkud exoticky. Elektrokoloběžky, elektrokola a elektroskútry sice stále nejsou zcela běžným jevem, ale když pak kolem projede někdo na gyroboardu, hoverboardu, nebo kolonožce, působí to jako scéna ze sci-fi filmu.

Elektromobily pak oproti nim působí docela nenápadně, avšak od běžného automobilu je však spolehlivě prozradí podezřelé ticho, které se kolem nich šíří, většinou pouze slabě pískají. Jinak ale elektromobil funguje stejně jako běžné auto se spalovacím motorem a pro někoho možná dokonce lépe. Elektrické vozy se totiž velmi snadno řídí, protože díky jednostupňové převodovce odpadne nutnost ručního řazení a vyšlapávání spojky. Jsou naprosto tiché jako např. dnešní nejluxusnější limuzíny a není třeba čekat na „zátah“, jelikož maximální točivý moment je k dispozici ihned od nulových otáček. Elektromobily jsou také prostornější, neboť elektrický pohon je kompaktnější a snazší na údržbu, takže ruce špinavé od oleje jsou minulostí. [1]

Jak již bylo zmíněno, už v počátcích rozvoje automobilismu konkurovaly elektromobily vozidlům poháněných spalovacím motorem. Mezi hlavní výhody elektromotoru patří jeho snadné spuštění, jednoduchá konstrukce a také fakt, že téměř neznečišťuje ovzduší. V mnoha zemích se rozvoji elektromobilů dostává v poslední době velké podpory. Asi největším důvodem k velkému nástupu elektromobilů je snaha o zlepšení životního prostředí, zejména ve městech. Diskutuje se jejich technická standardizace, daňové úlevy, tvorba infrastruktury ve městech apod. Každá světová automobilka již představila vozidlo poháněné elektromotorem a současným trendem je s pomocí využití moderních výrobních technologií dosáhnout stále lepších parametrů. [2]

U elektromobilů je hnací ústrojí tvořeno z motoru, převodovky, hnacích hřídelů a diferenciálu s rozvodovkou podobně, jako je tomu u vozidel se spalovacím motorem. Na Obr. 1.1 níže je vyobrazeno uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily, kde jednotlivé varianty představují uspořádání podle druhu pohonu:

a) přední nebo zadní pohon;
b) tandemový pohon;
c) pohon v nábojích kol (B – baterie; E – elektromotor a usměrňovač příp. převodovka; D – diferenciál).



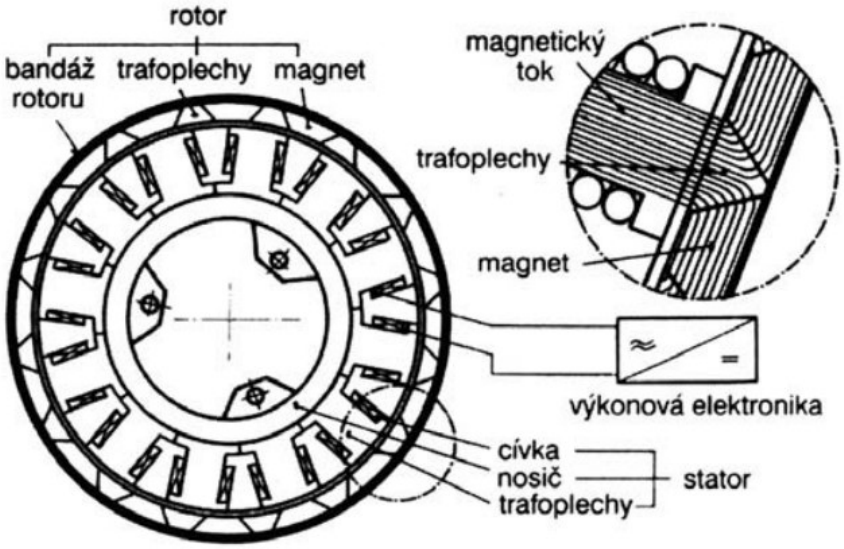
Obr. 1.1 Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily

Zdroj: [2, s.217]

Nejčastější variantou je přední nebo zadní pohon s centrálním elektromotorem. Tandemové hnací systémy se dvěma elektromotory a pohony kol elektromotory umístěnými přímo na kolech jsou spíše možnou alternativou tohoto pohonu. U elektromobilů se zkoušejí všechny druhy elektromotorů: sériový stejnosměrný motor nebo paralelní, případně s cizím buzením, synchronní motor s permanentními magnety a asynchronní motor s tranzistorovou regulací.

Ačkoliv technika elektrického pohonu vyloženě nevyžaduje žádný speciální vývoj v oblasti pohonu vozidla, musí být přirozeně parametry celého systému přizpůsobeny určitým jízdním výkonům vozidla, jako je zrychlení, stoupavost a nejvyšší rychlost. Dále pak také samozřejmě i vlastnostem akumulátorů, jako je napětí, zatížitelnost, výkonová hustota atd. [2]

Jako příklad může být uvedeno určité pokrokové řešení v podobě elektromotoru permanentní magnet – motor, který je vyobrazen na Obr. 1.2 níže. Má vynikající elektrické parametry při malé hmotnosti a stavebních rozměrech a náleží ke skupině elektrické komutace synchronních motorů s permanentním buzením. [2]



Obr. 1.2 Elektromotor magnet-motor

Zdroj: [2, s.217]

Vlk [2, s.217] uvádí, že: „Pro všechny elektromotory platí, že dosahovaný moment je proporcionální magnetické indukci ve vzduchové mezeře, k axiální délce rotoru a ke kvadrátu poloměru vzduchové mezery a že vzhledem ke kvadratické závislosti momentu na poloměru vzduchové mezery je výhodná konstrukce vnějšího rotoru“.

Tento rotor se skládá z vylisovaných elektroplechů, ve kterých se nachází tangenciálně magnetizované oddělené magnety (neodym – železo – bor) se střídavou polaritou. Na Obr. 1.2 je patrné, že elektroplechy tvoří trapézovitý tvar vytvářející tzv. „klínovitý vodící tok“, jehož magnetické siločáry se ohýbají a kolmo proudí směrem do statoru. U těchto proudových kompresí je magnetická indukce ve vzduchové mezeře značně navýšena, což znamená, že motor nemá žádné rotující elektrické součásti.

Uvnitř se nachází stator, který se skládá z lisovaných elektroplechů a tvoří vysokopólové nosiče cívek, které jsou spojeny s výstupem výkonové elektroniky, která proudy do statorového motor vinutí komutuje tak, že se motor chová jako stejnosměrný motor s cizím buzením a tento stav se označuje jako tzv. elektronická komutace. [2]

Regulace je jednoduchá a dokonalá v celém rozsahu otáček až do n = 0. Toto statorové vinutí je chlazeno kapalinou vzhledem k tomu, že zvětšení výkonu oproti konvenčnímu provedení elektromotoru je až desetinásobné. Motor je oproti konvenčnímu provedení až čtyřikrát lehčí a je menší. [2]

Z pohledu základní terminologie tohoto segmentu vozidel je podle Koláře [3] definováno rozdělení vozidel s elektrickým pohonem následovně:

1. automobily s hybridním pohonem
   1.1. HEV (*Hybrid Electric Vehicle*)
   1.2. PHEV (*Plugin Hybrid Electric Vehicle*)
2. elektromobily
   2.1. BEV (*Battery Electric Vehicle*)
   2.2. FCEV (*Fuell-cell Electric Vehicle*)

V následující podkapitolách budou detailně rozebrány zmíněné technologie pohonů.

1.1.1 Technologie pohonu BEV

V případě BEV vozidel se jedná o čistě elektrické automobily, jelikož spalovací motor zde úplně absentuje. Vedle nízké produkce emisí je dále zdůrazňována také minimální hlučnost při provozu jako jejich zásadní výhoda. V porovnání s automobily s motory na naftu či plyn se u BEV vozidel nejedná o automobily s motory s vnitřním spalováním. V různých literaturách řešící pohony vozidel je možné setkat se i s označením „ICE“ - neboli *Internal Combustion Engine.*

Jak již bylo zmíněno na začátku této práce, elektromobily svůj souboj s vozidly vybavenými spalovacími motory prohrály za tuto dobu několikrát. Nabízí se tedy otázka, proč by tomu nyní mělo být jinak? Je třeba vzít v potaz aktuální masivní politické protěžování této technologie s vidinou vyšší ochrany naší planety. Jedna z klíčových charakteristik vozidel je nepopíratelně **dojezd**, který je pochopitelně relevantní i pro obor elektromobilů. Z pohledu city logistiky mají elektromobily vzhledem k disponibilnímu dojezdu 100-300 km jistě svůj potenciál, který lze označit za přijatelný. Oproti spalovacím motorům mají elektromotory výhodu ve své jednoduchosti a zároveň ve značně vyšší účinnosti, která se uvádí přes 90 %. [3]

Diskutabilními komponenty na poli elektromobility jsou stále **akumulátory,** nebo často používaný ne úplně korektní pojem „baterie“ a s nimi spojená problematika:

- rozměrů a hmotností,
- kapacity,
- ekologie jejich výroby, recyklace a likvidace,
- rychlosti dobíjení,
- ekologičnosti dobíjení (energetický mix),
- životnosti.

Co se akumulátorů týče, zásadně se zlepšila jejich životnost – tj. počet nabíjecích cyklů, což znamená kolikrát je možné akumulátor nabít a vybít, než musí být vyměněn a v současné době jsou nejrozšířenější lithium-iontové (Li-Ion) akumulátory. Další problematika týkající se ceny akumulátorů se nedotýká pouze výsledné pořizovací ceny nového elektromobilu, ale zároveň jejich případné výměny v ojetém vozidle, kdy se tyto náklady mohou pohybovat i v řádu přinejmenším statisíců korun za novou sadu akumulátorů. Nabízí se tedy otázka, v jakých případech se pro takovou drahou výměnu provozovatelé elektromobilů rozhodnou.

Akumulátory samozřejmě stále zůstávají těžkým komponentem elektromobilů. Jejich hmotnost ovlivňuje potřebná kapacita akumulátoru, čím je vyšší, tím je vyšší jejich hmotnost, a to má pochopitelně vliv i na vyšší provozní hmotnost vozidla. Pro potřeby elektromobilů je legislativně zvýšena největší přípustná hmotnost vozidel s alternativními pohony až o jednu tunu a tuto výjimku využívají beze zbytku. Standardem totiž je, že výrobci uvádějí přípustnou hmotnost 19 tun u dvounápravových automobilů a u třínápravových automobilů 27 tun, přičemž obecná úprava omezuje hmotnost dvounápravových automobilů na 18 tun a třínápravových na 26 tun.

Tato výše zmíněná jedna tuna vyšší povolené hmotnosti tedy souvisí s tím, že je elektromobil těžší v porovnání s analogickým vozidlem s naftovým motorem. Rozhodně se nejedná o benefit v podobě vyšší užitečné hmotnosti vozidla v případě elektromobilu. 100 kWh akumulátor váží 1000 kg, takže pokud jsou v elektrickém nákladním vozidle (dále jen E-LKW) osazeny akumulátory o kapacitě 300 kWh, je váha takových akumulátorů 3 000 kg. [3]

U akumulátorů nejde pouze o jejich hmotnost, ale také o rozměry. V USA je například uzákoněna výjimka z povolené délky návěsové soupravy při využití elektro tahače z důvodu nutnosti zástavby rozměrných akumulátorů na elektro tahače návěsů.

Dobíjení akumulátorů

Z pohledu kontextu problematiky související s dobíjením akumulátorů elektromobilů vystává spousta dalších diskutabilních témat, o kterých se při propagaci tohoto druhu pohonné technologie úplně mlčí. Jedním z nich je určitě elektrická distribuční síť, která není na masivní nárůst spotřeby elektrické energie z pohledu dobíjení obrovského počtu elektromobilů jednoduše dimenzována, ačkoliv si to jisté zájmové skupiny přejí a představují.

Ekologičnost akumulátorů

Téma ekologičnosti dobíjení akumulátorů je dalším tématem, které jistě stojí za zmínku. V kontextu celkových produkovaných emisí (WTW) je nutné rozlišovat dvě základní složky tvořící celkové emise:

1. **Well to Tank (WTT)** – zahrnující těžbu a získání pohonného média, jeho zpracování a distribuci do míst spotřeby,
2. **Tank to Wheel (TTW)** – emise produkované během provozu vozidla.

Při provozu elektromobilu přirozeně žádné emise produkovány nejsou, avšak jde pouze o emise TTW. Naopak emise WTT přímo souvisí s výrobou elektrické energie potřebné pro elektromobily a ty nelze považovat za nulové. Na vině je v tomto případě tzv. energetický mix neboli zastoupení různých zdrojů ve výrobě elektrické energie. Dokud nebude elektřina vyráběna pouze z obnovitelných zdrojů jako je voda, vítr, slunce, biomasa a v jaderných elektrárnách tak nelze označovat elektromobily za bezemisní vozidla. V některých státech, jako je např. ČR je elektřina vyráběna dokonce majoritně v tepelných elektrárnách spalováním uhlí či plynu a jedná se zhruba o 54 % elektrické energie. Jaderná elektřina má potom podíl 34 %, takže elektromobily mají v takovém případě své „výfukové potrubí“, ze kterého se valí škodlivé emise, dislokované v elektrárnách. Do roku 2050 se dle dat evropské Komise má vyrábět až 85% elektrické energie z obnovitelných zdrojů a zbylých 15 % v jaderných elektrárnách. Po roce 2050 už se tedy nepočítá s dodávkami elektřiny z tepelných elektráren. Emisní problematice a globálním důsledkům rozšíření elektromobility je v této práci blíže věnována jedna z následujících kapitol. [3]

Kapacita akumulátorů

Pro dojezd vozidla je, jak již bylo řečeno zásadní kapacita akumulátorů. Je zcela namístě v této souvislosti zmínit, že dojezdy uváděné v technických specifikacích elektromobilů zpravidla nekorespondují s každodenní realitou provozu, jelikož až na výjimky není zdůrazňován například vliv okolní teploty, respektive vliv roční doby na dojezd vozidla. V zimním období, kdy se setkáváme s mrazy a kdy musí být i elektromobil schopen přepravy nákladu je podle Koláře [3, s.59] jeho „deklarovaný dojezd reálně nižší i o 30 % oproti tabulkovým hodnotám“. V těchto případech nejde pouze o nízkou teplotu jako takovou a její vliv na kapacitu akumulátorů, ale také o nutnost vytápění kabiny řidiče. V případě elektrobusů pak navíc i o vytápění celého prostoru pro cestující. Zkušenosti z Velké Británie hovoří například dokonce o 50 % nižších dojezdech u elektrobusů v městské hromadné dopravě. [3]

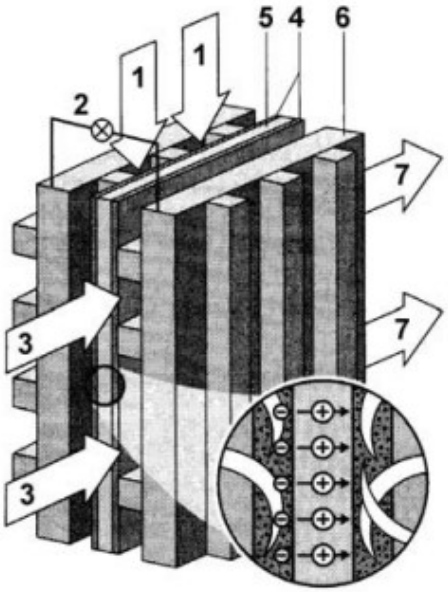
Síť veřejných dobíjecích stanic je u elektromobilů analogicky k ostatním druhům pohonu dalším neméně důležitým tématem. Kolář [3. s.60] uvádí „že v Evropě bylo již vybudováno téměř 286 000 dobíjecích stanic“. Nejvíce z nich je alokováno podobně jako v případě plnicích stanic CNG a LNG v západní Evropě, konkrétně v Beneluxu, Francii, Německu, Itálii, Velké Británii a Rakousku. V případě city logistiky a regionální přepravy lze u E-LKW očekávat, že dobíjení akumulátorů se bude provádět primárně na základně vozidla a případně také během nakládek a vykládek zboží, nebo během doby, kdy musí řidič čerpat přestávku v řízení. S tím však již souvisí problém infrastruktury veřejných dobíjecích stanic, jelikož řidič bude limitován, kde může přestávku čerpat, v případě že bude muset zároveň dobíjet. Díky tzv. **rekuperaci elektrické energie** se akumulátory částečně dobíjejí i při samotné jízdě elektromobilu. Dochází k ní při jízdě setrvačností nebo při brzdění a elektromotor v těchto situacích funguje jako generátor a dobíjí akumulátory elektromobilu. [3]

1.1.2 Technologie pohonu FCEV

Vozidla FCEV využívají k výrobě elektrické energie v palivových článcích během jízdy vozidla **vodík**. Ten je skladovaný ve speciálních nádržích ve vozidle a je ho třeba doplňovat tankováním podobně, jako je tomu u nafty či plynu a musí být skladován stlačený, případně zkapalněný. Během stacionárního skladování nebo při přepravě vodíku ve speciálních cisternových vozidlech se může také skladovat a přepravovat při velmi nízkých teplotách v kapalném skupenství podobně jako LNG.

Energie obsažená ve vodíku se uvolňuje ve dvou formách, buď přímo ve spalovacím motoru, nebo v tzv. „studené“ formě v palivovém článku přímou přeměnou na elektrický proud. Pomocí elektronického směšovacího systému je potom přizpůsoben palivový systém a tato technologie určuje směšovací poměr vodíku a vzduchu, přičemž následné spalování probíhá s přebytkem vzduchu. Tento přídavný vzduch ve spalovacím prostoru odnímá teplo a díky tomu klesá teplota plamene pod kritickou mez, nad níž by mohlo dojít k samovznícení směsi. Díky nízké teplotě spalování nedochází ke vzniku oxidů dusíku (NOx), které jsou v redukčním katalyzátoru zážehových motorů neutralizovány. Vodíkové motory pracují bez dalších přídavných zařízení prakticky bez emisí a oproti benzinu jsou všechny emisní komponenty sníženy až o 99,9 %.

Druhý systém potom využívá akumulátor pro zásobování palubní sítě elektrickou energií, kde palivový článek přebírá funkci konvenčního akumulátoru s výkonem 5 kW a účinností téměř 50 % v neustálém provozu. Na Obr. 1.3 níže je znázorněno schéma palivového článku, což je zařízení, ve kterém na základě elektrochemických procesů dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou. Níže zmíněný palivový článek je nejjednoduššího typu vodík-kyslík. [2]

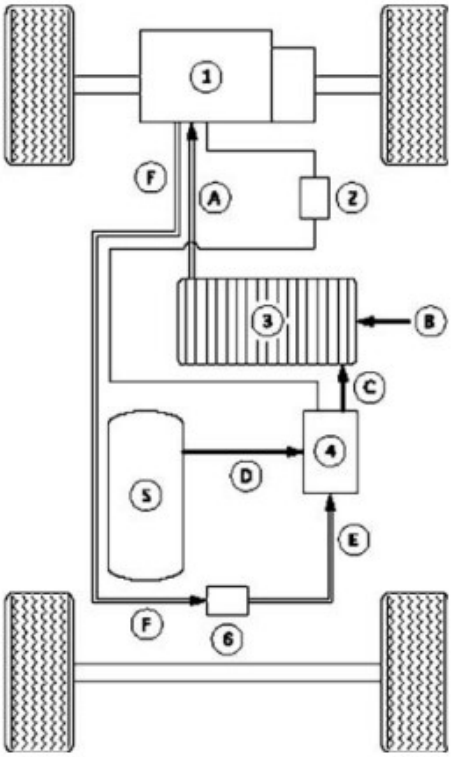


1 – vodík; 2 – vnější obvod se zátěží;
3 – kyslík nebo vzduch; 4 – katalyzátor; 5 – elektrolyt; 6 – elektroda;
7 – voda a nadbytečný vzduch.

Obr. 1.3 Schéma palivového článku

Zdroj: [2, s.221]

K přívodu reakčního plynu vodíku (H_2) slouží komora nalevo, dále je elektroda anoda a ta je elektricky vodivá, přičemž její vnější povrh je upraven tak, aby na něm mohla probíhat absorbce a mohla z elektricky vodivého atomu odchytit elektron. Díky elektrolytu a reakční membráně na vnější straně katody je umožněna obdivuhodná chemická reakce. Elektron, který přišel vnějším okruhem na katodu, vytvoří pevnou vazbu s některým z mnoha kladných protonů a tím vznikne stabilní atom vodíku, který se na redukční membráně rekombinuje s polovinou molekuly kyslíku (O_2) na čistou vodu (H_2O). Struktura elektrod palivového článku závisí zejména na použitém palivu a na vlastnostech okysličovadla. Palivem mohou být plynné, kapalné i tuhé látky, např. vodík, metanol, sodík, nebo zinek. Okysličovadlem mohou rovněž být plynné, kapalné či tuhé látky, jako je např. kyslík, oxid rtuťnatý, nebo chlor. Nejčastěji se však z praktického důvodu využívá kyslík z okolního vzduchu. Celkové uspořádání pohonu vozidla na palivové články popisuje Obr. 1.4 níže.



1 – elektromotor; 2 – řídicí jednotka; 3 – palivové články; 4 – pomocné agregáty k výrobě vodíku; 5 – nádrž s metanolem; 6 – akumulátor; A – elektrický proud (k pohonu elektromotoru); B – kyslík z okolí; C – vodík; D – methanol; E – přívod energie (elektrický proud); F – nabíjecí proud (elektromotor v generátorovém režimu).

Obr. 1.4 Pohon na palivové články

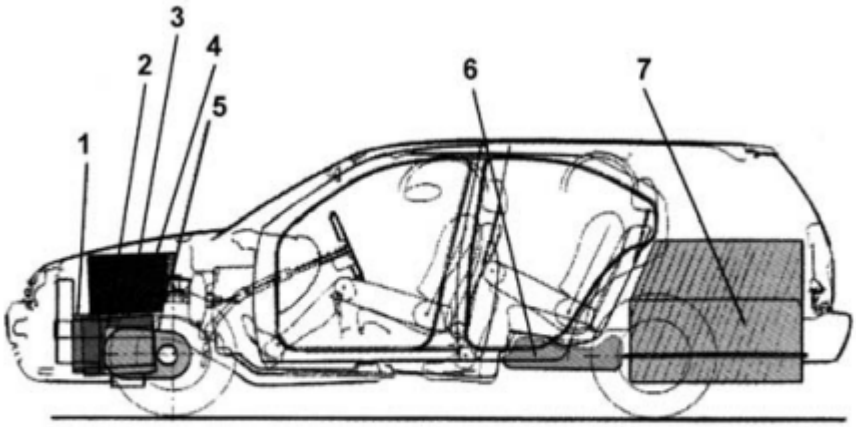
Zdroj: [2, s.222]

Palivové články se dělí zejména **podle typu elektrolytu** a rozeznává se pět následujících systémů:

- alkalické články AFC (zředěný hydroxid draselný KOH),
- články s tuhými polymery PEFC (tuhý organický polymer),
- články s tuhými oxidy SOFC (oxidy vybraných kovů),
- články s kyselinou fosforečnou PAFC,
- články s roztavenými uhličitany MCFC (směs roztavených uhličitanů).

Tyto systémy se liší chemickými reakcemi, které probíhají na jednotlivých elektrodách. Dále pak provozní teplotou a účinností elektrochemických přeměn. [2]

Volkswagen například zvolil jako základ pro koncepci vozidla poháněnou palivovým článkem model VW Golf. Před samotným vznikem bylo nutné veliké množství vývojových prací na celém vozidle, ať už se jednalo o systém palivového článku, elektropohon, trakční baterii, management vozidla nebo další standardní komponenty, jako je řízení a brzdy. Toto všechno je třeba optimalizovat na celkový systém vozidla. Základním typem byl VW Golf Variant, jehož detailní provedení je vyobrazeno na Obr. 1.5 níže. [2]



1 – elektronika motoru; 2 – asynchronní elektromotor 50 kW; 3 – nabíječka; 4 – baterie; 5 – převod; 6 – palivová nádrž; 7 – palivové články.

Obr. 1.5 Volkswagen Golf s palivovými články

Zdroj: [2, s.223]

Elektrický pohon zajistil asynchronní motor s výkonem 50 kW s jednostupňovým převodem a pohonem předních kol. Akumulátor se umístil pod kapotu nad pohonem do klimatizovaného prostoru a vozidlo bylo schopno ujet čistě na elektrický pohon asi 32 km. Palivový článek s předřazeným reformerem metanolu byl dimenzován na výkon 20 kW. Toto uspořádání umožňuje nejvyšší rychlost 130 km/h, zrychlení z 0 na 100 km/h za 20 sekund a dojezd přibližně 400 km se 40 litrovou nádrží metanolu. Zavazadlový prostor byl zcela zaplněn systémem palivového článku, jak je i patrné z Obr. 1.4. [2]

Vodíkový pohon nelze v současnosti považovat za ekologický vzhledem k emisím WTT, které již byly zmíněny v podkapitole pojednávající o technologii BEV. Problém je ve způsobu získávání vodíku pro provoz FCEV vozidel. Jelikož se jedná o chemický prvek, konkrétně o bezbarvý hořlavý plyn, tak se nevyskytuje volně v přírodě a musí se vyrábět. Vodík je možné získat několika způsoby a technologiemi a lze je rozdělit do dvou skupin:

- technologie využívající fosilní, neobnovitelné zdroje (zemní plyn, ropa, uhlí),
- technologie využívající obnovitelné zdroje (biomasa, voda).

Podle údajů z roku 2020 bylo přes 95 % vodíku získáváno z neobnovitelných zdrojů a pouze zbylých 5 % ze zdrojů obnovitelných. [3]

Ze skupiny **neobnovitelných zdrojů** je nejrozšířenější technologií výroba vodíku ze zemního plynu, kde je problémem vysoká produkce emisí CO_2 vznikajícího při jeho výrobě. Druhou možnost představuje parciální oxidace uhlovodíků, které se získávají při zpracování ropy a posledním třetím způsobem je zplyňování uhlí. U všech těchto zmíněných technologií se využívají fosilní zdroje a jejich společným znakem je vysoká energetická náročnost.

U obnovitelných zdrojů je první možnou technologií využití biomasy. Zde je obrovskou výhodou možnost využít k produkci vodíku nejen biomasu produkovanou v zemědělství, ale také odpady potravinářského průmyslu či komunální odpad. Podobně jako u technologií využívajících fosilní paliva je zde stále problém potřeby vysokých teplot, které jsou nutné pro získání vodíku. Poslední možností pro výrobu vodíku je elektrolýza vody, kde se její účinnost odhaduje až na 90 %. Podstatnou nevýhodou u této technologie jsou investiční náklady na elektrolytická zařízení a samozřejmě také vysoká spotřeba elektrické energie, kterou do jisté míry produkují tepelné elektrárny. Větší efektivity je možné dosáhnout s využitím tzv. vysokoteplotní elektrolýzy. [3]

V porovnání obou zmíněných technologií u vozidel **BEV** a **FCEV** je zásadním rozdílem to, že pro zajištění stejného dojezdu nepotřebují vozidla FCEV stejnou kapacitu akumulátorů, jako je tomu u BEV vozidel. Kapacita akumulátorů není totiž z hlediska dojezdu u FCEV vozidel rozhodující. Elektřina z akumulátorů se používá jen pro krátkodobé zvýšení výkonu systému palivových článků zejména při rozjezdech vozidla nebo při jízdě do stoupání s naloženým vozidlem. Pro dojezd FCEV vozidel je zásadním faktorem kapacita nádrží na vodík a akumulátory se dobíjejí elektřinou z palivových článků během jízdy a také rekuperací.

S touto technologií se můžeme setkat zejména u asijských automobilek jako je například Hyundai. FCEV vozidlo *Hyundai XCIENT FuelCell* nabízí dojezd i 400 km, kde je kapacita vodíkových nádrží 32 kg vodíku. Společnost Hyundai má v plánu vyrábět také tahač návěsů s dojezdem až 1 000 km a pro doplnění je možné uvést, že do roku 2025 plánuje do Švýcarska dodat 1 600 vozidel typu XCIENT. Důvodem proč zrovna do Švýcarska je jejich mýtné, které je nejdražší z celé Evropy. Vodíková vozidla oproti naftovým toto mýtné totiž neplatí a díky tomu se částečně smazává rozdíl vysokých provozních nákladů vodíkových vozidel oproti naftovým. [3]

Ve fázi testování je také technologie s využíváním kapalného vodíku místo plynného. Ten má vyšší energetickou hustotu, což implikuje větší dojezd při stejné kapacitě vodíkových nádrží. Vodíkové nádrže mají mít kapacitu přibližně 80 kg a instalované akumulátory jen 70 kWh. Tato technologie je teprve ve stadiu testování výrobcem u společnosti Mercedes-Benz. Na testování k zákazníkům by měl první vůz přijít cca v roce 2023 a do sériové výroby potom o 2 roky později. Návěsová souprava s vodíkovým tahačem *Mercedes GenH2* má mít shodnou užitečnou hmotnost s naftovým tahačem, tedy nějakých 25 tun.

Co se týče infrastruktury vodíkových plnících stanic v Evropě, tak vodíková technologie je stále nováčkem na trhu silničních vozidel, proto není překvapením, že výstavba sítě vodíkových plnících stanic je zatím stále na svém začátku. Ke konci roku 2020 bylo v celé Evropě pouze přibližně 200 plnicích stanic, z toho polovina se nachází v Německu. Pro srovnání uvádí Kolář [3, s.63], že k roku 2019 „bylo po Evropě rozeseto cca 138 000 čerpacích stanic PHM (motorová nafta a benzín); na prvním místě je Itálie s 21 700 čerpacími stanicemi, v ČR je jich 4008 a například na Slovensku je jich 970“. [3]

Do budoucna má být nejhustší síť vodíkových plnicích stanic právě v Německu, dále v Itálii a Francii. Z pohledu ČR se mají vybudovat plnicí stanice v Praze, Brně a Litvínově. Náklady na vodík vychází na 20 Kč/km při současných cenách cca 250 Kč/kg. [3]

1.1.3 Elektrobusy

V této kapitole se může zmínit i problematika elektrických autobusů. Například jak uvádí časopis Spiegel Mobilität [4] „v Německu jsou příliš drahé, příliš nespolehlivé a příliš nákladné“. Trh s osobními automobily na elektrický pohon se rozvíjí, zatímco u autobusů s takovým pohonem slábne, a i s jejich pořizováním to není tak snadné, navíc dopravní společnosti se na ně nemohou spolehnout. Městský vzduch musí být čistý a zákazy jízdy automobilů s naftovými motory jsou jen prostředkem k přechodu z dieselového pohonu na elektrický. Toto je například zavedené ve Stuttgartu, ale o tom, zdali se jedná o skutečné řešení, pochybují i experti. [4]

V provozu je celkový počet elektrobusů velmi nízký. Problém je, jak zní od provozovatelů, že jsou příliš drahé, nákladné a nespolehlivé. Stuttgart je vysoce zatížen výfukovými plyny a polétavými prachovými částicemi a v provozu má pouze několik elektrobusů. Z celkového počtu 250 autobusů, které využívá dopravní podnik města Stuttgart je více než dvanáct v hybridním provedení a jsou poháněny elektrickým, ale i dieselovým agregátem. Autobusy čistě s elektrickým pohonem zatím ve Stuttgartu nejsou v provozu, nicméně ve více než v 15 dalších německých městech jako je Hannover, Hamburk, Berlín nebo Drážďany již zavedené jsou. 8 elektrobusů je v současné době v provozu v Kolíně nad Rýnem a jedná se tak o nejvýkonnější linku. [4]

Podle nejnovějších údajů Spolkového úřadu evidence motorových vozidel (KBA) platí, že:

- ze 78 345 schválených a evidovaných typů autobusů v Německu je 458 zcela nebo částečně poháněno elektrickou energií,
- přes 20 projektů je zaměřeno na elektrický nebo hybridní pohon a platí je Svaz německých dopravců (dále jen VDV), přičemž jejich provoz je v testovacím režimu.

Z pohledu mezinárodního srovnání je Německo technologicky i v zavádění elektro pohonu u autobusů na špici. [4]

Převážná většina komponentů pro elektrická vozidla pochází právě z Německa. Realizované projekty v Anglii a Nizozemsku jsou proto závislé na Německu. Londýn provozuje v současné době největší flotilu 51 autobusů s elektrickým pohonem na lince 507 a 521 a Eindhoven provozuje 43 autobusů s bateriovým napájením v MHD. Pomalé nasazení elektrobusů do provozu v Německu zapříčinil pravděpodobně nedostatečný politický nátlak. V centru Londýna jsou ku příkladu plánovány tzv. „nízko emisní zóny“, do kterých bude zpoplatněn vjezd vozidlům, která nesplní přísné emisní normy a některé již byly zavedeny. Tato pravidla budou platit i pro autobusy MHD.

VDV poukazuje na níže zmíněné nevýhody elektrobusů:

- menší dojezdová vzdálenost než u autobusů se spalovacím motorem, což je podobné jako u elektromobilů,
- výrazně vyšší pořizovací cena (cca 750 tis. Eur za kloubový elektrobus), což je dvakrát větší cena oproti dieselovým autobusům splňující normu Euro VI,
- vyšší náklady na údržbu, jelikož dílny musí být zařízeny pro elektrobusy,
- nedostatečná spolehlivost, jeden z pěti nevyjede ve zkušebním provozu na linku nebo se porouchá v průběhu směny. Citlivá elektronika způsobuje, že nelze ovládat dveře, případně kompresor a tuto nespolehlivost špatně vnímají i cestující. Pro srovnání spolehlivost dieselových autobusů je 9,5 z 10 jízd. [4]

Problém se zvýšenou spotřebou elektrické energie při zapnuté klimatizaci, což výrazně ovlivní dojezdovou vzdálenost, zatím není diskutován. Momentálně je i nedostatečná nabídka elektrobusů jak u evropských, tak německých výrobců. Pouze Volvose dlouhodobě zabývá novými technologiemi, které by nahradily dieselový pohon. Daimler očekává, že v roce 2030 bude více než 70 % všech městských autobusů vykazovat nulové emise a zaměřují se jak na plynový pohon, tak na sériovou výrobu s bateriovým elektrickým pohonem od roku 2018. Každodenní praktičnost a dlouhá životnost vozidla by měla zajistit konkurenceschopnost pořizovací ceny. Vedou se i diskuse o tom, jak moc se autobusy podílejí na znečištění ovzduší, jelikož nejsou k dispozici přesné statistiky. Ve městě Stuttgart se automobily podílejí na znečištění u prachových částic 72 % a u CO_2 63 %. Na užitková vozidla potom připadá u prachových částic 30 % a u CO_2 22 %. Velmi nepatrný je tedy podíl autobusů, proto existují politická prohlášení, že převedení všech autobusů na elektrický pohon příliš velký efekt nepřinese. [4]

1.2 Hybridní pohon

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, elektrický pohon prakticky neprodukuje žádné škodlivé emise, má nízkou hladinu hluku a příznivou výkonovou charakteristiku. Na druhou stranu má ale menší jízdní výkon, omezený dojezd, vyšší cenu pro zákazníka a případně hrozí také větší nebezpečí při havárii. Energetický zásobník je stále značně rozměrný a těžký oproti obvyklým palivovým nádržím a negativně tak ovlivňuje zavazadlový prostor hmotnost. Kvůli nedostatečnému výkonu tedy není samotný elektrický pohon vyloženě ideálním řešením. [2]

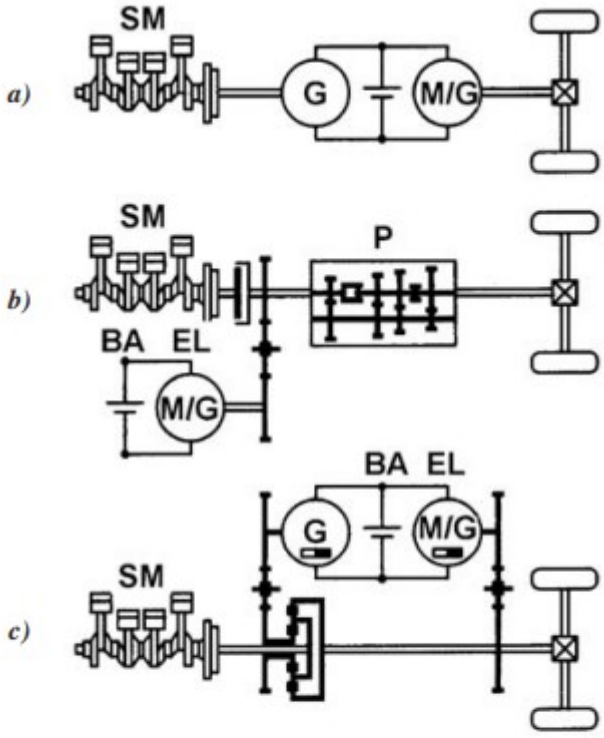
Hybridní pohon může nabízet určité možné řešení, což je pohon s více než jedním poháněcím zdrojem. Účelné řešení představuje kombinaci vždy dvou různých systému pohonu tak, aby převládaly výhody při rozdílných provozních stavech vůči zvýšenému technickému nákladu hybridního pohonu. Nejvhodnější kombinací je spalovací motor a elektromotor. Elektromotor v tomto případě umožňuje městský provoz bez emisí a spalovací motor potom umožňuje dobré jízdní výkony a velké dojezdy mimo město. Označení „hybridní motor“ obvykle označuje spalovací motor kombinovaný s elektromotorem. Elektromotor odvádí obousměrnou práci, jednak funguje jako motor, který převádí elektrickou energii z baterie na mechanickou energii, a také jako generátor, kdy je mechanická energie transformována zpět na energii elektrickou, akumulovanou v baterii. V případě potřeby je spalovacímu motoru o menším objemu vypomáháno elektromotorem, například při akceleraci. V momentě, kdy vůz disponuje velkou setrvačnou, kinetickou, případně potenciální energií, která není v daný moment k užitku, a které se standardně dá zbavit brzděním, začíná pracovat elektromotor jako generátor, který brzdí vozidlo a k tomu ještě dobíjí baterii. V případě běžných automobilů je tato energie odváděna bez užitku z brzd do okolí ve formě tepla. Hybridní pohon optimalizuje režim spalovacího motoru, který má při vyšší zátěži vyšší spotřebu i emise a také se využívá běžně ztracená energie. Hybridní motor tedy jednoduše řečeno hospodaří s energií během jízdy vozidla.

Vývoj je v současnosti ustálen a zaměřen na vývoj hybridního pohonu s kombinací spalovacího motoru a elektromotoru. Hybridní pohon tvoří mezičlánek v pohonu automobilu klasickým spalovacím motorem a elektromotorem a dosud mají velký význam hybridní pohony skládající se ze spalovacího motoru a elektrického pohonu, který je napájen z akumulátoru nebo z vodiče pomocí snímače proudu – troleje. [2]

1.2.1 Systémy uspořádání hybridního pohonu

Hybridní pohon lze nezávisle na různém uspořádání převodu a spojek rozdělit podle toku výkonu na tři základní koncepce, které jsou detailně vyobrazeny na Obr. 1.5 a znázorňují uspořádání hybridních pohonů firmou Bosch a jedná se o:

a) sériové uspořádání,
b) paralelní uspořádání,
c) smíšené uspořádání.



a) sériové uspořádání;
b) paralelní uspořádání; c) smíšené uspořádání;
SM – spalovací motor; EL – elektromotor; G – generátor;
M/G – elektromotor pracující jako motor nebo generátor; P – převodovka;
BA – akumulátor.

Obr. 1.6 Uspořádání hybridních pohonů (Bosch)

Zdroj: [2, s.218]

Hlavní rozdíl tvoří u těchto systémů sériové, paralelní nebo smíšené uspořádání, přičemž akumulátor může být dobíjen externě. [2]

Sériové uspořádání – jednotlivé hnací komponenty jsou vzájemně uspořádány za sebou (Obr. 1.5a). Údaj M nebo G značí pro elektrické stroje možnost motorického nebo generátorového druhu provozu. Mechanické spojení u spalovacího motoru pro pohon vozidla při tomto sériovém uspořádání je možné při konstantních otáčkách pouze v optimálním režimu provozu, a to vzhledem k účinnosti a emisím výfuku. Spalovací motor se může provozovat ve velmi úzkém rozsahu otáček, nebo dokonce pouze při jedněch otáčkách. To eliminuje nehospodárné režimy pracovní charakteristiky, jako je volnoběh, či spodní rozsah částečných zatížení a motor se tedy může nastavit na optimální pracovní rozsah s nejvyšší účinností. V případě, že akumulátory nedokážou pokrýt momentální potřebu energie, je spalovací motor automaticky nastartován. Nevýhodou sériového uspořádání je vícenásobná přeměna energie. Mechanická účinnost není vzhledem k účinnosti nabití akumulátoru mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou větší než 55 %. [2]

Paralelní uspořádání – tento druh uspořádání má výhodu v tom, že při provozu se spalovacím motorem nedochází oproti normálnímu provozu vozidla k žádnému zhoršení. Pro pohon se spalovacím motorem je nutný mechanický připojovací prostředek a převodovka (Obr. 1.5b), která je společná také pro elektrickou poháněcí větev. S využitím této poháněcí varianty stačí analogicky měnit otáčky elektrického stroje vůči spalovacímu motoru pouze v již uvedeném rozsahu (účinnost a emise). Toho lze nakrátko dosáhnout pouze s elektromotorem se silným budícím polem. Maximální otáčky elektromotoru se rovnají maximálním otáčkám spalovacího motoru. Výměna akumulátorů omezuje dojezd při využití pohonu elektromotorem na 150 km s omezeným výkonem 30 kW a s přibližně osmihodinovou dobou nabíjení. Při nízkých otáčkách motoru je možné současným zapnutím obou zdrojů energie zvýšit tažnou sílu. Během kombinovaného provozu je spalovací motor trvale zapnutý, teprve v momentě velkého zrychlení, např. při předjíždění, se zařadí elektromotor, čímž se zvýší krátkodobě požadovaný špičkový výkon. Díky tomuto převýšení točivého momentu poskytuje paralelní hybrid výkonovou rezervu, která odpovídá výkonu velkoobsahového spalovacího motoru.

Při elektrickém provozu může být rovněž zlepšena jízdní dynamika následným zapnutím spalovacího motoru. V městském provozu elektrický pohon odpovídá provozu se spalovacím motorem. [2]

Vývoj zmíněného hybridního paralelního pohonu koncentrující se na danou hodnotu dojezdu se současnými těžkými akumulátory není cílem pro pokrokové automobilky. U sériového zavedení vyvstává problém s vysokými náklady přídavných komponentů a dále omezená životnost. Určité zlepšení stavu slibují elektrostatické zásobníky energie, tzv. kondenzátory, eventuálně magnetodynamické zásobníky energie. Z pohledu obou zmíněných systémů hybridních pohonů je v porovnání paralelní uspořádání vhodnější pro projíždění úseků dráhy bez emisí. Sériové uspořádání pak zvyšuje hodnotu typického elektromobilu.

Smíšené uspořádání – k vývoji smíšeného hybridního systému vedly nevýhody zmíněných základních koncepcí sériového a paralelního uspořádání (Obr. 1.5c). Libovolně rozmanité je potom vybavení spalovacím motorem, elektromotory, spojkou, komponentami převodů, brzdami a volnoběžkami. Ku příkladu se může jednat o sériový hybrid s propojovací spojkou spalovacího motoru ke kolu. Pokud je tok výkonu spalovacího motoru veden zároveň paralelně po různých cestách ke kolu, hovoří se o principu větvení výkonu. Toto větvení se přitom může dít mechanicky diferenciálem nebo elektricky. Jako příklad se může uvést hybridní systém Toyoty Prius. [2]

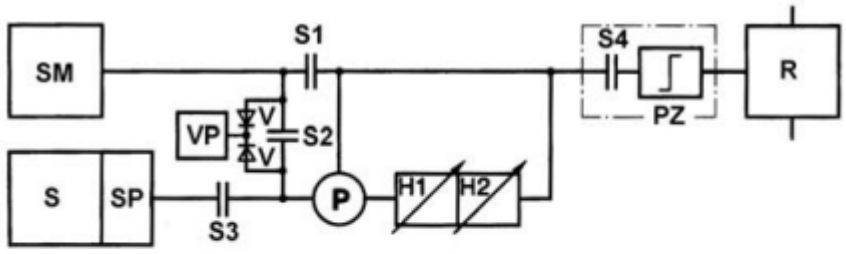
Systém zásobníku elektrické energie disponuje vlastním akumulátorem, jeho elektrickým zařízením, zařízením opětovného dobíjení, rekuperací atd. Pro silniční vozidla jsou důležitá zejména tato technická kritéria trakčního akumulátoru:

- energetická a výkonová hustota, vysoká účinnost,
- ekologická čistota výroby, provozu i recyklace,
- bezúdržbový provoz, nízká hmotnost, velká životnost.

Veškeré systémy samozřejmě musí splňovat čisté recyklační zařízení bez škodlivých emisí do vzduchu, půdy i vody. Pro trakční baterie pak přicházejí v úvahu následující systémy:

- olověný akumulátor,
- akumulátor sodík-niklchlorid,
- akumulátor lithium-ion,
- akumulátor lithium-polymer,
- akumulátor nikl-kadmium,
- akumulátor nikl-metalhydrid,
- akumulátor zinek-vzduch. [2]

Model **VW Golf** od společnosti Volkswagen má ku příkladu na společném hřídeli mezi vznětovým motorem a převodovkou elektrickou poháněcí jednotku, která je oddělena dvěma spojkami. Díky tomu je možný provoz buď se spalovacím motorem při zapnutí obou spojek, případně elektromotorem při vypnuté spojce mezi spalovacím motorem a elektromotorem, přičemž při zapnutí obou spojek je možný současný pohon oběma agregáty. Vysoká dynamika použitého elektromotoru pak umožňuje průběhy řazení převodovky aktivně synchronizovat tak, aby řazení převodů probíhalo pouze s jednou spojkou. Spojka mezi elektromotorem a převodovkou tím pádem odpadá. Toto jednospojkové řešení vede ke kompaktnosti i ke snížení výrobních nákladů. Zmíněné provedení je znázorněno na Schématu 1.1 níže.



SM – spalovací motor; S – setrvačník; SP – redukční převod setrvačníku; VP – pohon náboje spojky; V – volnoběh; S1, S2, S3, S4 – spojky; P – planetová převodovka; H – stupňovitý hydrostatický převod; PZ – automaticky řazená planetová převodovka; R – rozvodovka (pohon nápravy).

Schéma 1.1 Hybridní pohon (spalovací motor – setrvačník)

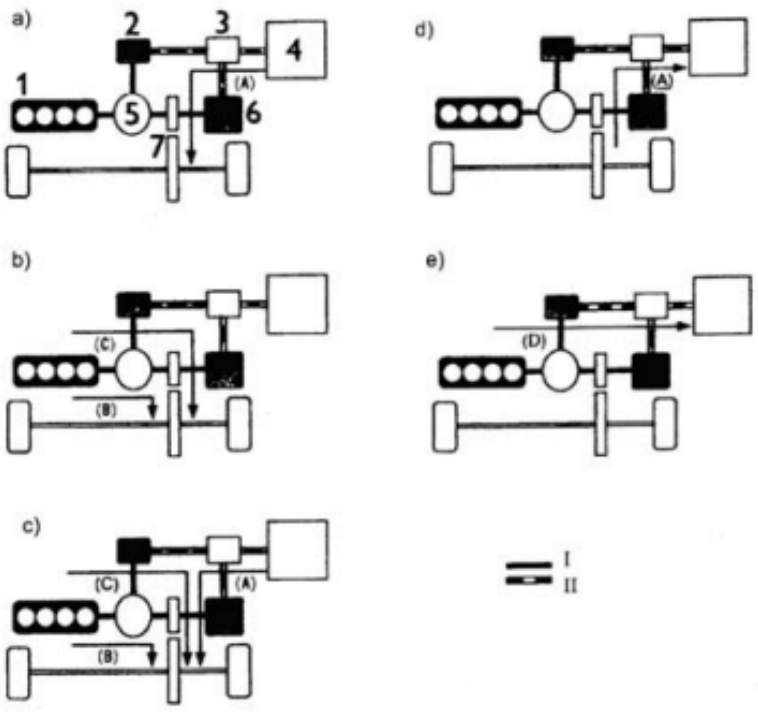
Zdroj: [2, s.219]

Pohon může být proveden buď samostatným spalovacím motorem (sepnutím spojek S1 a S4) přes automaticky řazenou planetovou převodovku, nebo samotným setrvačníkem přes hydrostatickou stupňovou převodovku (sepnutím spojek S3 a S4), případně pak současně spalovacím motorem a setrvačníkem. [2]

Na následující straně je formou Schématu 1.2 znázorněna funkce hybridní soustavy Toyoty Prius.

Tato funkce se může rozdělit do pěti fází:

a) **Rozjezd, pomalá jízda apod** – spalovací motor je vypnutý, jelikož by běžel v nehospodárném režimu. Vozidlo je poháněné pouze elektromotorem (A).
b) **Normální jízda** – výkon motoru pomocí rozdělovacího soukolí pohání kola vozu (B) a také generátor (C). Ten dodává proud elektromotoru. Dělení výkonu se reguluje tak, aby bylo dosaženo co největší účinnosti celé soustavy.
c) **Plná akcelerace** – vozidlo pohání oba motory (B, C) při plném sešlápnutí akceleračního pedálu. Elektromotoru dodávají proud i baterie (A).
d) **Decelerace a brzdění** – k pohonu elektromotoru se využívá kinetická energie vozidla. Ten se mění na generátor, který dobíjí baterie (A).
e) **Dobíjení baterií** – začnou se dobíjet proudem z generátoru (D) v případě, že poklesne napětí.



I – mechanické spojení; II – elektrické spojení; a) rozjezd; b) jízda; c) akcelerace; d) brzdění, decelerace; e) dobíjení baterií; 1 – spalovací motor; 2 – generátor; 3 – měnič a usměrňovač proudu; 4 – baterie; 5 – rozdělovací planetové soukolí; 6 – elektromotor; 7 – stálý převod.

Schéma 1.2 Uspořádání hybridní soustavy Toyoty Prius a její funkce

Zdroj: [2, s.219]

První velkosériově vyráběný vůz na světě byl právě **Toyota Prius**. Toyota je zároveň největším výrobcem hybridních automobilů na světe. Jeho pohonná jednotka je tvořena zařízením THS a pohon je tvořen vysoce účinným zážehovým motorem o objemu 1,5 l a elektromotorem. Přední kola můžou pohánět oba agregáty dohromady nebo každý zvlášť. Elektronická řídící jednotka rozhoduje o tom, v jakém poměru se budou obě jednotky dělit o výsledný točivý moment. Zmíněná elektronická jednotka vychází z údajů o rychlosti vozu, zatížení a z dalších faktorů. Jelikož jsou akumulátory prostřednictvím THS udržovány stále nabité, vůz nepotřebuje dodatečné dobíjení.

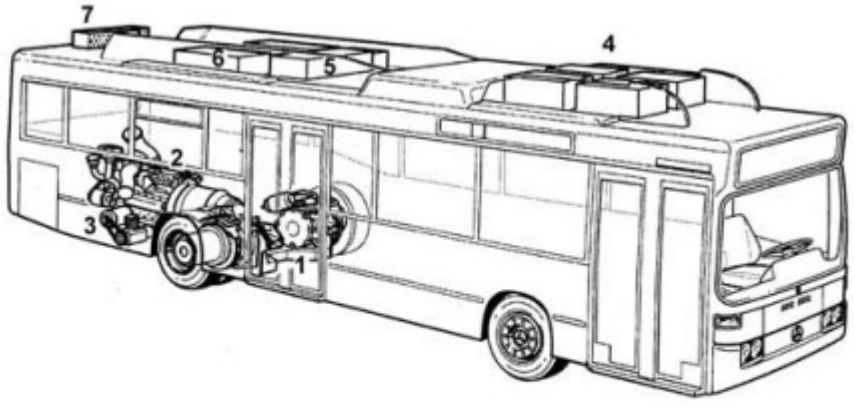
Akumulátory se dobíjejí pomocí zážehového motoru a samočinně se dobíjejí také při brzdění. Následně získaná energie se naopak využívá k dodatečnému připojení elektromotoru při předjíždění nebo při náročném stoupání. Chod zážehového motoru je v některých situacích neefektivní, především v nízkých rychlostech nebo při klesání. V tomto momentě se agregát úplně vypne a pohon přebírá elektromotor s tím, že ke spuštění benzínové jednotky dojde samočinně, jakmile řídící systém vydá pokyn, například při opětovné akceleraci. [2]

1.2.2 Hybridní pohon v city logistice

U nákladních automobilů byl nástup hybridních pohonů de facto „vynucen“ trendem regulace nákladní dopravy ve městech. Cíl je jasný, a sice zlepšení životních podmínek obyvatel měst, přičemž v některých městech bylo nutné začít zajišťovat bezemisní rozvážku nákladu. Vozidla typu **PHEV** zvládnou ujet čistě na elektřinu z akumulátorů přibližně 30-60 km. Toto je pro provoz v nízkoemisních zónách ve městech zcela klíčové. Co se týče spalovacího motoru, tak ten je tak primárně používán mimo zastavěné oblasti. Vzhledem k nulovým emisím lokálního charakteru (TTW) při provozu PHEV vozidel na elektropohon jsou tato vozidla alternativou k vozidlům typu BEV. Současný trend je samozřejmě směřován k úplnému zákazu používání vozidel s dieselovým pohonem ve velkých městech, nebo přinejmenším v jejich centrech. Kolář [3] uvádí, že „se o tom uvažuje například v metropolích, jako je Řím, Paříž, Madrid, Athény, ale například i Mexico City“. [3]

Příkladem hybridního nákladního automobilu může být *DAF CF Hybrid.* Kapacita akumulátorů elektropohonu se u něj pohybuje okolo 85 kWh a dojezd je udáván v rozmezí 30-50 km čistě na elektropohon. U dojezdu na naftu je důležitým kritériem přirozeně velikost palivové nádrže instalované ve vozidle. Podobné je to u PHEV vozidel *Scania 25L* a *Scania 25P*. Jejich akumulátory mají kapacitu 90 kWh a mají zajistit dojezd na elektřinu z akumulátorů až 60 km. Dobití akumulátorů na 80 % jejich kapacity stejnosměrným proudem by mělo trvat 35 minut s nabíjecím výkonem 95 kW. [3]

V rámci hybridní technologie pohonu se dá z pohledu city logistiky hovořit také o využití elektrobusů, neboť i tohle pochopitelně přímo ovlivňuje emisní situaci ve městech. Sériový hybridní pohon se použil například u elektrobusů Mercedes-Benz a tato varianta hybridního elektrobusu je znázorněna na Obr. 1.7. [2]



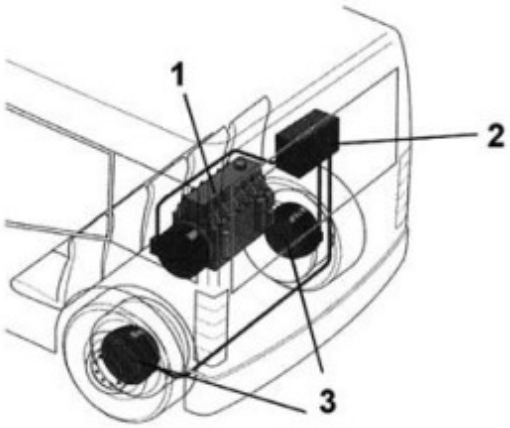
1 – motor v náboji kola;
2 – vznětový motor s generátorem; 3 – vzduchový kompresor a čerpadlo servořízení; 4 – trakční baterie; 5 měnič palubní sítě;
6 – měnič elektrické-ho proudu; 7 – brzdný odpor.

Obr. 1.7 Hybridní elektro-autobus Mercedes-Benz

Zdroj: [2, s.220]

Tento elektrobus jezdí na elektrický proud z akumulátorů a spalovací motor slouží pouze k dobíjení akumulátorů. Jeho provoz je tedy řízen tak, aby emise byly co nejmenší. Dvojí transformace energie (mechanická/elektrická/mechanická) však způsobuje tak velké ztráty, že provoz s déle běžícím spalovacím motorem je značný.

Dalším příkladem elektrobusu s technologií hybridního pohonu je *Neoplan N 8008 DES*, který má namontovány čtyři speciální elektromotory přímo v nábojích kol. Toto uspořádání má výhodu v ideálním přenosu výkonu spalovacího motoru na poháněcí kola vozidla elektricky. Pohonnou jednotku tvoří generátor se vznětovým motorem, řídící elektronika a elektrický pohon v kolech. Zmíněná pohonná jednotka je vyobrazena na Obr. 1.8 níže.



1 – vznětový motor s generátorem; 2 – řídící elektronika; 3 – elektrický pohon v kolech.

Obr. 1.8 Agregát autobusu Neoplan A 8008 DES

Zdroj: [2, s.220]

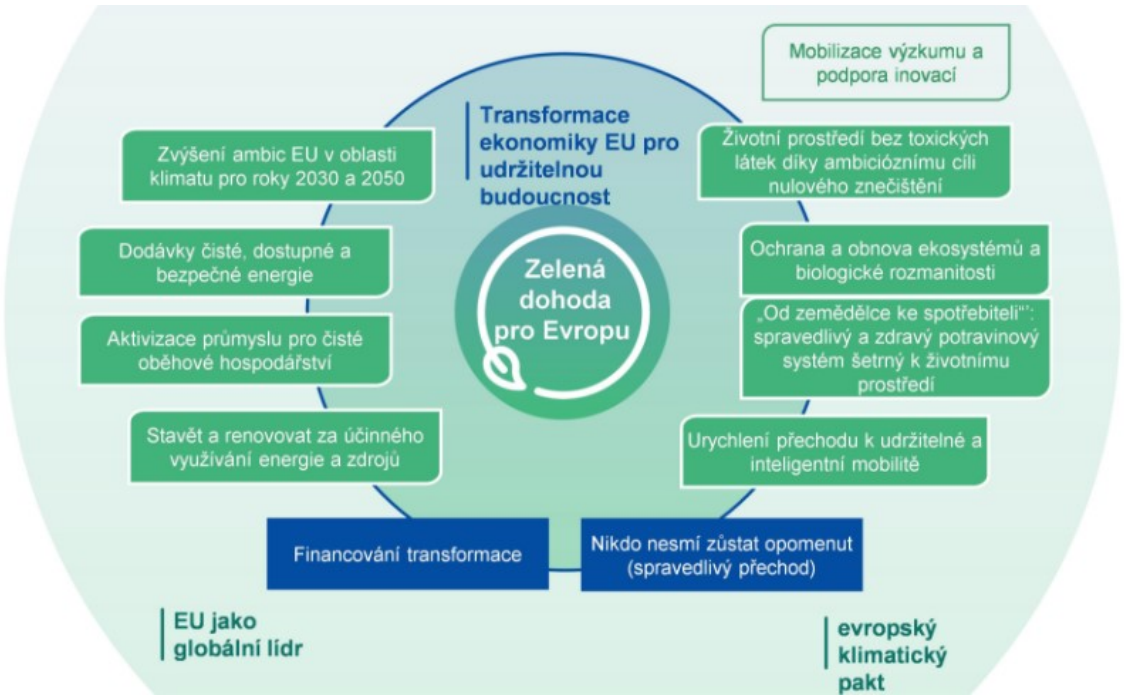
Osa kol se spojena přímo s elektromotory a tím odpadá komplikovaný hnací mechanismus. Pohon je plynulý při značné úspoře energie, a navíc s nízkými emisemi. Tyto elektromotory v kolech jsou chlazeny kapalinou a mají permanentní buzení. Vnější část představuje rotor a je spojena s kotoučovými brzdami. Jako palubní elektrárna potom funguje spalovací motor s vestavěným kompaktním generátorem a výroba proudu je řízena elektronikou. Celkové řešení dosahuje optimální účinnosti při stálém výkonu a při rovnoměrném točivém momentu. Elektromotory pracují při brzdění jako generátory, které dodávají přebytečný proud brzdícího výkonu magnetodynamickému zásobníku. Během rozjezdu jsou při vysoké spotřebě proudu oba zdroje proudu zapnuty. Standardní městský provoz zajišťují vysokovýkonné akumulátory VARTA nikl-metal-hybrid. Dojezd je udáván až 40 km při rychlosti 60 km/h a stoupavosti až 13 %. [2]

Vzhledem k výrobním nákladům jsou současná vozidla s hybridním pohonem spíš dražší. Proto by měly být vytvořeny nějaké předpoklady pro zavádění této techniky, obdobně jak to bylo při zavádění katalyzátorové techniky ve formě daní, případně finanční podporou. Nevýhodou hybridního pohonu je jeho složitost daná dvěma kompletními druhy motorů a důsledkem je jak větší pravděpodobnost technických poruch, tak výrazné navýšení celkové hmotnosti vozu a koneckonců i cena. [2]

1.3 Zelená dohoda pro Evropu

Jedná se o plán Evropské komise pro řešení problémů způsobených změnou klimatu a životního prostředí, jelikož atmosféra se otepluje a klima se každým rokem mění a dochází ke znečišťování a destrukci lesů a oceánů. Právě Zelená dohoda neboli „Green deal“ by měla být odpovědí na tyto výzvy a cílem této strategie je podle Sdělení Evropské komise [5] „transformovat EU na spravedlivou a prosperující společnost s moderní a konkurenceschopnou ekonomikou efektivně využívající zdroje, která v roce 2050 nebude produkovat žádné emise skleníkových plynů a ve které bude hospodářský růst oddělen od využívání zdrojů“. Evropský průmysl potřebuje průkopníky v oblasti klimatu a zdrojů, kteří do roku 2030 přinesou první komerčně využitelné přelomové technologie v klíčových odvětvích, kde mezi prioritní oblasti patří čistý vodík, palivové články a další alternativní paliva. Dále pak skladování energie a zachycování, ukládání a využívání CO_2.

Jednotlivé prvky této dohody znázorňuje grafika na Obr. 1.9 níže a pro potřeby této práce bude pozornost věnována zejména prvku souvisejícím s urychlením přechodu k udržitelné a inteligentní mobilitě. [5]



Obr. 1.9 Zelená dohoda pro Evropu

Zdroj: [5]

Přechod k udržitelné a inteligentní mobilitě

Čtvrtina produkovaných skleníkových plynů v EU připadá právě na dopravu a její celkový podíl stále roste. Podle Evropské komise je k dosažení klimatické neutrality nezbytné do roku 2050 emise z dopravy snížit o 90 % a k tomu musí přispět silniční, letecká, železniční i vodní doprava. K dosažení udržitelné dopravy je nutné upřednostnit uživatele a nabídnout jim cenově dostupnější, dosažitelnější, zdravější a čistší alternativy k dopravním prostředkům. Tomuto tématu i veškerým zdrojům znečištění se od roku 2020 věnuje strategie pro udržitelnou a inteligentní mobilitu.

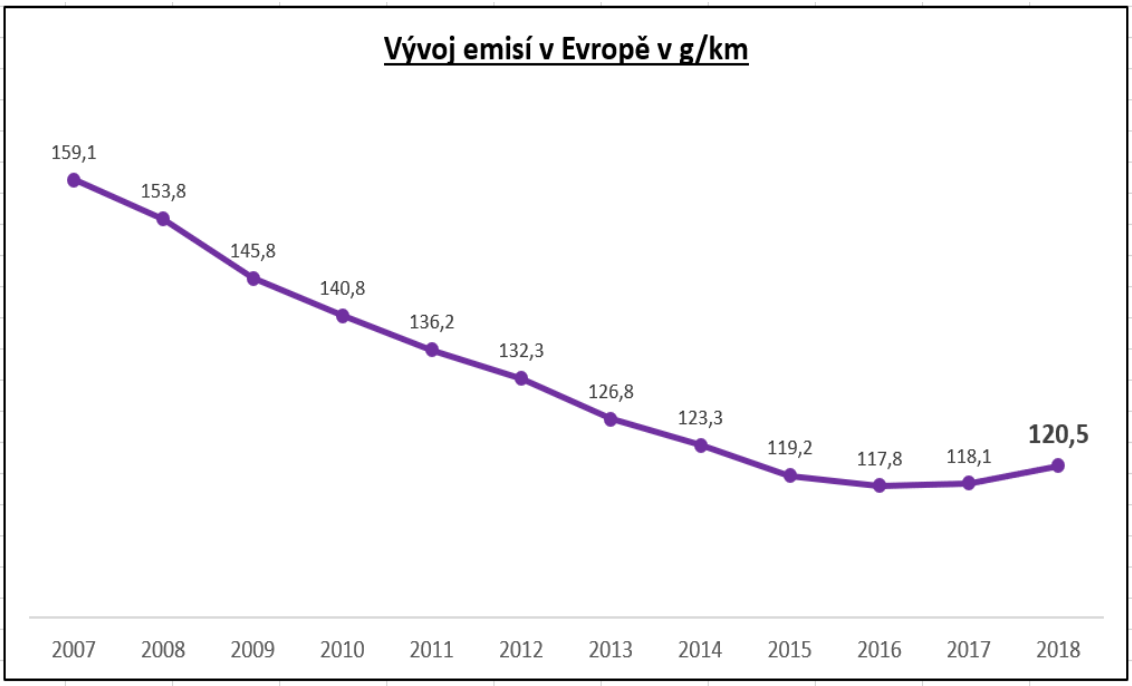
Co se týče multimodální dopravy, tak ta rovněž potřebuje silné oživení, které by zvýšilo účinnost dopravního systému. Prioritou je přesunout významnou část vnitrozemské nákladní přepravy, kterou zajišťuje silniční síť, na železnici a vodní cesty. K tomu budou potřeba nejen opatření k lepšímu řízení, ale také navýšení kapacity železnic a vnitrozemských vodních cest. Automatizovaná a propojená multimodální mobilita bude spolu s inteligentními systémy řízení dopravy využívající digitalizaci hrát stále větší úlohu. Infrastruktura a dopravní systém EU se přizpůsobí tak, aby podporovaly nové služby pro udržitelnou mobilitu, které především v městských oblastech sníží dopravní zatížení a znečištění. [5]

EU by měla urychlit výrobu a zavádění udržitelných alternativních paliv, které se používají v odvětví dopravy. Do roku 2025 je zapotřebí vybudovat přibližně 1 milion dobíjecích a plnicích stanic pro 13 milionů vozidel, které produkují nulové a nízké emise a budou se podle očekávání pohybovat na evropských pozemních komunikacích. Komise podpoří rozmístění veřejných dobíjecích a plnicích stanic v místech, kde je jejich nedostatek, konkrétně pak v místech potřeby dálkové dopravy a v méně obydlených oblastech. Zároveň se sváží možnosti z legislativního pohledu pro podporu výroby a využívání udržitelných alternativních paliv pro různé druhy dopravy. Ve městech by mělo dojít k radikálnímu snížení množství emisí z dopravy díky kombinaci jednotlivých opatření, která by se měla zaměřit na emise, dopravní přetížení měst a zlepšování veřejné dopravy. Již jsou navrženy přísnější normy pro emise látek znečišťující ovzduší vozidly se spalovacím motorem a také revize právních předpisů týkající se emisních standardů pro emise CO_2 produkované osobními automobily a dodávkami s cílem zajistit, aby se do roku 2025 hladce rozběhl přechod na mobilitu s nulovými emisemi. Zároveň se zváží jako doplněk ke stávajícím a budoucím emisním standardům pro emise CO_2 uplatňování systému evropského obchodování s emisemi i na silniční dopravu. [5]

1.4 Analýza důsledků přijetí elektromobility v ČR

V současné době prochází automobilový průmysl významnou změnou a bude jí procházet i v následujících letech. Dá se říct, že asi největší v jeho více než 100leté historii. Tato kapitola se zabývá analýzou globálních důsledků pro ČR za hypotetické situace, kdy by došlo k nahrazení všech osobních automobilů i užitkových vozidel do 3,5 t elektromobily v souladu s aktuálním trendem nastupující legislativy. Analyzují se energetické nároky na dobíjení, možnosti dostupných obnovitelných i neobnovitelných zdrojů elektrické energie, ekonomické důsledky pro státní rozpočet, celková produkce emisí CO_2 i praktické důsledky pro uživatele.

Přestože emisní předpisy dlouhodobě vyvíjí tlak na vývoj spalovacích motorů a na snižování emisí CO_2, které klesaly řadu let, tak tento pokles se v posledních letech zastavil a v letech 2017 a 2018 došlo k jejich mírnému nárustu, jak je patrné z Grafu 1.1, který znázorňuje vývoj emisí CO_2 v Evropě do roku 2018 v g/km. [6]



Graf 1.1 Vývoj emisí v Evropě

Zdroj: vlastní zpracování podle [6]

Důvodem tohoto zmíněného nárůstu je jednak obliba SUV vozidel, která mají obecně vyšší hmotnost a tím pádem i vyšší spotřebu a dále také neuváženému tažení proti vznětovým motorům, které mají oproti zážehovým motorům obecně nižší emise CO_2 než zážehové motory. [6]

Zde se opět setkáváme s problémem, který byl již zmíněn v podkapitole 1.1.1 o technologii pohonu BEV vozidel, ve které byl zmíněn fakt, že elektromobily nelze považovat za bezemisní vozidla díky emisní složce WTT související s výrobou elektrické energie potřebné pro elektromobily. Základním problémem emisních předpisů totiž je, že se zabývají pouze emisemi vznikajícími při jízdě vozidla a neřeší skutečnost, že emise vznikají i při výrobě paliva, ať už v případě benzínu, nafty, biopaliva nebo elektřiny. Zároveň také při výrobě baterií a výrobě a údržbě zařízení produkující elektřinu z obnovitelných zdrojů. Argumentuje se například nižší cenou elektrické energie, avšak ta není dosud v ČR zatížena spotřební daní.

V případě, že dojde k náhradě automobilů elektromobily, bude nutné potřebné množství elektřiny a baterií někde vyrobit. Další nutností je vybudovat potřebnou infrastrukturu k distribuci energie a dobíjení elektrických vozidel. Mnohé otázky se při současném malém množství počtu elektromobilů jeví jako banální nebo snadno řešitelné, ale mohou mít zásadní vliv, pokud dojde k hromadnému rozšíření vozidel s elektrickým pohonem a dá se říci, že k tomu už postupně dochází i z důvodu tlaku ze strany EU na jednotlivé výrobce v automobilovém průmyslu. [6]

Logistic News [6] uvádí, že „ze spotřeby uvažovaných automobilů s benzinovým a naftovým pohonem v roce 2016 byla se znalostí simulovaných měrných spotřeb pohonu spalovacími motory i elektromotory a za předpokladu stejné spotřeby energie pro jízdu propočtena spotřeba energie na vstupu do baterií pro pohon elektromobilů nahrazujících uvažované automobily asi 57 000 TJ = 15 833 333 333 kWh za rok“. Spotřeba pro jízdu jako takovou (trakci) se musí zvýšit navíc o spotřebu na topení při různých venkovních teplotách, což je při teplotě okolí 0 °C zhruba + 24 % při teplotě okolí -20 °C až 64 %. V porovnání s průměrnými teplotami v ČR pak tento faktor vychází na zvýšení spotřeby kolem 11 % takže pro nabíjení lze počítat s celkovou spotřebou asi 64 000 TJ. [6]

1.4.1 Zdroje elektrické energie a její zajištění

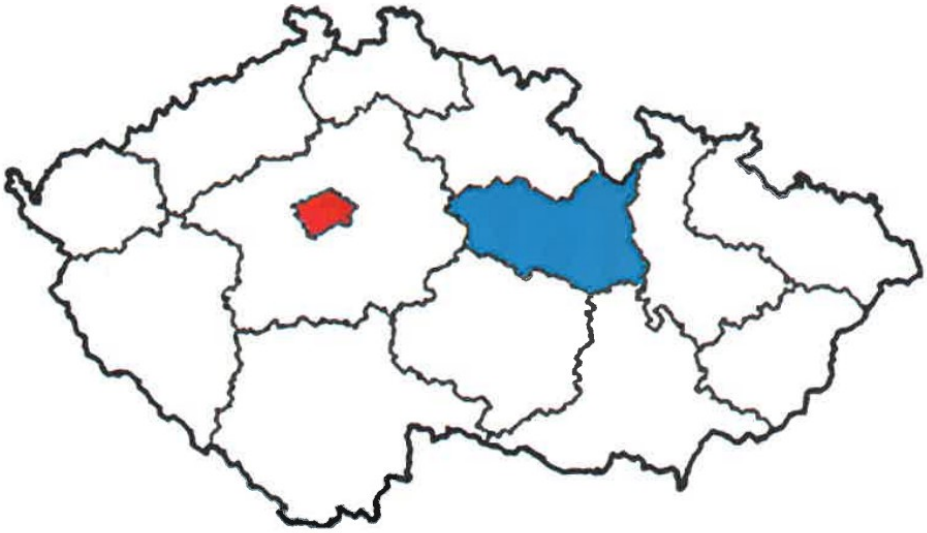
Pokud by došlo k hromadnému rozšíření elektromobilů, tak bude nutné tuto energii navíc k současné spotřebě. V roce 2016 se ve dvou blocích jaderné elektrárny Temelín vyrobilo 12 149 TWh, což odpovídá přibližně 44 000 TJ elektřiny. To pro představu znamená, že celková potřebná energie pro nabíjení uvažovaných elektromobilů za 1 rok odpovídá zhruba 1,5násobku produkce jaderné elektrárny Temelín ročně.

Spotřeba energie určená pro nabíjení ovšem není rozložena na celých 24 hodin denně, takže potřebný výkon i pro pomalé noční nabíjení je vyšší. Jelikož je elektrická energie vyráběna jinde než v místech, kde bude spotřebována k nabíjení elektromobilů, musí se vzít v úvahu tako ztráty v distribuční síti. Podle údajů Energetického regulačního úřadu z roku 2016 je účinnost přenosu elektřiny sítí v ČR přibližně 95 %. K těmto ztrátám v síti je nutné přičíst i vlastní spotřebu elektrárny, které odpovídá účinnost podle stejného zdroje 93 %. Pro nabíjení elektromobilů by celkově bylo potřeba vyrobit ročně cca 72 000 TJ, což odpovídá asi 20 000 000 MWh za rok, bez uvážení zvýšených ztrát při případném rychlonabíjení. Vyvstává tedy otázka, kde získat tuto energii, která je nad rámec současné spotřeby energie v ČR a odpovědí by mohlo být „z obnovitelných zdrojů“ a za tyto obnovitelné zdroje je možné počítat vodu, vítr a slunce. [6]

Voda – možnosti výroby elektrické energie z vodních toků jsou v ČR již do značné míry vyčerpány a případné lokality pro stavbu dalších přehrad a hydroelektráren narážejí na nesouhlas ochránců přírody a místních obyvatel.

Vítr – celkový instalovaný výkon větrných elektráren v ČR byl v roce 2016 podle ERÚ 282 MW, přičemž roční výroba dosáhla pouze 1 789 TJ, což odpovídá 496 957 MWh kvůli nestálé velikosti větru. Koeficient využití instalovaného výkonu větrných elektráren je cca 20 %, což plyne z faktu, že rok má 8 760 hodin. Pro představu by bylo zapotřebí 5 700 běžných větrných turbín VESTAS V90 s instalovaným výkonem 2 MW a průměrem rotoru 90 m. Každá taková turbína může za rok vyrobit cca 13 TJ energie. Alternativou jsou větší 5 MW provedením, kde je však celková výška stroje kolem 150 m a tomu také odpovídají jeho negativní účinky na okolí (nízkofrekvenční hluk a vibrace). Při doporučeném vzájemném odstupu, který se rovná 10násobku průměru rotoru by turbíny VESTAS V90 zabraly plochu přibližně 4500 km^2, což pro představu odpovídá přibližně ploše Pardubického kraje nebo téměř 9násobku rozlohy Prahy. Toto rozlohové srovnání nejlépe vystihuje Obr. 1.10 na následující straně. [6]

Sluneční energie – fotovoltaické elektrárny v ČR měly v roce 2016 podle ERÚ celkový instalovaný výkon 2 067,9 MW, ale roční výroba dosáhla pouze 2 131 455 MWh kvůli proměnlivosti slunečního svitu. Koeficient využití fotovoltaických elektráren je potom pouhých 12 %. Při použití solárních panelů GWL/Sunny Poly o špičkovém výkonu 270 W a rozměrech 1,65 x 1 m se bude množství energie vyrobené jedním panelem rovnat cca 0,001 TJ. Těchto panelů by bylo zapotřebí 72 miliónů a při instalaci panelů na rovině, doporučeném sklonu 35° a rozestupu 7 m zaberou plochu cca 505 km^2.



Obr. 1.10 Rozloha krajů v ČR: Praha 496 km^2, Pardubický kraj 4519 km^2

Zdroj: [6, s.5]

To se rovná přibližně ploše Prahy. Zároveň není vhodné instalovat sluneční elektrárny na zemědělsky využitelné půdě a je otázkou, zda je k dispozici ku příkladu dostatečný počet střech, které by se daly použít pro instalaci zmíněných panelů, čímž se ale ovšem zabere daleko větší plocha, do níž bude zapotřebí instalovat potřebnou infrastrukturu. [6]

1.4.2 Potřebný výkon

Co se týče spotřeby energie elektromobily tak ta nebude rovnoměrně rozložena v čase, jelikož v zimních měsících bude vyšší o energii spotřebovanou na vytápění vozidel. Teoreticky nastane nejvyšší spotřeba v lednu, kdy vzroste o cca 36 % a pokud budou v lednu všechny elektromobily v provozu, bude potřeba vyrobit energii cca 8 000 TJ jen za tento měsíc. V potaz je třeba brát také fakt o nejistotě zajištění obnovitelné energie v potřebný čas. Je možné také předpokládat, že elektromobily nebudou nabíjeny rovnoměrným způsobem během celého dne, ale budou se nabíjet zejména v noci, tedy v intervalu 8 hodin. V rámci tohoto intervalu se bude ze sítě odebírat výkon třikrát větší než při rovnoměrně rozložené spotřebě, což při 31 dnech dává cca 9 000 MW a je zřejmé, že takový výkon by zajistilo 9 přídavných bloků o velikosti bloku jaderné elektrárny Temelín. Předpoklad 8hodinového intervalu a rovnoměrného využití automobilů během pracovních dnů i víkendů a svátků je velmi optimistický, ovšem část vozidel se naopak nabije přes den, avšak se ztrátami a s přetížením sítě ve špičkách. [6]

1.4.3 Emise

Jak je již známo z předchozích kapitol, nespornou předností elektrických pohonů vozidel je eliminace oxidů dusíku Nox a částic PM, které pocházejí z výfukových plynů automobilů se spalovacím motorem. Dostupné technologie již dnes množství těchto škodlivých látek dokážou snížit na minimum a jejich úplné odstranění by zlepšilo ovzduší zejména ve městech. Tepelné elektrárny však také produkují jak částice, tak oxidy dusíku i když také ve velmi omezeném množství po čištění spalin. Problematickou složkou výfukových plynů jsou skleníkový efekt způsobující a zdraví neohrožující plyny, z nichž je nejvíce produkovanou složkou oxid uhličitý CO_2. Automobilky budou za nesplnění limitů skleníkových plynů platit pokuty 95 EUR za každý gram navíc oproti limitu přepočtených průměrných emisí CO_2 vynásobených počtem prodaných vozidel, což může být pro některé výrobce likvidační.

CO_2 není v běžných množstvích zdraví škodlivý a je přirozenou součástí atmosféry. Připisuje se mu však významný podíl na globálním oteplování a naprostá většina tohoto plynu pochází z přírodních zdrojů, přičemž 3–5 % pochází z lidské činnosti i když tento podíl pomalu roste. Z této části připadá největší podíl na výrobu elektrické energie, průmysl a domácnosti a na dopravu připadá v Evropě asi 27 %. Z výfuků automobilů podle Logistic News [6] „zřejmě vychází méně než 1 % z celkové produkce CO_2 ve světě“. Podíl Evropy na celosvětové tvorbě CO_2 je necelých 10 %, což znamená, že náhrada všech osobních vozidel v Evropě elektromobily způsobí změnu o méně než promile z pohledu celkové produkce CO_2! [6]

Z pohledu globálního oteplování je lhostejné, za je oxid uhličitý produkován z výfuků automobilů ve městě, nebo z komínu elektrárny vzdálené 100 km nebo dokonce v jiné zemi. Je tedy potřeba k emisím, co vznikají při výrobě energie potřebné pro provoz elektromobilů připočítat také jednorázové množství emisí vznikajících při výrobě baterií a vozidla. Emise vztahující se k elektromobilům se musí týkat také fází před provozem, tj. zejména výroby baterií. Celková doba do vyrovnání výrobních emisí menšími emisemi v provozu je závislá na typu automobilu a na jeho palivu. Pro představu pro VW Golf bylo zjištěno, že u benzinového motoru je kilometrický průběh pro vyrovnání emisí oproti bateriové verzi cca 130 000 km, u naftového motoru pak 220 000 km a u hybridu odhadem 150 000 – 250 000 km podle toho, jak je využíván spalovací motor. [6]

Životnost baterie se pohybuje někde mezi 150 000 a 200 000 km v závislosti na to, s jak velikým snížením dojezdu stárnoucí baterie se zákazník spokojí. Poté je nutné baterii vyměnit, a to emise skleníkových plynů znovu navýší o počáteční hodnotu výroby baterie. Lze očekávat, že proti elektromobilu by byl o něco méně výhodný jen benzínový pohon, jelikož v daném případě byla baterie dimenzována na relativně malý dojezd 150 000 km bez topení a bez započtení snížené kapacity v zimě. Ostatní řešení jsou z pohledu skleníkových plynů výhodnější než v Evropě tolik protlačovaný elektromobil. To platí zejména pro větší vozidla typu SUV, protože mají větší baterie kvůli požadovanému většímu dojezdu, především při použití syntetických paliv z obnovitelných zdrojů. Výroba elektrické energie v tepelných elektrárnách je nežádoucí, jelikož produkují značné množství CO_2 a prakticky jedinou alternativou s ohledem na výše uvedené možnosti výroby potřebného množství energie z obnovitelných zdrojů je jaderná energie. [6]

1.4.4 Spotřeba a dojezd elektromobilů

Dojezd na jedno nabití a čas nabíjení jsou u elektromobilů nejvíce sledované parametry. Tyto údaje jsou často udávány velmi nepřesně a bez odkazu na způsob jejich zjištění. Dojezd a spotřeba se měří ve standardizovaných cyklech podle předepsané metodiky, přičemž skutečný dojezd je ovlivněn hned několika faktory, jako např. druhem provozu, stylem jízdy řidiče, topením ve vozidle apod., a zpravidla je nižší než jmenovitý dojezd. Tab. 1.1 níže pro představu udává příklad běžných dojezdů elektromobilem VW Golf první generace.

Tab. 1.1 Příklad běžných dojezdů elektromobilem VW Golf první generace

Jmenovitý dojezd	Dojezd ve městě	Dojezd na dálnici	Dojezd v zimě bez topení, sníh na silnici
200 km	cca 150 km	cca 130 km	cca 100 km

Zdroj: vlastní zpracování podle [6]

Topení je další faktor, který má výrazný vliv na dojezd vozidla. Bez udání podmínek měření má jakákoliv hodnota dojezdu malý vypovídací význam. [6]

Reálně nedosáhne na jmenovitý dojezd ani jeden vůz se současné nabídky elektromobilů. Spotřeby jednotlivých vozidel se pohybují mezi 15-25 kWh/100 km a například v případě vozu Tesla Model X je to ještě více. Konkrétní dojezdy jsou potom výrazně ovlivněny velikostí baterie, u které se obvykle udává její jmenovitá kapacita, přičemž důležitá je její využitelná kapacita, která je menší. Dnešní moderní lithiové baterie není možné zcela vybít, řídící systém baterie totiž ohlásí stav nabití na nule v momentě, kdy v baterii zbývá ještě cca 10-15 % energie a další vybíjení již nepřipustí. Výrazné zvýšení dojezdu je možné pouze instalací větší a těžší baterie, což bylo potvrzeno i podrobnými propočty různých zlepšení současně vyvíjených vozidel s elektrickým pohonem. [6]

V tom případě ale vzrůstají jízdní odpory, takže celkový dojezd není úměrný vyšší kapacitě, a především roste měrná spotřeba energie. U vozidel značky Tesla se dnes WTW hodnoty rovnají 35 kWh/100 km a dají se srovnat s podstatně lehčími vozidly na fosilní paliva. Pro zajištění požadovaného reálného dojezdu 300 km musí být:

- baterie s kapacitou 50 kWh, která váží s potřebným příslušenstvím cca 300 kg,
- baterie s kapacitou 85 kWh, která váží 600–650 kg.

To je daleko více, než je běžný přepravovaný náklad u osobního automobilu a jeho posádky.

Většina současných elektromobilů takto velké baterie nemá. Reálný dojezd 417 km má např. Hyundai Kona Electric s kapacitou 64 kWh a v těchto číslech se pohybuje také Škoda Enyaq. Je však potřeba si uvědomit, že rychlonabíjecí stanice zpravidla končí nabíjení při 80 % stavu nabití baterie z důvodu výrazně rostoucího odporu při stavu nabití baterie (SOC) blížícím se 100 %. V případě závislosti vozidel na dobíjení v rychlonabíjecích stanicích by byla potřebná velikost baterií ještě o cca 20% vyšší. S velikostí baterie však roste jak její váha, tak i cena. [6]

1.4.5 Dobíjení

Obecně se možnosti dobíjení baterií dají rozdělit do 3 kategorií:

- rychlé dobíjení stejnosměrným proudem,
- pomalé dobíjení střídavým proudem,
- rekuperací.

Rychlé dobíjení stejnosměrným proudem – probíhá u veřejných rychlodobíjecích stanic nebo u pouličního dobíjecího stojanu. V závislosti na typu může být v širokém výkonovém rozsahu od 20 kW do 150 kW. Extrémem je potom výkon 350 kW s kapalinou chlazenými kabely, zasunovanými do vozidla robotickým ramenem. Čas dobíjení se odvíjí od výkonu dobíjecí stanice, čím je výkon vyšší, tím je pochopitelně čas kratší, přičemž je snahou čas dobíjení co nejvíce zkrátit. S rostoucím výkonem však při daném napětí roste dobíjecí proud a s jeho druhou mocninou rostou ztráty při dobíjení. Tato ztrátová energie se mění na teplo a díky tomu je dobíjecí výkon omezen dovoleným ohřátím vodičů a baterií, které je zapotřebí během dobíjení chladit a v průběhu dobíjení musí být velký výkon snižován. Poměrem uložené energie a výkonu dobíječky nelze čas dobíjení počítat, jak se často chybně uvádí. [6]

Pomalé dobíjení střídavým proudem – provádí se z běžné nebo třífázové zásuvky nebo nástěnné dobíječky, tzv wallboxu. Ve vozidle se nachází vlastní dobíječka a mění střídavý proud na stejnosměrný, kterým dobíjí baterii Vždy je však omezen dobíjecí výkon právě výkonem dobíječky ve vozidle, jelikož použití výkonnějšího zdroje čas dobití nezkrátí. Pomalé dobíjení se doporučuje používat i v případě, že vozidlo bylo dobíjeno na rychlonabíječce, protože při rychlém nabíjení i vybíjení dochází k nestejnému stavu nabití jednotlivých článků, ze kterých se baterie skládá a při pomalém dobíjení dochází k tzv. balancování neboli dobití všech článků na stejnou úroveň.

Rekuperace – v tomto případě se každý elektromobil dobíjí sám automaticky při zpomalování a brzdění. Úroveň rekuperace lze v některých případech nastavit na více úrovní a tím ovlivnit zpomalování rychlosti jízdy. [6]

Tento fakt mohu potvrdit, neboť tuto možnost nabízí např model Enyaq značky Škoda. Během provedeného provozního testu elektrického tahače detailně popsaného v jedné z hlavních kapitol níže v této práci jsem měl také možnost otestovat jízdu tímto vozidlem a mimo jiné disponuje také možností nastavení úrovně rekuperace.

Rekuperací však nelze vrátit do baterie celou energii, která byla použita pro rozjezd vozidla. Hodnota snížení spotřeby rekuperací dosahuje 5 % spotřeby bez rekuperace, přičemž větší je ve městě a nižší na dálnici. Pokud se budou brát v úvahu nároky na počty dobíječek, jejich prostor potřebný pro takové dobíjecí stanice, jejich cena a jejich příkon, tak je obvyklé tvrzení, že problém s dobíjením elektromobilů bude odstraněn, až bude dostatek rychlonabíječek platné pouze do doby, dokud elektromobilů bude málo. [6]

Na závěr této kapitoly lze tedy uvést, že elektrické bateriové pohony by měly být používány tam, kde jsou jednoznačně vhodné a nepůsobí nezamýšlený nárůst emisí skleníkových plynů po vyhodnocení jejich životního cyklu. Při hromadném rozšíření přináší řadu problémů, jejichž řešení se dostává mimo realitu i v případě, že by elektromobilů byla třeba jen polovina všech automobilů. [6]

2 Pohonné jednotky pro e-mobilitu

V této kapitole se budu věnovat analýze dvou technologií pohonných jednotek pro e-mobilitu a pro analýzu jsem vybral použití technologií pro BEV a PHEV vozidla, tedy technologii s použitím čistě elektrického pohonu a technologii, která kombinuje použití elektromotoru a spalovacího motoru neboli technologii Plug-in hybrid.

Tato celková analýza se skládá ze dvou částí. V první části bude provedena analýza ve formě rozboru výrobních procesů baterií pro jednotlivé technologie e-mobility z pohledu společnosti Škoda Auto a.s. (dále jen Škoda Auto), která v rámci celkové produkce elektromobilů věnuje svou pozornost také vlastní výrobě baterií pro obě zmíněné technologie e-mobility. Nejprve bude proveden rozbor výrobního procesu baterie MEB, která se využívá jako pohonná jednotka pro technologii BEV vozidel, konkrétně pro model Škoda Enyaq a následně také rozbor výrobního procesu baterie, která se využívá v kombinaci se spalovacím motorem jako pohonná jednotka pro technologii PHEV, se kterou je možné se setkat například u modelů Škoda Octavia nebo Škoda Superb. Cílem této analýzy výrobních procesů je určit hlavní rozdíly mezi zmíněnými technologiemi, respektive mezi výše uvedenými pohonnými jednotkami v rámci e-mobility z pohledu samotné výroby. Informace použité pro analýzu byly získané formou konzultací s odborníky společnosti Škoda Auto, kteří se zaměřují přímo na oblast e-mobility z pohledu výroby baterií pro jednotlivé technologie.

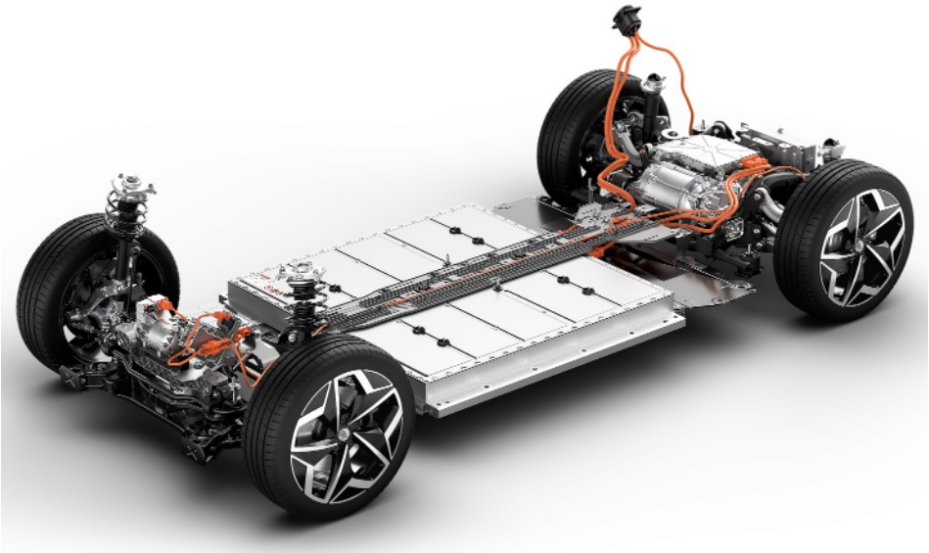
Ve druhé části bude provedena analýza zaměřená na technologii pohonu BEV vozidel z pohledu provozního nasazení. Tato analýza bude provedena ve formě provozního testu elektrického tahače, který byl nasazen pro provoz na definované trase v určitém časovém období. Díky tomuto provoznímu testu bylo možné zkoumat průběh nabíjení baterie v určitém časovém rozmezí a díky tomu určit případné výkyvy a nedostatky, na které by bylo potřeba upozornit před hlavním nasazením do provozu na dané trase, případně tyto nedostatky odstranit a zajistit vhodná opatření pro zajištění dopravní obsluhy definované trasy. Tento provozní test by měl zároveň vyhodnotit, zda je použití technologie BEV ve formě elektrického tahače dostačující pro zabezpečení dopravní obsluhy dané trasy a případně za jakých podmínek.

2.1 Analýza pohonné jednotky technologie BEV

Jako první bude celkovému rozboru výrobního procesu podrobena pohonná jednotka technologie BEV vozidel. Jak již bylo zmíněno, společnost Škoda Auto se v rámci celkové produkce elektromobilů zaměřuje také na výrobu pohonných jednotek pro tento typ automobilů. V rámci celkové produkce disponuje také výrobní linkou určenou přímo k výrobě baterií, konkrétně pro montáž modulární platformy MEB. Před samotným rozborem výrobního procesu je důležité analyzovanou pohonnou jednotku ve formě platformy MEB představit a zmínit některé obecné informace.

2.1.1 Platforma MEB

Platformu MEB dostávají elektromobily koncernu Volkswagen včetně SUV Škoda Enyaq iV. Platforma MEB je obdoba platformy MQB, kterou používají vozy Škoda se spalovacími motory a hybridním pohonem, avšak je speciálně vyvinuta pro potřeby elektromobilů, a tak se od MQB výrazně liší. Na Obr. 2.1 je tato platforma znázorněna. [1]



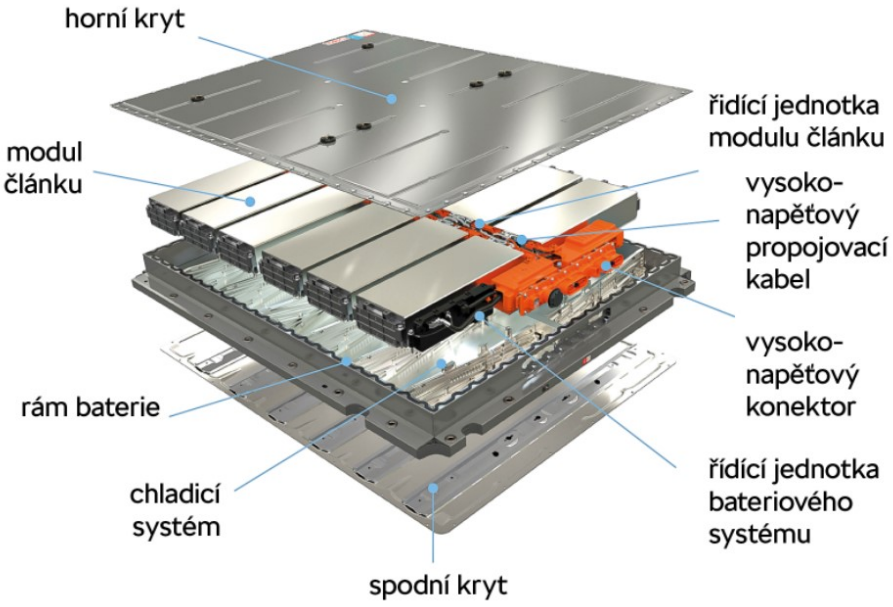
Obr. 2.1 Platforma MEB pro elektromobily koncernu VW

Zdroj: [1]

Baterie jsou základem elektromobilu, tím pádem tvoří největší součást modulární platformy. Největší a nejtěžší část platformy je modul s bateriemi, který tvoří masivní hliníkový rám, do kterého se vkládají jednotlivé moduly s články baterie.

Celek v podstatě tvoří podlahu vozu a jeho spojení s karoserií, která zůstává samonosná a zvyšuje konstrukční tuhost automobilu. Podlahová baterie je konstrukčně variabilní, jelikož rám má dva rozměry. Do rámu je možné vložit až dvanáct bateriových modulů, přičemž každý obsahuje 24 bateriových článků. V takovém případě vznikne baterie o hmotnosti zhruba 493 kg s celkovou kapacitou 82 kWh, z toho 77 kWh je k dispozici pro použití k pohonu vozidla. Baterie střední velikosti pak váží 376 kg a obsahuje devět modulů o celkové kapacitě 62 kWh. Nejmenší bateriová verze disponuje osmi základními moduly o hmotnosti 345 kg a kapacitě 55 kWh. Součástí celé bateriové konstrukce je také systém chlazení a managementu baterie a konektory různých typů. Výroba může tedy probíhat v několika modifikacích v závislosti na celkovém počtu bateriových modulů. Součástí baterie je také standardizované technické řešení pro nabíjení a výkonová elektronika, která řídí nejen nabíjení, ale také dodávku energie k pohonu. [1]

V souvislosti s následujícím rozborem výrobního procesu zmíněné baterie, jakožto hlavního prvku platformy MEB pro technologii BEV vozidel je na Obr. 2.2 níže pro představu graficky vyobrazeno rozložení bateriové konstrukce s popisem jednotlivých komponent.

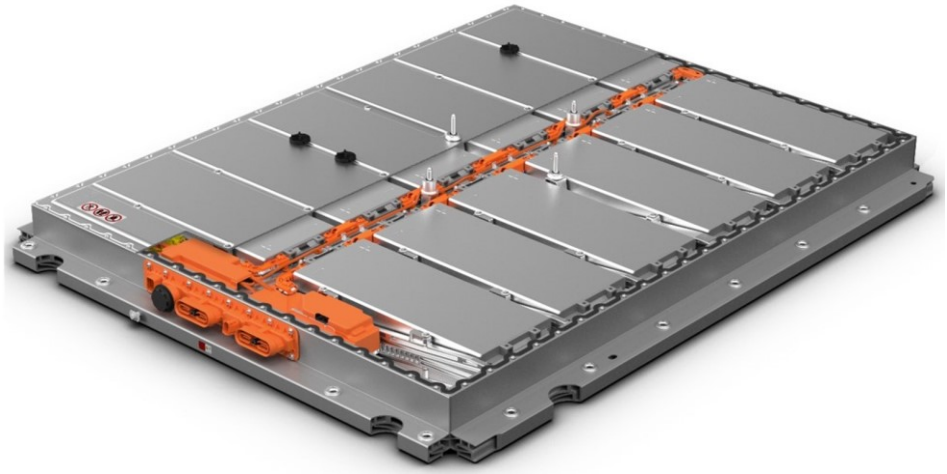


Obr. 2.2 Rozložení bateriové konstrukce platformy MEB

Zdroj: [1]

2.1.2 Rozbor výrobního procesu baterie platformy MEB

V této podkapitole se již pozornost věnuje komplexnímu rozboru výrobního procesu zmíněné baterie platformy MEB, která tvoří hlavní součást pohonné jednotky pro technologii BEV vozidel jakožto první technologii e-mobility, které bude věnována pozornost v rámci celkové analýzy. Na Obr. 2.3 je vyobrazena kompletní bateriová konstrukce, která je výsledným produktem dále popisovaného výrobního procesu. Níže zmíněné informace byly získané formou konzultací s odborníky Škody Auto zabývající se problematikou e-mobility z pohledu výroby pohonných jednotek.



Obr. 2.3 MEB baterie (82 kWh – 12 modulů)

Zdroj: [7]

Celý výrobní proces montáže začíná pracovištěm, na kterém se nachází přepravní boxy s paletami, ve kterých jsou uložené bateriové vany neboli rámy baterie, které v podstatě tvoří nádobu celé bateriové konstrukce. Tyto vany se zajišťují standardní cestou od stanoveného dodavatele, vlastní výroba těchto bateriových van se ve Škodě Auto neprovádí. Celá montážní linka pro tento typ MEB baterie je v podstatě plně automatizovaná a robotizovaná až na pár pracovišť, kde jsou některé činnosti poloautomatizované a je zapotřebí zásah pracovníka montáže.

Na prvním pracovišti se tedy výše zmíněné bateriové vany pomocí právě robotických ramen uloží na montážní vozík, na kterém se nachází po celou dobu výrobního procesu a tento vozík pokračuje na pracoviště, kde se do vany nanáší tzv. „Gapfiller“. Jedná se o zvláštní druh pojiva, který plní především těsnící funkci. Tento gapfiller je nanášen pomocí robotických ramen v přednastaveném množství tak, aby byla vana řádně vyplněna ve všech místech správným množstvím gapfilleru.

Následuje druhá činnost montážního pracoviště, kterou je vkládání bateriových modulů do ocelové bateriové vany již vyplněné správným množstvím gapfilleru. Tuto operaci rovněž provádí robotická ramena.

Poté co jsou moduly vloženy a zašroubovány do bateriové vany pokračuje celá sestava na pracoviště, kde probíhá montáž vysokonapěťových propojovacích kabelů, jejichž umístění blíže specifikuje Obr. 2.2. Tyto vysokonapěťové „propoje“ vychystávají pracovníci montáže na paletu, ze které si je robotické rameno postupně odebírá a pomocí šroubů je připevní do konstrukce baterie k bateriovým modulům. Zmíněné montážní operace probíhají přibližně v 70vteřinovém taktu na dvou otočných stanovištích z kapacitních důvodů. Součástí montážní linky je také repasové pracoviště, které slouží k odstranění případných nedostatků, které by mohly vzniknout během výrobního procesu. Tyto nedostatky odstraňují manuálně pracovníci montážní linky.

Po montáži vysokonapěťových propojovacích kabelů je na řadě pracoviště určené pro montáž tzv. „mínusových a plusových boxů“ a jedná se o montáž řídících jednotek do baterie. Jde o pracoviště, na kterém výjimečně nedochází k montáží pomocí robotických ramen ale manuálně pracovníkem montážní linky.

Na následujícím stanovišti se do baterie montuje konektorová lišta, což je největší vysokonapěťový propoj a datová sběrnice používaná v celém koncernu Volkswagen. Zde je výrobní proces poloautomatický, robotické rameno nanáší tzv. „Motorendichtmasse“, což je v podstatě zvláštní druh motorového tmelu a baterie se dále dostává na pracoviště, kde probíhá dostrojení konektorové lišty v podobě manuálního vkládání kabelového svazku, řídící jednotky, krátkých kabelových svazků mezi bateriové moduly a řídící jednotky. Celá konstrukce musí být nakloněna o 70°, aby k ní měli pracovníci montáže vhodný a bezpečný přístup.

Sestava poté pokračuje na speciální pracoviště, kde dochází k montáží posledního vysokonapěťového spoje. Jedná se o zvláštní gumou potažený izolovaný plech, ze jehož montáž musí být odpovědný zvláštně proškolený elektrotechnik. Celé pracoviště je zejména z bezpečnostních důvodů ohraničeno zábranami ze speciálního skla, aby bylo řádně odděleno od ostatních stanovišť montážní linky a je samostatně izolované. Na toto pracoviště jsou kladeny obrovské bezpečnostní požadavky, jelikož v tomto stavu již celá konstrukce baterie produkuje napětí o hodnotě 400 V.

V další fázi výrobního procesu se baterie dostává na pracoviště zkušebních stavů a je již kompletně smontována až na spodní a horní bateriový kryt, který zatím není součástí baterie. Je tomu tak především proto, aby bylo stále možné zaslat baterii na repasové pracoviště z důvodu případných nedostatků. Horní kryt baterie totiž není zrovna jednoduché po přidělání k baterii sundat. Na pracovišti zkušebních stavů se provádí testování funkcí a bezpečnosti před tím, než se celá konstrukce zašle dál k finálnímu dokompletování.

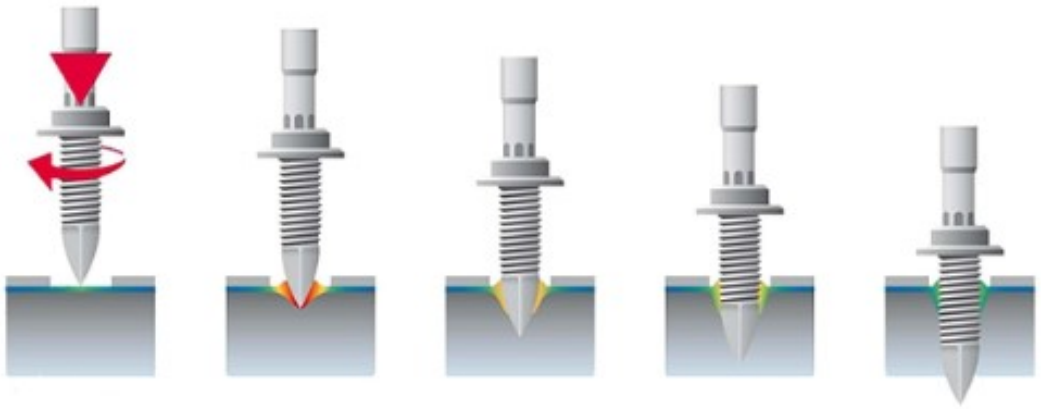
V rámci funkčního testování se zkoumají následující funkce:

- komunikace mezi řídícími jednotkami,
- napětí jednotlivých modulů – musí být všude stejné,
- výkonový test – postupné nabití a vybití,
- paměť řídících jednotek.

Co se týče testování paměti řídících jednotek, tak se zkoumá, zda neobsahují nějaké chyby. Pokud se žádné chyby neobjeví, tak je samozřejmě vše v pořádku, pokud však ano tak je nutné případné chyby smazat a zkoumá se, zda se objeví nějaké nové. Z bezpečnostního hlediska se testuje především bateriová izolace, respektive její pevnost a odolnost vůči vysokému napětí.

Po úspěšném provedení zkušebních testů se na bateriovou konstrukci na dalším pracovišti opět nanáší již zmíněná „Motorendichtmasse“, neboli motorový tmel. V tomto případě slouží k těsnění horního krytu, který se v rámci další výrobní operace přišroubuje na horní část baterie. Tato operace je čistě automatizovaná a je prováděna opět pomocí robotických ramen, které odeberou horní kryt z výrobní palety, umístí ho na baterii a přišroubují ho k ní. Tato operace se provádí s využitím zvláštní **Flow-drill screw** technologie v rámci výrobního procesu. Jedná se o technologii, při které se využívají šrouby se speciální špičkou a při určitých otáčkách a pod značným tlakem dochází během procesu k zahřátí a následnému protavení materiálu a tím vznikne otvor pro šroub, přičemž v určité fázi dojde ke změně točivého momentu, aby se vytvořit rovnou i závit. S využitím této technologie se připevňuje právě horní kryt ke konstrukci baterie formou mechanického připojení. Výhodou této technologie je, že není nutné vyřezávání žádných závitů ani otvorů pro šrouby.

Nevýhodou je samozřejmě cena, jelikož tato technologie je poměrně drahá, nicméně dle získaných informací se v celkovém srovnání její použití v rámci tohoto výrobního procesu baterie MEB vyplatí. Na Obr. 2.4 je graficky vyobrazen princip mechanického připojení s využitím technologie Flow-drill screw.



Obr. 2.4 Princip technologie Flow-drill screw

Zdroj: [8]

Po úspěšné montáži horního krytu baterie s využitím zmíněné technologie Flow-drill screw je na řadě montáž spodního krytu baterie. Ten se oproti hornímu krytu šroubuje s použitím standardních šroubů na dvou montážních stanovištích. Následují tlakové zkoušky, kde se testuje těsnost baterie a zejména chladícího okruhu, který je zde ve formě vodního chlazení, takže se zkoumá, zda na nějakém místě ku příkladu neprotéká voda a zda je baterie dostatečně utěsněna. Poté co víme, že baterie těsní se provedou opět měrné zkoušky a jedná se již o výstupní bateriový test, který je spíše formální záležitostí, jelikož v této fázi se už dá říct, že je baterie plně funkční.

V této konečné fázi by již bylo opravdu problematické podrobit baterii případným repasním operacím. Hlavní měření a testování tedy probíhá na prvním zkouškovém pracovišti před přiděláním horního a spodního krytu baterie a tím pádem před jejím kompletním uzavřením. Nelze tvrdit, že by to bylo zcela nemožné, ale bylo by potřeba odstranit desítky šroubů (40-60), které již drží celou bateriovou konstrukci včetně krytů pohromadě. V případě horního krytu by to bylo obzvlášť problematické vzhledem k použité technologii Flow-drill screw pro mechanické připojení.

Tímto finálním testem je výrobní proces baterie platformy MEB ukončen a může opustit výrobní halu. Baterie se umístí do logistické palety a pomocí dopravníkového portálu vedeném pod stropem haly pokračuje na ocelové konstrukci přímo na výrobní linku vozů, kde se v rámci dalších výrobních a montážních operací umisťuje do podvozku vozidla a spolu s dalšími komponenty pak vytvoří ucelenou platformu MEB. Výslednou podobu nejlépe charakterizuje Obr. 2.1 v podkapitole 2.1.1.

2.2 Analýza pohonné jednotky PHEV

Druhou pohonnou jednotkou, respektive technologií e-mobility, které je věnována pozornost v rámci celkové analýzy je plug-in hybridní technologie PHEV vozidel. Oproti výše zmíněné technologii BEV vozidel se zde nevyužívá platforma MEB, která byla vyvinuta pro vozidla poháněná čistě elektrickou energií, ale standardní MQB platforma, kterou používají vozy Škoda se spalovacími motory a hybridním pohonem. Na Obr. 2.5 je znázorněna zmíněná MQB platforma s variantou hybridního pohonu modelu Volkswagen Passat GTE PHEV.

Obr. 2.5 Platforma MQB s hybridním provedením pohonu modelu VW Passat GTE

Zdroj: [9]

Využití platformy je stejné jako je tomu v případě Škody Auto, takže je možné z tohoto příkladu vycházet. Pro srovnání uvádím také provedení modelu Škoda Superb iV formou Obr. 2.6 na další straně.

Obr. 2.6 Platforma MQB s hybridním provedením pohonu modelu Škoda Superb iV

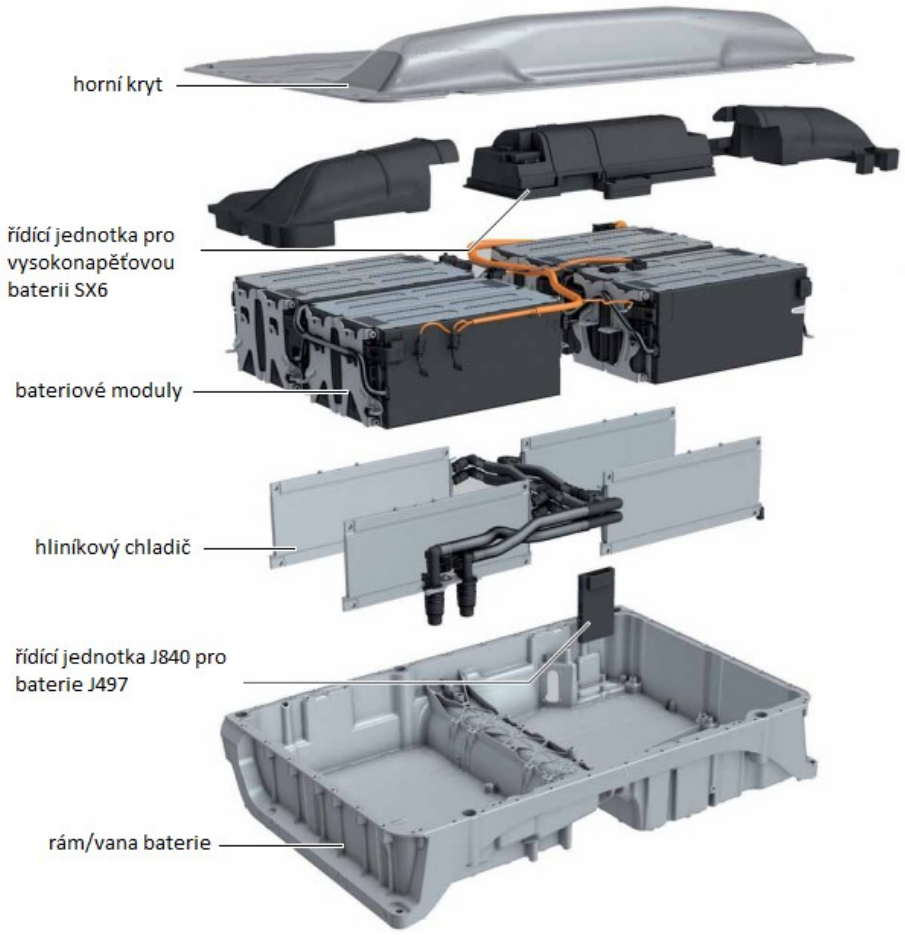
Zdroj: [1]

2.2.1 Výroba trakčních baterií pro technologii PHEV

Před samotným rozborem výrobního procesu baterie pro technologii PHEV vozidel je potřeba zmínit několik základních informací. Vysokonapěťové trakční baterie z Mladé Boleslavi používají i modely koncernových značek Audi, Seat a Volkswagen a vznikají v areálu o ploše zhruba 2 000 m^2. Závod má k dispozici i nejmodernější testovací zařízení, na kterém se baterie důkladně testují, čímž je zajištěno splnění nejvyšších bezpečnostních a kvalitativních standardů. Vedoucí výroby komponentů společnosti Škoda Auto Christian Bleiel [1] uvádí, že: „V našem hlavním výrobním závodě v Mladé Boleslavi vyrábíme na naší moderní lince denně téměř 800 vysokonapěťových trakčních baterií, které montujeme do plug-in-hybridních modelů. Tento úspěch je dokladem vysoké technické kompetence našeho týmu a významu naší výroby komponentů v rámci koncernu. Vedle modelů Škoda Superb iV a Octavia iV slouží naše baterie i v plug-in-hybridních modelech značek Audi, Seat a Volkswagen.“

Vysokonapěťové trakční baterie se v mladoboleslavském závodě začaly vyrábět v roce 2019 a česká automobilka pak výrobu postupně zvyšovala. Výroba jedné baterie trvá přibližně dvě hodiny a baterie přitom projde 66 různými pracovními stanicemi. [1]

Každých 88 vteřin sjede ve výrobním závodě v sídle společnosti v Mladé Boleslavi z výrobní linky jedna baterie pro plug-in hybridní modely na bázi modulární platformy MQB s příčně uloženým motorem. Výrobní linku obsluhuje 58 zaměstnanců, přičemž manipulaci s mimořádně těžkými díly zajišťuje 13 robotů, kteří vkládají bateriové moduly do výrobní linky nebo vykládají hotové bateriové konstrukce z linky na palety. Pro následující rozbor výrobního procesu je na Obr. 2.7 pro představu znázorněno rozložení bateriové konstrukce pro technologii PHEV.



Obr. 2.7 Rozložení bateriové konstrukce pohonné jednotky pro technologii PHEV

Zdroj: [9]

2.2.2 Rozbor výrobního procesu baterie pro technologii PHEV

Stejně jako v případě prvního rozboru u technologie BEV byly následující informace získány formou konzultací s odborníky Škody Auto zabývající se problematikou e-mobility z pohledu výroby pohonných jednotek.

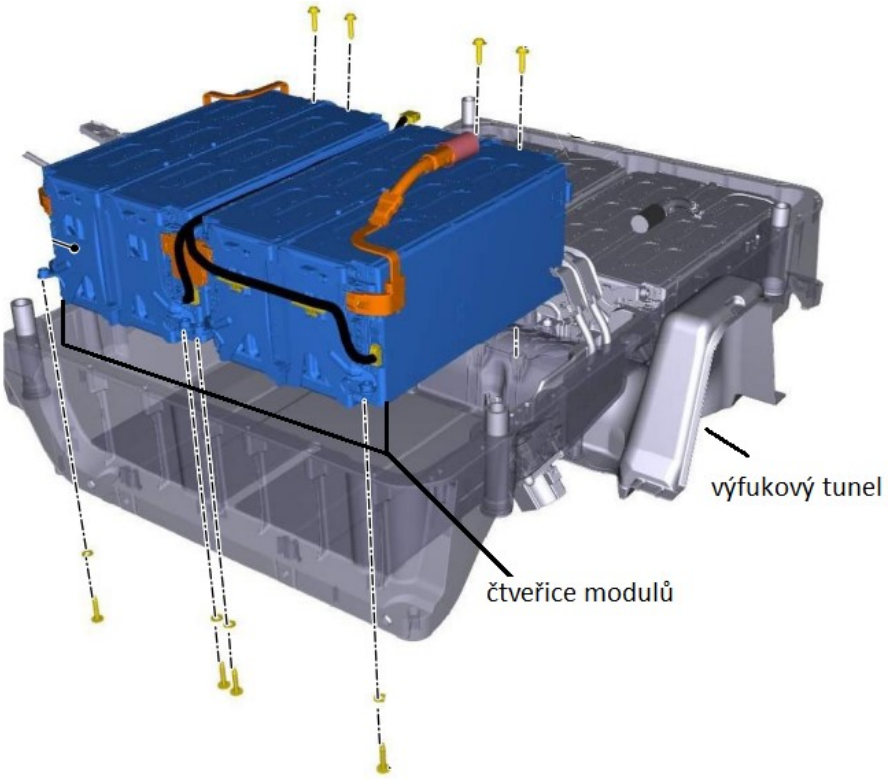
V případě výroby baterie pro technologii PHEV probíhá většina výrobních operací manuálně a montážní linku obsluhuje 58 pracovníků montáže, přičemž tímto stylem probíhá převážná většina hlavních montážních činností. Do výrobního procesu je zapojeno také několik robotických ramen, avšak jejich využití spočívá především v manipulaci s těžkými díly a jejich vyndávání z palet a následné umístění na montážní linku, jak je již uvedeno v předešlém textu.

Na prvním montážním pracovišti se provádí montáž modulů do bateriové vany obdobně jako v případě baterie MEB. Místo gapfilleru, který se využívá jako těsnící a teplo odvádějící prvek u MEB baterie se u PHEV technologie lepí speciální tepelně odolná fólie, která odvádí teplo a slouží k chlazení smontovaného bateriového systému. Tato fólie se používá vždy pro dva moduly a v následujícím kroku se mezi dva moduly vkládá ještě speciální hliníkový chladič a tyto dva moduly se sešroubují k sobě spolu s chladičem. Tím vznikne sestava modul-chladič-modul a takovéto skupiny se vytvoří čtyři s tím, že se následně musí propojit vysokonapěťovým propojovacím kabelem, aby byly dva jednotlivé moduly zapojeny sériově.

Na následujícím pracovišti se k sobě spojují dva modulové páry a poté dochází k přidání dalších vysokonapěťových vodičů. Tím vzniknou dvě bateriové čtveřice, které se dále vkládají do bateriové vany. U baterie pro technologii PHEV se tedy používá celkem 8 bateriových modulů.

Bateriová vana je z hliníku a není svařována jako je tomu v případě MEB baterie u technologie BEV. Z důvodu menší velikosti se vyrábí s využitím technologie tzv. „tlakového lití“. Jedná se o podobnou výrobní technologii, která se používá například pro lití skříní převodovek nebo motorových bloků. Tím je vana kompletní a není potřeba dalšího svařování, neřežou se nikde žádné profily a ani se k vaně nepřipojuje žádná chladící deska. U baterie technologie PHEV je chlazení řešeno pomocí jednotlivých chladičů umístěných mezi jednotlivými moduly baterie. Bateriová vana je v tomto případě pouze kus litého hliníku.

Dále se jednotlivé bateriové moduly s pomocí 8 šroubů přišroubují do bateriové vany, konkrétněji pomocí 4 šroubů z vnější a 4 z vnitřní strany jednotlivých modulových čtveřic. Umístění modulové čtveřice do bateriové vany včetně pozičního umístění šroubů popisuje Obr. 2.8 na následující straně.



Obr. 2.8 Umístění modulů do bateriové vany s pozičním umístěním šroubů

Zdroj: [10]

Uprostřed bateriové konstrukce se nachází tunel, který je možné rovněž vidět na Obr. 2.8 Tímto tunelem poté prochází výfukové potrubí, jelikož baterie se musí stále vypořádat s faktem, že se ve vozidle nachází ještě spalovací motor. Je tedy tvarovaná tak, aby pod ní mohl procházet výfuk, což není zapotřebí v případě baterie platformy MEB u technologie BEV.

V baterii se nachází celkem 4 chladiče, přičemž jeden slouží vždy pro chlazení dvou modulů zároveň. Obsahuje tedy celkem 4 hadicové přípoje pro jednotlivé chladiče, které slouží k následnému vyvedení z baterie a k propojení s chladícím okruhem vozu. Lze tedy s jistotou potvrdit, že v případě technologie PHEV se u baterie využívá naprosto odlišný chladící koncept oproti technologii BEV. Chladič zde není integrován do bateriové vany, ale jsou zde 4 oddělené chladiče. Chladící okruh pro vysokonapěťové komponenty popisuje Schéma 2.1.

Po dokončení montáže jednotlivých modulových čtveřic do bateriové vany se na následujících pracovištích vkládají do bateriové konstrukce polystyrenové výplně, aby v baterii nezůstal žádný volný prostor. Samozřejmostí je kabeláž a mechanické ocelové vzpěry, které se šroubují shora na jednotlivé bateriové moduly.

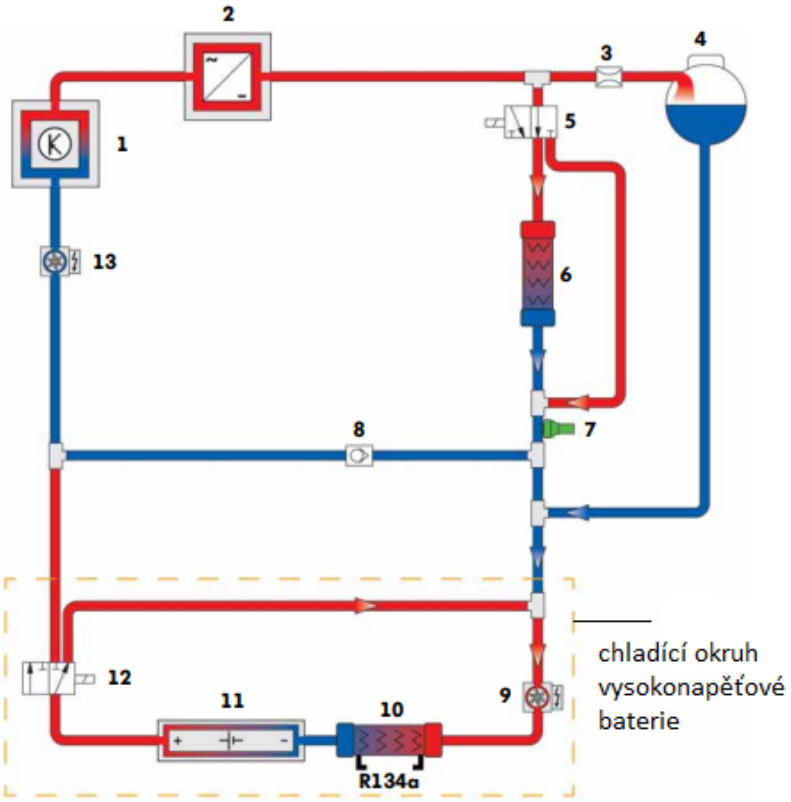


Schéma 2.1 Chladící okruh pro vysokonapěťové komponenty

Zdroj: [9]

1. Výkonová a řídící elektronika pro elektrický pohon JX1
2. Nabíjecí jednotka 1 pro vysokonapěťovou baterii AX4
3. Omezovač
4. Expanzní nádrž chladící kapaliny
5. Přepínací ventil chladící kapaliny 1 N632
6. Nízkoteplotní radiátor
7. Teplotní senzor
8. Zpětný ventil
9. Čerpadlo chladící kapaliny pro vysokonapěťovou baterii V590
10. Tepelný výměník pro vysokonapěťovou baterii VX63
11. Chladící článek pro vysokonapěťovou baterii 1 AX2
12. Ventil chladící kapaliny pro vysokonapěťovou baterii N688
13. Cirkulační čerpadlo chladící kapaliny před napájecí a ovládací elektronikou pro elektrický pohon V508

V baterii nesmí chybět řídící jednotka, která se na následujícím stanovišti umisťuje nad bateriové moduly a do baterie se přidávají další polystyrenové výplně. Další fází je umístění vrchního krytu, který má nepravidelný tvar díky umístění zmíněné řídící jednotky. Detail provedení horního krytu je možné vypozorovat na Obr. 2.7. v úvodní podkapitole 2.2.1. Vrchní kryt se opět pomocí šroubů přišroubuje na baterii a celá baterie se ještě v poslední výrobní fázi musí na jednotlivých místech spojit pomocí svárů. Oproti baterii platformy MEB se pro mechanické připojení vrchního krytu nepoužívá technologie Flow-drill screw, tato technologie je ojedinělou zvláštností v rámci výrobního procesu pouze v případě technologie BEV.

U baterie pro technologii PHEV se neprovádí montáž žádného spodního krytu. Na spodní stranu bateriové konstrukce se umisťuje zvláštní díl tunelového tvaru, což je komponent, který brání přehřívání baterie od výfuku a umisťuje se na spodní stranu bateriové vany, kde se v případě baterie platformy MEB nachází spodní kryt. Tento díl plní funkci takového izolantu mezi výfukem a vanou bateriové konstrukce.

Než se baterie namontují do vozů, tak jsou podrobeny rozsáhlým testům podobně jako je tomu v případě baterie platformy MEB. Montážní pracovníci mimo jiné prověří těsnost chladícího okruhu i celé trakční baterie. Aby se zaručilo, že proces spolehlivě funguje, tak se v pravidelných intervalech do linky vkládají speciálně upravené testovací baterie, po kontrole těsnosti následuje kontrola elektrických funkcí na celkem 13 zkušebních stavech. Kontroluje se například souhra vysokonapěťových a nízkonapěťových komponentů i kontrola elektrické instalace. Následně se každý bateriový systém nabije na část své maximální kapacity.

Tímto je výrobní proces baterie pro technologii PHEV dokončen a obdobným způsobem jako v případě baterie platformy MEB pro technologii BEV opouští montážní linku a pokračuje dále do hlavní výroby, kde ji čeká závěrečná montáž do modelů Škoda Superb iV a Škoda Octavia iV. Na Obr. 2.9 je možné vidět montážní linku pro baterie plug-in hybridní technologie včetně baterií, které postupují montážní linkou v rámci závěrečné fáze výrobního procesu.

Obr. 2.9 Montážní linka pro baterie technologie PHEV

Zdroj: [1]

2.3 Provozní nasazení pohonné jednotky technologie BEV

V této kapitole se zaměřím na pohonnou jednotku technologie BEV z pohledu provozního nasazení. Jedná se o druhou část v rámci kompletní analýzy použití této technologie e-mobility. Analýzu provozního nasazení zmíněné technologie jsem se rozhodl provést ve formě provozního testu, kde hodlám zkoumat v rámci testovacího režimu provoz elektrického tahače a jeho nasazení v daném úseku během určitého období a tím vyhodnotit obslužnost této stanovené trasy. Z pohledu této práce se díky tomu dostává pozornosti také problematice využití pohonných jednotek technologie e-mobility v rámci silniční nákladní dopravy, kde může být využití této technologie jistě daleko větší výzvou než v případě osobních automobilů.

2.3.1 Test elektrického tahače v rámci provozního nasazení

Jak již je zmíněno výše v textu, následující analýza provozního nasazení je provedena ve formě testu elektrického tahače během jeho nasazení na předem definované trase za daný časový interval. V nedávné době začala automobilka Škoda Auto využívat 3 elektrické tahače od značky Framo a jedná se o jediné elektricky poháněné tahače v ČR. Dva z těchto elektrických tahačů znázorňuje Obr. 2.10. a na úvod je potřeba zmínit pár provozních informací.

Obr. 2.10 Elektrické tahače značky Framo

Zdroj: [11]

Konkrétně tyto dva tahače se používají v rámci vnitrozávodové dopravy pro převoz baterií, což dává smysl vzhledem k faktu, že co se týče dojezdu na elektrický pohon, hovoří se pouze o přibližně 80 km na jedno nabití. Oproti nákladním automobilům vybaveným naftovým motorem by se mělo ušetřit 60 tun CO_2 ročně. Společnost Škoda důsledně minimalizuje uhlíkovou stopu v rámci své firemní strategie a výrazně zpřísňuje své ekologické cíle. [1]

Součástí elektrické flotily je ještě třetí elektrický tahač a jedná se právě o tahač, na kterém byl proveden zmíněný provozní test. Jedná se o speciálně upravený tahač uzpůsobený pro převoz kontejnerů a je vyobrazen na Obr. 2.11. Tento tahač má být určen pro zajišťování převozu kontejnerů na předem definované trase mezi halou U33, odkud probíhají expedice do zahraničních výrobních závodů a halou DC4, na které dochází k nakládce dílů do kontejnerů a všeobecně ke konsolidaci dodávaných dílů od tuzemských či zahraničních dodavatelů a z pohledu Škody Auto se jedná o externího poskytovatele služeb ve formě outsourcingu.

Smyslem a cílem tohoto provozního testu je vypozorovat a určit případné nedostatky a problémy, které mohou vzniknout z pohledu použité technologie elektrického pohonu a na tyto problémy se zaměřit a eventuálně navrhnout opatření pro nasazení v reálném provozu tak, aby se eliminovaly možné transportní výkyvy a výpadky na daném úseku.

Pokud by přeci jen k nějakému výpadku došlo z důvodu například technické závady, tak musí být k dispozici nějaká nouzová strategie, aby nedošlo k ohrožení plánovaných převozů kontejnerů mezi výše zmíněnými lokacemi.

Obr. 2.11 Elektrický tahač uzpůsobený pro převoz kontejnerů

Zdroj: vlastní zpracování

2.3.2 Trasa testovaného úseku

Provozní test byl proveden na konkrétně definovaném úseku mezi kontejnerovým terminálem nacházejícím se v blízkosti haly U33 v areálu Škoda Auto a halou DC4, která je lokalizována v průmyslové zóně D+D Park mimo areál firmy. Trasa vede z kontejnerového terminálu, kde dochází k nakládce kontejneru na návěs elektrického tahače a pokračuje kolem haly U33 přes 13. bránu Škoda, kterou testovaný elektrický tahač se zapřaženým kontejnerem vyžívá pro výjezd z areálu Škoda a následně přes přilehlou okružní křižovatku přejíždí do protilehlé průmyslové zóny, kde pokračuje do cílové destinace u haly DC4.

Zde probíhá vykládka prázdného či plného kontejneru (dle aktuální potřeby) a posléze zpětná nakládka stejného, či jiného kontejneru zpět na tahač. Po stejné tase se poté tahač s kontejnerem vrací zpět na kontejnerový terminál do areálu Škody. Zmíněná trasa je graficky vyobrazena na Obr. 2.12 na další straně.

Obr. 2.12 Trasa testovaného úseku

Zdroj: [12]

Tento úsek byl předem definován a řidič využívá vždy stejnou trasu, kterou musí dodržovat. To je nezbytné pro následné vyhodnocení, jelikož obdobná trasa se bude využívat i během ostrého provozního nasazení a řidiči v podstatě ani nemají možnost odchýlit se z dané trasy, což je i z Obr. 2.12 zřejmé.

2.3.3 Metodika provedeného testu

Cíl a smysl prováděného testu byl již zmíněn v podkapitole 2.3.1 a nyní bude popsána zvolená metodika, díky které bude možné v rámci následného vyhodnocení vypozorovat a určit, jaké nedostatky a problémy mohou během provozního nasazení tahače s elektrickou technologií pohonu potencionálně vzniknout a zdali nějaké existují.

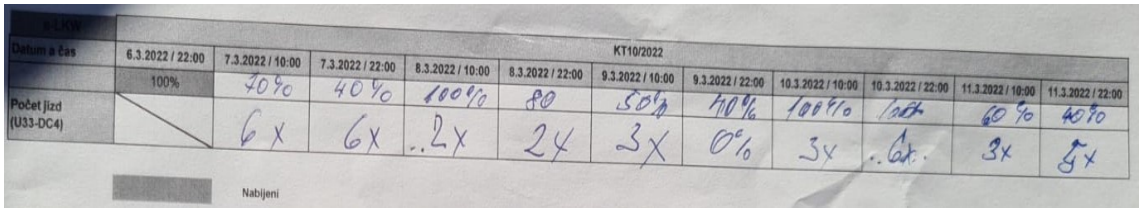
Zvolená metodika spočívá v zavedení systému sledování a evidence průběhu nabíjení elektrického tahače po celou dobu provozu v testovacím režimu. Tato metoda je optimální k vypozorování případných nedostatků souvisejících právě se zkoumanou technologií elektrického pohonu, neboť hlavní problematikou je v tomto případě nabíjení elektrického tahače jako takové díky omezenému dojezdu na přibližně 80 km. Je tedy potřeba zjistit, zda během testovacího režimu dochází k nějakým výkyvům z pohledu dobíjení a zejména jestli bude obsluha tohoto vytipovaného úseku použitým elektrickým tahačem dostačující na každodenní bázi i z pohledu zmíněného dojezdu, jelikož dojezd 80 km na jedno nabití je skutečně využitelný pouze z pohledu interní dopravy.

Zdroj pro nabíjení tahače se nachází přímo u haly DC4 a zde dochází k pravidelnému průběžnému dobíjení při provozu například během vykládek, nakládek či překládek kontejnerů. Další nabíjení probíhá o víkendech, když tahač není v provozu, aby byl připraven pro další nasazení se začátkem každou neděli ve 22:00.

2.3.4 Sběr a zpracování dat

Pro sběr dat nezbytných pro další zpracování byli do prováděného testu zapojeni jednotlivý řidiči, kteří do předem vytvořené tabulky v rámci celkové evidence zaznamenávají počty provedených jízd na stanoveném úseku mezi U33 a DC4 a procentuální stav nabití baterie za 10hodinový časový interval, který odpovídá směně daného řidiče.

Dalším důležitým zaznamenávaným údajem je vyznačení procentuálních hodnot, které odpovídají nabíjení do 100 %, které bylo nezbytné vzhledem k situaci z důvodu poklesu pod 50 % kapacity baterie. Na Obr. 2.13 níže je uveden příklad vyplněného evidenčního formuláře jedním z řidičů, charakterizující data za kalendářní týden 10, tedy období od 6.3.2022 do 11.3.2022.



Obr. 2.13 Evidenční formulář vyplněný řidičem za období 6.3.2022 - 11.3.2022

Zdroj: [13]

Tyto záznamy od jednotlivých řidičů se následně převedly do digitální formy, což je znázorněno formou Tab. 2.1. Těchto záznamů bylo pořízeno hned několik během různých týdnů, aby bylo možné vycházet z co nejvíce podkladů a co nejlépe vypozorovat jednotlivé průběhy nabíjení. Na základě těchto údajů bylo možné vytvořit grafické průběhy nabíjení, na kterých lze pozorovat případné výkyvy v nabíjení během jednotlivých dnů v testovaném období. Tyto grafické průběhy budou detailně představeny v následující kapitole v rámci vyhodnocení provozního testu.

Tab. 2.1 Evidence průběhu nabíjení e-tahače v období od 6.3.2022 do 11.3.2022

e-LKW	KT10/2022										
Datum a čas	6.3.2022 / 22:00	7.3.2022 / 10:00	7.3.2022 / 22:00	8.3.2022 / 10:00	8.3.2022 / 22:00	9.3.2022 / 10:00	9.3.2022 / 22:00	10.3.2022 / 10:00	10.3.2022 / 22:00	11.3.2022 / 10:00	11.3.2022 / 22:00
Kapacita baterie	100%	70%	40%	100%	80%	50%	40%	100%	80%	60%	40%
Počet jízd (U33-DC4)		6	6	2	2	3	0	3	6	3	5

Zdroj: vlastní zpracování podle [13]

3 Vyhodnocení použitých technologií a provozního nasazení

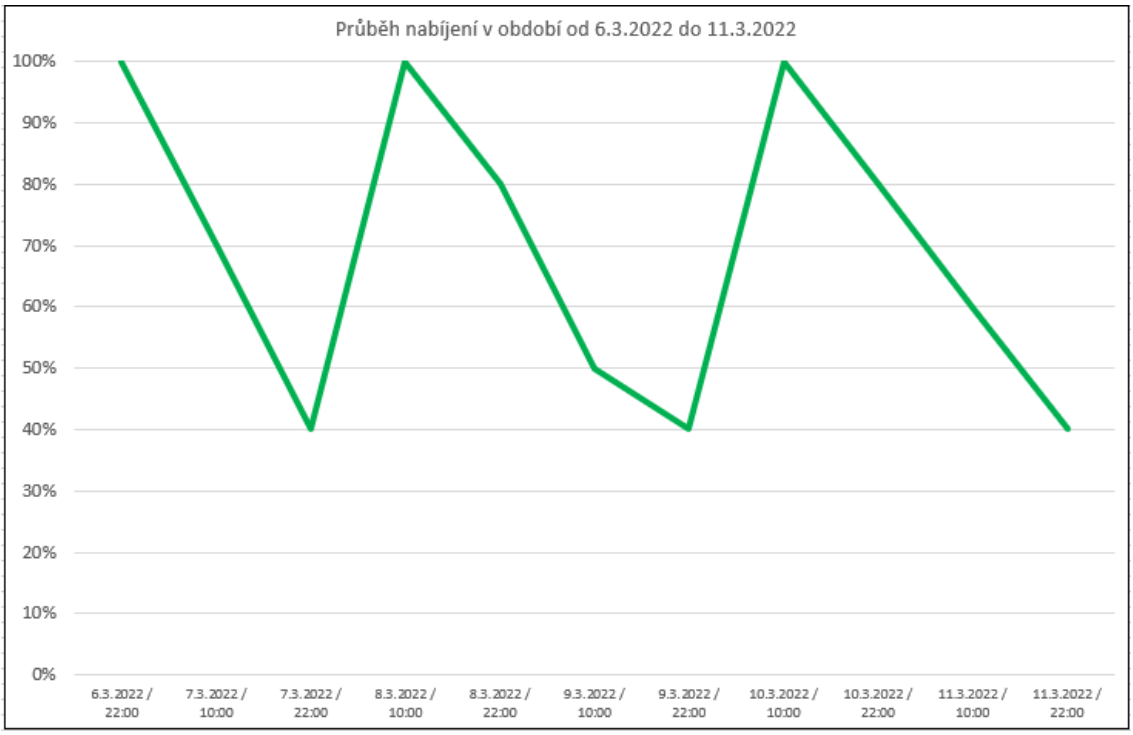
V této kapitole budou vyhodnoceny předešlé analýzy výrobních procesů z pohledu technologií BEV a PHEV, jakožto zvolených technologií e-mobility ve formě vzájemného srovnání a definování hlavních diferencí z pohledu analyzovaných výrobních procesů.

Hlavní pozornost bude věnována vyhodnocení provozního testu elektrického tahače, díky kterému bude možné určit průběh nabíjení během sledovaného období na určeném obslužném úseku a tím vypozorovat případné výkyvy v nabíjení elektrické pohonné jednotky technologie BEV. Dalším faktorem v rámci vyhodnocení bude odhalení eventuálních problematik, které by mohly ovlivnit ostré provozní nasazení elektrického tahače na stejném či podobném úseku.

3.1 Vyhodnocení provozního nasazení technologie BEV

Nejprve je pozornost věnována vyhodnocení provozního nasazení elektrického tahače a tím je možné navázat na závěr 2. kapitoly. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.3.4, informace získané na základě vyplněných formulářů od jednotlivých řidičů byly převedeny do digitální formy a první výchozí datový zdroj reprezentuje Tab. 2.1. Tato data byla získána v období od 6.3.2022 do 11.3.2022 (dále jen v KT10) a ze zmíněné tabulky je možné vypozorovat kapacitní stav baterie v % udávající její postupný pokles v jednotlivých dnech a také počet uskutečněných převozů mezi jednotlivými místy. Během provozu docházelo i k průběžnému nabíjení přímo na hale DC4, kde se nachází dobíjecí stanice. Z tohoto důvodu je možné v Tab. 2.1 pozorovat také hodnoty odpovídající 100 % stavu kapacity baterie.

Pro nejlepší vypozorování nabíjecího průběhu byla zvolena metoda grafického vyjádření dat, které jsou obsaženy v Tab. 2.1 a toto grafické vyjádření detailně znázorňuje Graf 3.1 na následující straně. Z tohoto grafu je patrné, že průběh nabíjení jako takový byl v pozorovaném týdnu celkem pravidelný, což znázorňuje jeho výsledná křivka. Z provozního hlediska tedy v pozorovaném týdnu nedošlo k žádnému závažnějšímu problému.



Graf 3.1 Grafické znázornění průběhu nabíjení v KT10

Zdroj: vlastní zpracování

Je taky zřejmé, že provoz na dané trase by měl být z pohledu kapacity baterie při využití technologie elektrického pohonu dostačující, jelikož kapacita baterie před další možností průběžného nabití u haly DC4 neklesla pod hranici 40 %. Je tedy možné potvrdit, že nastavený dobíjecí režim formou průběžného nabíjení na hale DC4 během vykládek, nakládek a překládek kontejnerů je dostačující pro použití na testovaném úseku v rámci denního nasazení v provozu, kdy elektrický tahač zvládl uskutečnit 34 jízd mezi jednotlivými místy v KT10. Denní maximum daného týdne potom odpovídá přibližně 10 uskutečněným jízdám za jeden den.

Tohoto počtu lze dosáhnout jednoduchým výpočtem, neboť z Tab. 2.1 je známo, že v časovém úseku od 6.3. 22:00 do 7.3. 22:00 (12 hodin) bylo uskutečněno celkem 12 jízd (6 + 6), což odpovídá jedné uskutečněné jízdě každou hodinu. Z tohoto počtu 12 jízd je však potřeba odečíst 2 jízdy uskutečněné v časovém rozmezí od 6.3. 22:00 do 6.3. 24:00, které se ještě nedají započítat do celkového počtu uskutečněných jízd dne 7.3.2022.

$$D_{MAX} = 10$$

Toto denní maximum rovněž odpovídá transportním, respektive obslužným potřebám daného úseku, neboť požadavek na počet zajištěných převozů byl 2 převozy za výrobní směnu, která je stanovena na 8 hodin. Pokud se budou uvažovat 3 výrobní směny, které tím pádem definují denní potřebu, hovoří se v tomto případě o požadavku na 6 zajištěných převozů za jeden den. Vyhodnocená kritéria jsou vyjádřena ve formě jednoduché Tab. 3.1 pro lepší přehled.

Tab. 3.1 Vyhodnocená kritéria za KT10

KT10	
průběh nabíjení	pravidelný
výkyvy / problémy	NE
obslužnost úseku (min. 6 převozů)	ANO
nejnižší úroveň kapacity baterie	40%

Zdroj: vlastní zpracování

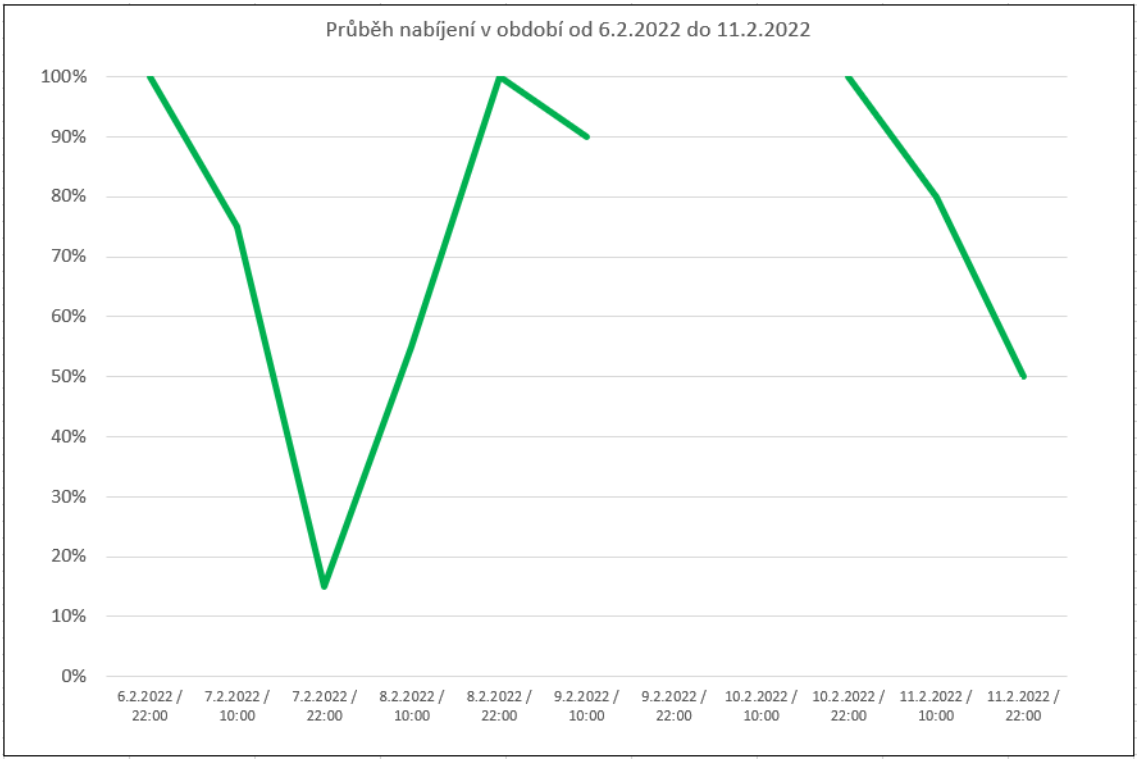
Dalším příkladem hodnoceného období je období od 6.2.2022 do 11.2.2022 (dále jen KT06). Tab. 3.2 níže opět reprezentuje data a informace na základě vyplněného formuláře řidičem za dané období.

Tab. 3.2 Evidence průběhu nabíjení e-tahače v období od 6.2.2022 do 11.2.2022

e-LKW	KT06/2022										
Datum a čas	6.2.2022 / 22:00	7.2.2022 / 10:00	7.2.2022 / 22:00	8.2.2022 / 10:00	8.2.2022 / 22:00	9.2.2022 / 10:00	9.2.2022 / 22:00	10.2.2022 / 10:00	10.2.2022 / 22:00	11.2.2022 / 10:00	11.2.2022 / 22:00
	100%	75%	15%	55%	100%	90%			100%	80%	50%
Počet jízd (U33-DC4)		4	6	2	2	3	Porucha nabíječky	Porucha	6	4	6

Zdroj: vlastní zpracování podle [13]

Již z Tab. 3.2 je zřejmé, že není možné tvrdit, že celkový provoz probíhá bez jakýchkoliv nedostatků a problémů, jelikož již samotná tabulka signalizuje problém ve formě poruchy nabíječky. Následný grafický průběh vyjádřený formou Grafu 3.2 poté znázorňuje a lépe poukazuje na fakt, že v pozorovaném týdnu došlo k nějakému technickému problému nebo poruše na nabíjecím zařízení. Z Grafu je také patrné, že v pozorovaném týdnu došlo k jednodennímu výpadku z důvodu poruchy na nabíjecím zařízení. Zároveň je možné pozorovat, že před tímto výpadkem klesla kapacita baterie před dalším nabitím až k hranici 15 %, což už je poměrně kritická úroveň a mohlo to být zapříčiněné právě již nějakým vznikajícím problémem nabíjecího zařízení.



Graf 3.2 Grafické znázornění průběhu nabíjení v KT06

Zdroj: vlastní zpracování

Průběh nabíjení tedy není možné označit za pravidelný, jelikož pokles kapacity baterie až na kritickou úroveň 15 % může ohrozit plynulost provozního nasazení, protože elektrický tahač by se musel okamžitě odebrat na místo, kde se nachází nabíjecí stanice a neprodleně zahájit nabíjecí proces, bez ohledu na převozní plán. Dne 9.2.2022 ve večerních hodinách navíc došlo k poruše nabíjecí stanice, takže nebylo možné nabíjet elektrický tahač během jeho provozního nasazení a tím pádem došlo k výpadku obsluhy daného úseku až do následujícího dne, kdy byla nabíjecí stanice opět uvedena do provozu. Takovýto výpadek může mít během ostrého provozního nasazení fatální následky.

Jediný kladný výsledek je uspokojení požadavku na stanovený počet jízd mezi jednotlivými místy. Dne 11.2.2022 po zprovoznění nabíjecí stanice se podařilo zajistit stanovených 6 jízd za jeden den. I v rámci tohoto druhého pozorovaného období tedy bylo potvrzeno, že za optimálních podmínek zvládne elektrický tahač z pohledu kapacity baterie zabezpečit požadovaných 6 převozů. Tuto hranici se podařilo překonat i dne 7.2.2022 před zmíněnou poruchou nabíjecí stanice, avšak za cenu poklesu kapacity baterie na kritickou úroveň 15 %, což nelze považovat za úspěšný výsledek, jelikož požadovaný počet jízd musí být splněn s rezervou kapacity baterie alespoň 30 %.

Tuto rezervu je možné brát jako stanovenou minimální hranici, při které lze uskutečněný počet jízd považovat za splněný. V Tab. 3.3 jsou vyjádřena vyhodnocená kritéria za KT06.

Tab. 3.3 Vyhodnocená kritéria za KT06

KT06		
průběh nabíjení	nepravidelný	
výkyvy / problémy	ANO	*porucha nabíjecí stanice*
obslužnost úseku (min. 6 převozů)	ANO	
nejnižší úroveň kapacity baterie	15%	*kritická úroveň*

Zdroj: vlastní zpracování

Následující vybrané hodnocené období reprezentuje období od 2.1.2022 do 7.1.2022 (dále jen KT01). Zdrojová data pro vyjádření grafického průběhu nabíjení v tomto období jsou vyobrazena v Tab. 3.4.

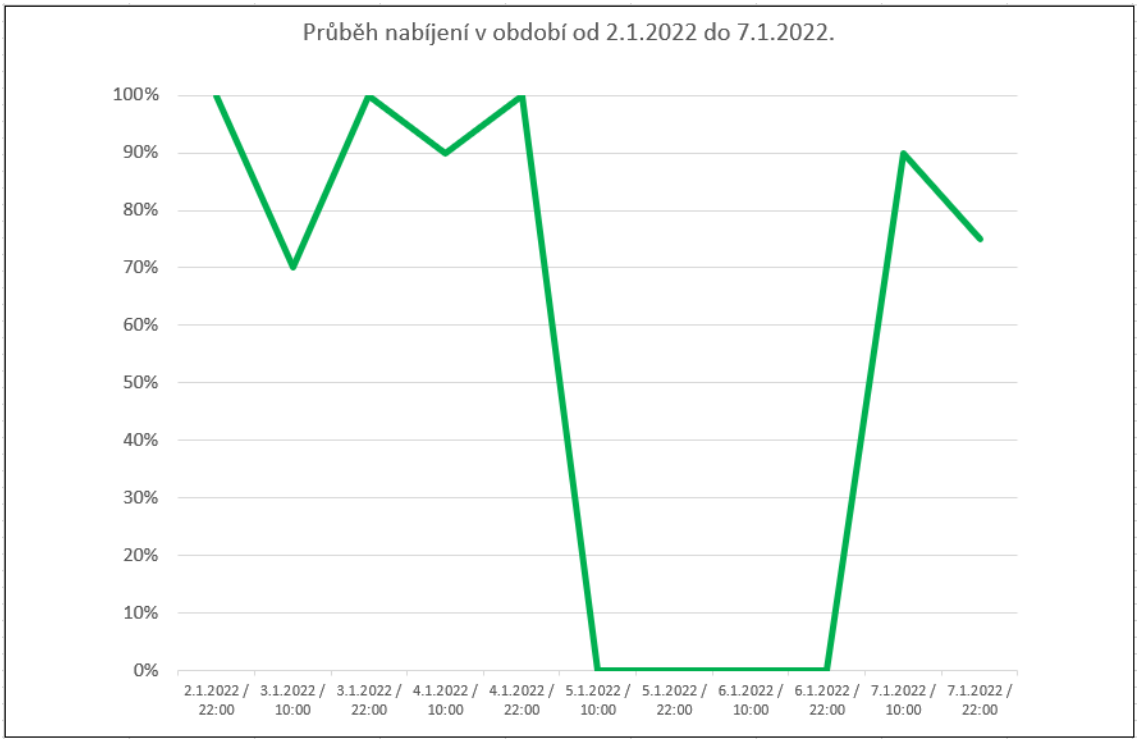
Tab. 3.4 Evidence průběhu nabíjení e-tahače v období od 2.1.2022 do 7.1.2022

e-LKW	KT01/2022										
Datum a čas	2.1.2022 / 22:00	3.1.2022 / 10:00	3.1.2022 / 22:00	4.1.2022 / 10:00	4.1.2022 / 22:00	5.1.2022 / 10:00	5.1.2022 / 22:00	6.1.2022 / 10:00	6.1.2022 / 22:00	07.01.2022 / 10:00	7.1.2022 / 22:00
Stav baterie	100%	70%	100%	90%	100%					90%	75%
Počet jízd (U33-DC4)		3	4	3	Porucha			Odvoz do opravy		2	4

Zdroj: vlastní zpracování podle [13]

I tato evidence na první pohled naznačuje, že během hodnoceného období došlo k nějakému provoznímu problému. Opět se jedná o problém s poruchou na nabíjecím zařízení, tentokrát však přímo na straně elektrického tahače, a ne na straně nabíjecí stanice jako tomu bylo v předchozím případě. Toto je ještě závažnější problém, jelikož už dle Tab. 3.4 je zřejmé, že došlo k mnohem delšímu výpadku na trase v řádu několika dnů a elektrický tahač musel být odvezen do servisu, kde byl podroben rozsáhlejším opravám.

Jednalo se o technický problém na nabíjecím ústrojí tahače, který vyžadoval kompletní výměnu nabíjecí přípojky, aby mohl být tahač opět nasazen do provozu. Detailní průběh nabíjení v KT01 je vyjádřen pomocí Grafu 3.3.



Graf 3.3 Grafické znázornění průběhu nabíjení v KT01

Zdroj: vlastní zpracování

Na Grafu 3.3 je možné pozorovat, že v prvních dnech umožňoval provoz poměrně časté průběžné nabíjení a kapacita stavu baterie se pohybovala v poměrně vysokých hodnotách s poklesem na nejnižší úroveň 70 % kapacity. Celý nabíjecí průběh je však značně ovlivněn zmíněnou poruchou nabíjecího ústrojí tahače, přičemž od 5.1.2022 do 7.1.2022 nemohl být tahač nasazen pro obsluhu stanoveného úseku a došlo ke dvoudennímu výpadku, což představuje obrovský problém z pohledu obsluhy daného úseku a uspokojení provozních potřeb.

Obslužnost úseku není možné v tomto případě vyhodnotit kladně. Je sice možné, že během prvních dní před vznikem zmíněného problému došlo k zajištění požadovaných 6 převozů, nicméně z pohledu uspokojení transportních potřeb na daném úseku během celého hodnoceného období v KT01 nebyla celková stanovená potřeba naplněna z důvodu dvoudenního výpadku na trase. Průběh nabíjení v KT01 tedy představuje další variantu provozního nasazení, během kterého byl zaznamenám problém z pohledu využití pohonné jednotky technologie BEV. Tab. 3.4 znázorňuje vyhodnocená kritéria za KT01.

Tab. 3.5 Vyhodnocená kritéria za KT01

KT01		
průběh nabíjení	nepravidelný	
výkyvy / problémy	ANO	*porucha nabíjecího ústrojí tahače*
obslužnost úseku (min. 6 převozů)	NE	
nejnižší úroveň kapacity baterie	70%	

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě provedeného testu ve formě zkoumání průběhů nabíjení e-tahače v rámci provozního nasazení na definované trase je možné potvrdit, že z pohledu kapacity baterie při využití technologie elektrického pohonu je tato kapacita umožňující dojezd až 80 km na jedno nabití dostačující pro uspokojení transportních potřeb na daném úseku v režimu každodenního použití a s využitím průběžného nabíjení během provozu formou nabíjecí stanice na hale DC4.

Na druhou stranu je jasné, že může docházet k problémům na straně nabíjecí stanice a případně na nabíjecím ústrojí e-tahače. Tyto problémy jsou technického rázu a jedná se o poruchu elektroniky spojenou s použitím této specifické pohonné jednotky technologie BEV, která se může objevovat poměrně často a je nutné zajištění oprav, ať už krátkodobého, či dlouhodobého charakteru, a tudíž dojde k výpadku v transportním plánu. Je tedy nutné věnovat se určitým formám krizových strategií, které je možné použít během ostrého provozního nasazení v případě podobných problémů.

3.2 Srovnání výrobních procesů pro technologie BEV a PHEV

Vyhodnocení zvolených technologií e-mobility proběhne ve formě vzájemného srovnání obou výrobních procesů baterií, které byly podrobeny detailním rozborům v podkapitolách 2.1 a 2.2 a na základě kterých je možné alokovat jednotlivé diference mezi výrobními procesy obou analyzovaných technologií.

Tyto zjištěné diference jsou různého charakteru a mohou se týkat odlišného výrobního postupu, způsobu výroby konkrétního komponentu apod. Na základě zjištěných informací podle rozborů jednotlivých výrobních procesů v podkapitolách 2.1 a 2.2 bylo zjištěno celkem 7 hlavních diferencí mezi výrobními procesy baterií daných technologií e-mobility. Tyto zjištěné diference jsou pro lepší přehled blíže specifikovány v Tab. 3.6.

Tab. 3.6 Diference ve výrobních procesech baterií pro technologie BEV a PHEV

Kategorie	Technologie BEV	Technologie PHEV
chlazení	gapfiller	tepelně odolná fólie
chlazení	chladící deska	hliníkové chladiče
stupeň automatizace výroby	automatizovaná / poloautomat.	poloautomat. / manuální
zaměření automatizovaného st.	většina hlavních operací	přidružené manipulace
obsluha montážních operací	robotické	pracovníci montáže
výrobní technologie bateriové vany	svařování	tlakové lití
spodní kryt	ANO	NE

Zdroj: vlastní zpracování

Těchto 7 hlavních diferencí je dále možné rozdělit do 6 různých kategorií podle jejich charakteru. Tyto kategorie v podstatě reprezentují jednotlivé oblasti daných technologií ať už z pohledu výrobního procesu baterie, či jejího provedení. Vyčleněnými kategoriemi pro určení rozdílových oblastí v rámci srovnání výrobních procesů jsou:

- chlazení,
- stupeň automatizace výroby,
- zaměření automatizovaného stupně,
- obsluha montážních operací,
- výrobní technologie bateriové vany,
- spodní kryt.

Chlazení – tato kategorie definuje rozdíly v provedení chladících systémů v případech obou analyzovaných technologií e-mobility. V případě provedení baterie u technologie BEV se jako hlavní zdroj chlazení využívá chladící deska, která je umístěna pod bateriovými moduly, jak lépe charakterizuje Obr. 2.2. Naopak baterie v případě technologie PHEV využívá jako svůj hlavní zdroj chladícího systému hliníkové chladiče umístěné mezi jednotlivými modulovými čtveřicemi, přičemž toto umístění přibližuje Obr. 2.7.

Diferenci můžeme najít také v případě použití těsnících a tepelně odolných prvků. U baterie technologie BEV se do bateriové vany nanáší gapfiller, který má především těsnící funkci a zároveň plní funkci jakéhosi tepelně odolného prvku, kdežto u baterie technologie PHEV plní tuto funkci speciální tepelně odolná fólie.

Stupeň automatizace výroby – další kategorie charakterizuje stupeň automatizace výroby baterií z pohledu obou analyzovaných technologií. Bylo zjištěno, že v případě technologie BEV se jedná o technologicky pokročilejší výrobní proces, jelikož většina pracovišť a montážních operací je převážně automatizovaná, případně poloautomatizovaná s vedlejším zapojením montážních pracovníků. Pokročilejší stupeň výroby potvrzuje také použití zvláštní technologie Flow-drill screw pro mechanické připojení vrchního krytu. Výrobní proces baterie v případě technologie PHEV má spíše poloautomatizovaný a manuální charakter stupně automatizace výroby. Zde je většina montážních operací vykonávána pracovníky montáže s vedlejším zapojením automatizovaných činností.

Zaměření automatizovaného stupně – souvisí s předešlou kategorií stupně automatizace výroby a konkretizuje použití plně automatizovaného stupně. U technologie BEV je zaměřen na použití ve většině hlavních operací, tzn. napříč hlavními montážními operacemi. Výrobní proces technologie PHEV využívá automatizovaný stupeň zejména pro zajištění přidružených manipulací, jako je např. odebírání komponentů z dodavatelských palet a jejich umístění na montážní linku.

Obsluha montážních operací – navazující kategorií je obsluha montážních operací, která poukazuje především na personální využití z pohledu obou výrobních procesů. Díky automatizovanému a poloautomatizovanému stupni výroby se v rámci výrobního procesu baterií technologie BEV pro obsluhu montážních operací využívají zejména robotická ramena. V případě technologie PHEV se o obsluhu montážních operací starají zejména pracovníci montáže. Z toho vyplývá, že výrobní proces baterií technologie PHEV vyžaduje větší přímé zapojení pracovníků montáže oproti výrobnímu procesu technologie BEV. Jedná se přibližně o 58 pracovníků montáže, jak již bylo zmíněno v podpodkapitole 2.2.1.

Výrobní technologie bateriové vany – zde spočívá rozdíl mezi jednotlivými výrobními procesy v použití technologie samotné výroby bateriové vany, která je základním komponentem celé bateriové konstrukce v případě obou technologií. Obě technologie mají vlastní přistup k výrobě. Bateriová vana, respektive rám baterie je u technologie BEV postupně svařován v jeden celek a je ocelová, což má také vliv na celkovou hmotnost bateriové konstrukce. Technologie PHEV využívá pro výrobu bateriové vany výrobní technologii tlakového lití, přičemž výsledný odlitek již má tvar bateriové vany a jedná se o masivní kus hliníku, který již není dále svařován ani jiným podobným způsobem upravován. Obdobným způsobem se vyrábí např. motorové bloky, jak již bylo zmíněno v podpodkapitole 2.2.2.

Spodní kryt – co se týče spodního krytu bateriové konstrukce, tak zde je rozdíl poměrně jednoznačný. Baterie u technologie PHEV žádný spodní kryt nemá, protože bateriová vana musí být speciálně tvarována kvůli alokaci výfukové soustavy přímo pod baterií. Na spodní straně baterie je pouze komponent, který brání přehřívání baterie od výfuku. Naopak baterie u technologie BEV spodním krytem disponuje, jelikož bateriová konstrukce je přímo integrována do podvozku vozidla.

Deskripce uložení baterií na podvozku osobního automobilu

Co se týče právě umístění baterií na podvozku vozidla, tak se dá z pohledu obou technologií v rámci e-mobility hovořit o zcela odlišných provedeních. Tuto problematiku popisuje zejména podpodkapitola 2.1.1 pojednávající o platformě MEB, která byla vyvinuta speciálně pro potřeby elektromobilů a reprezentuje technologii BEV. V případě technologie PHEV se využívá platforma MQB, která je blíže charakterizována v podkapitole 2.2. Využití těchto dvou druhů platforem v podstatě definuje samotné umístění baterií jakožto pohonných jednotek na podvozku vozidla. U technologie BEV je vysokonapěťová baterie jediným zdrojem energie a tomu je samozřejmě přizpůsobeno její provedení, velikost, váha apod. Platforma MEB je navržena tak, že bateriová konstrukce je přímo integrována do podvozku vozidla a samotná baterie v podstatě tvoří středovou část podvozku vozidla, což potvrzuje Obr. 2.1.

Hybridní technologie PHEV naopak nevyžaduje žádnou speciálně vyvinutou platformu a základem je standardní MQB platforma, která se využívá i u vozidel se standardním spalovacím motorem, protože jak je známo, tak i vozidla s hybridní technologií tímto spalovacím motorem disponují.

Na Obr. 2.5 a 2.6 je možné pozorovat samotné umístění bateriové konstrukce na platformě MQB. Z pohledu konstrukčního provedení je baterie umístěna před zadní nápravou nad hnacím hřídelem. Pod baterií zároveň vede výfukový systém, jehož umístění má také vliv na tvar bateriové vany. U hybridní technologie tedy baterie není přímo integrována do podvozku a netvoří jeho hlavní součást.

Každá z těchto platforem je přizpůsobena konkrétnímu použití daných technologií e-mobility, zejména pak platforma MEB, která byla speciálně vyvinuta pro technologii BEV, jak již bylo několikrát zmíněno. U obou analyzovaných technologií je nicméně možné setkat se s několika výhodami i nevýhodami z pohledu konstrukčního provedení umístění baterií na podvozku vozidla. Tyto výhody a nevýhody jsou zaznamenány v Tab. 3.7 níže a vyplývají z předešlých informací na základě rozborů výrobních procesů baterií a následného srovnání jednotlivých druhů platforem.

Tab. 3.7 Výhody a nevýhody umístění baterií na podvozku vozidla z pohledu BEV a PHEV

	Technologie BEV	**Technologie PHEV**
	MEB platforma	MQB platforma
výhody	celková tuhost podvozku díky přímé integraci baterie - zlepšení jízdních vlastností	možnost využití standardní platformy pro vozidla se spalovacím motorem
nevýhody	vývoj speciální platformy	přizpůsobení tvaru baterie kvůli alokaci výfukové soustavy

Zdroj: vlastní zpracování

V následující kapitole budou definována kritická místa pouze z pohledu provozního nasazení pohonné jednotky technologie BEV na základě vyhodnocení provozního testu elektrického tahače.

4 Kritická místa pro navržené technologie e-mobility

V rámci vyhodnocení v kapitole 3.1 byly uvedeny 3 grafické průběhy nabíjení včetně jejich zdrojových dat. Každé grafické znázornění reprezentuje jeden možný provozní scénář, se kterým jsem se setkal během celkového provozního testu.

KT10 jehož nabíjecí průběh je vyjádřen pomocí Grafu 3.1 představuje ideální provozní scénář, během kterého nedošlo k žádným výkyvům při nabíjení ani jiným problémům a provozní nasazení v tomto období neodhalilo žádné nedostatky. Tuto variantu lze považovat za ideální provozní scénář během případného ostrého provozního nasazení.

KT06 jehož nabíjecí průběh je vyobrazen na Grafu 3.2 naopak poukazuje na problematiku s poruchou nabíjecího zařízení, která zapříčinila výpadek na stanoveném úseku a pro budoucí ostré provozní nasazení může představovat problém z pohledu zajištění požadované obslužnosti. Na základě tohoto vyhodnoceného nabíjecího průběhu v rámci provozního nasazení je tedy možné určit první kritické místo pro použitou technologii BEV, kterým je **poruchovost nabíjecí stanice.** Obecně lze toho kritické místo z pohledu e-mobility charakterizovat jako problematiku nabíjecích stanic související s aktuálně stále ještě nedostatečně rozšířenou sítí nabíjecích stanic z pohledu infrastruktury.

Nabíjecí průběh KT01, který je vyjádřen pomocí Grafu 3.3 indikuje ještě závažnější problém a rovněž představuje variantu s určitým druhem poruchy, tentokrát však na straně samotného elektrického tahače, nikoliv na straně nabíjecí stanice. Tato varianta je příkladem další možné hrozby, která může negativně ovlivnit obsluhu daného úseku a v případě podobných poruch nabíjecího ústrojí elektrického tahače zapříčinit ještě větší výpadek v dopravní obslužnosti na stanovené trase. Druhým kritickým místem v rámci použití dané technologie může být z provozního hlediska tedy samotné **nabíjecí ústrojí vozidla**. Řeč je zde o přenosu elektrické energie a samotný způsob nabíjení je závislý na bezchybném stavu nabíjecího ústrojí vozidla a nabíjecí stanice.

Na základě provedeného vyhodnocení provozního nasazení pohonné jednotky technologie BEV ve formě provozního testu elektrického tahače byla zjištěna tato dvě kritická místa, která by z provozního hlediska mohla negativně ovlivnit obslužnost daného úseku a je potřeba se na ně zaměřit:

- poruchovost nabíjecí stanice,
- nabíjecí ústrojí vozidla.

Zjištěná kritická místa během provozního testu elektrického tahače ve výsledku potvrzují obecné hypotézy o problematikách e-mobility v současné době. Jednou z problematik je například nedostatečně rozšířená síť nabíjecích stanic a zjištěná kritická místa s problematikou nabíjecích stanic zajisté souvisí, neboť nejde pouze o rozšířenost sítě, ale také o zajištění jejich správné funkčnosti, přičemž technologie e-mobility může být na podobné problémy s nabíjecími stanicemi poměrně náchylná.

U nákladní dopravy pak případný problém s nabíjecí stanicí, nebo s nabíjecím ústrojím na straně tahače může představovat daleko větší problém než v případě osobní dopravy. Nákladní silniční doprava je pochopitelně stále více soustředěna na dodržování nejrůznějších termínových plánů a dodacích termínů, takže náhle vzniklý problém ať už na nabíjecím zařízení elektrického tahače, či porucha využívané nabíjecí stanice může představovat fatální narušení termínového plánu a tím ohrozit splnění požadavků zákazníka.

5 Návrhy a jejich zhodnocení

Je známým faktem, že pro ukončení prodeje automobilů se spalovacími motory v rámci EU je navržen rok 2035. Tento rok nás však nemusí příliš děsit, jelikož dosavadní vývoj elektromobility z pohledu osobních automobilů ukazuje, jak rychle se zlepšují parametry dojezdu, kapacita baterie, či komfort dobíjecí infrastruktury a lze předpokládat, že v roce 2030 mohou být technologie natolik pokročilé, že přechod na kompletní elektromobilitu bude vlastně svým způsobem přirozený. V současné době je však nutné připravit vhodné podmínky pro nástup elektromobility, tedy například rozšiřovat dobíjecí infrastrukturu, navyšovat podíl obnovitelných zdrojů energie, či posilovat samotný rozvod elektrické energie po síti.

Tyto zmíněné faktory je jistě možné považovat v rámci obecného vnímání za příklady hlavních kritických míst technologie e-mobility v rámci dosavadního vývoje. Pro potřeby této práce je však nezbytné určit konkrétní kritická místa takovým způsobem, aby je bylo možné podložit konkrétními výsledky na základě zvolené metodiky. Zjištěná kritická místa pro navržené technologie e-mobility tedy vychází z provedeného provozního testu elektrického tahače na definovaném úseku v rámci provozního nasazení technologie BEV. Následné návrhy a jejich zhodnocení, kterým je věnována pozornost v následujícím textu se tedy soustředí na to, jakým způsobem je možné zabezpečit požadovanou obslužnost na definovaném úseku v případě vzniku obdobných problémů, které představují kritická místa definovaná v kapitole 4.

Provozní nasazení technologie BEV jsem se rozhodl analyzovat z pohledu nákladních vozidel, neboť z pohledu silniční nákladní dopravy lze lépe konkretizovat sledované parametry a zaměřit se právě například na konkrétní úsek, na kterém se nákladní doprava pravidelně realizuje a pozorovat třeba právě výkyvy v nabíjení, nebo možné problematiky díky kterým by mohlo dojít k ohrožení provozu na dané trase. Pokud by se jednalo o provozní test osobního automobilu, tak by zjištěná data pravděpodobně potvrzovala hlavně obecně vnímané problematiky v rámci e-mobility a bylo by komplikované správně konkretizovat sledované faktory. Navíc jsem bohužel neměl možnost provedení dlouhodobého provozního testu osobního automobilu s technologií pohonu BEV či PHEV, naopak využití elektrického tahače bylo optimální volbou vzhledem k aktuálnímu použití těchto tahačů ve společnosti Škoda Auto.

5.1 Návrhy pro zabezpečení obslužnosti úseku

Ve 4. kapitole byla definována 2 hlavní kritická místa, která mají v případě jejich vzniku velmi negativní vliv na zajištění potřebné obslužnosti stanoveného úseku během ostrého provozního nasazení elektrického tahače. Tato kritická místa byla definována na základě dvou provozních scénářů, ke kterým může dojít během provozního nasazení s využitím technologie BEV a které odhalily dva konkrétní problémy, kterým je potřeba věnovat pozornost a následné návrhy se tedy budou vztahovat právě k zabezpečení zmíněného úseku v případě vzniku těchto zjištěných problematik. Níže zmíněné návrhy pro jednotlivá kritická místa by mohla být případným řešením, jak předejít, a především zamezit výpadku v obslužnosti na daném úseku, jelikož zajištění požadovaného provozu na dané trase je tím nejdůležitějším faktorem.

Navrhovaná řešení:

- zajištění alternativního nabíjecího zdroje,
- vyčlenění náhradního tahače se spalovacím motorem.

5.1.1 Alternativní nabíjecí zdroj

Zajištění alternativního nabíjecího zdroje by mohlo představovat řešení, jak zajistit plynulou obslužnost úseku i v případě poruchy původní nabíjecí stanice, která slouží jednak k průběžnému nabíjení tahače během provozu, ale také k nabíjení o víkendech, kdy tahač není nasazen v provozu. Původní nabíjecí stanice se nachází přímo u haly DC4 a toto umístění má svůj strategický důvod. Nabíjecí stanice musí být samozřejmě umístěna v blízkosti obsluhovaného úseku ideálně přímo na místě, kde probíhá překládka kontejnerů, aby byla zajištěna možnost efektivního průběžného nabíjení při provozu, což umístění u haly DC4 umožňuje. Elektrický tahač má pak možnost průběžně nabíjet např. během procesů vykládky a nakládky.

Konkrétní alternativu by mohla představovat jedna z nabíjecích stanic, které při svém provozním nasazení využívají zbylé dva elektrické tahače, které má společnost Škoda Auto pro použití v rámci vnitropodnikové dopravy k dispozici. Tyto dvě nabíjecí stanice se nacházejí v areálu firmy v blízkosti 13. brány, kterou třetí elektrický tahač využívá pro výjezd z areálu firmy a tím pádem spadá do trasy obsluhovaného úseku. Zároveň by nebylo nutné budovat sekundární zdroj v podobě další nabíjecí stanice u haly DC4 a tím vynakládat další logistické náklady.

5.1.2 Náhradní tahač se spalovacím motorem

Vyčlenění náhradního tahače se spalovacím motorem souvisí s kritickým místem, kdy byla odhalena možnost poruchy přímo na nabíjecím ústrojí testovaného elektrického tahače. Bohužel se jedná o problém, který může zapříčinit dlouhodobější výpadek vozidla a je tedy potřeba zajistit takové řešení, které umožní okamžité nahrazení elektrického tahače po dobu oprav.

Bohužel není možné nasadit na testovaný úsek dočasně jeden ze dvou zbývajících elektrických tahačů, protože by tím byla znemožněna obsluha úseků, na které jsou tyto dva elektrické tahače pochopitelně vyčleněny v rámci vnitropodnikové dopravy. Tyto dva elektrické tahače jsou navíc technologicky uzpůsobeny pro převoz standardních návěsů a jsou v takzvaném „lowdeck“ provedení, tedy oproti třetímu elektrickému tahači je jejich podvozek nižší a tím pádem tedy i vzdálenost mezi podvozkem a vozovkou. Jejich nasazení pro převoz kontejnerů by tedy vyžadovalo rozsáhlé úpravy technického charakteru, aby bylo možné připojit tyto tahače ke kontejnerovému návěsu. Trvání těchto úprav se však pohybuje v řádech několika měsíců, zároveň vyžadují vynaložení dalších logistických nákladů a celý koncept je značně neefektivní, jelikož by se jednalo pouze o variantu dočasného nasazení. Upravený tahač by se musel posléze opět začlenit zpět do nasazení v rámci vnitropodnikové dopravy a bylo by nutné předělat ho zpět do „lowdeck“ provedení, což potvrzuje že se nejedná o efektivní řešení.

Jedinou volbou je tedy vyčlenění tahače se standardním dieselovým pohonem, který by se v případě problému mohl okamžitě nasadit na daný úsek jako dočasná varianta, aby nebyla narušena plynulost obslužnosti zmíněného úseku a nedošlo k provoznímu výpadku na dané trase. V následující podkapitole budou navrhovaná řešení vyhodnocena pomocí SWOT analýz.

5.2 Vyhodnocení návrhů

Navrhovaná řešení by měla představovat formy nouzových strategií, díky kterým bude možné zajistit požadovanou obslužnost testovaného úseku i v případě vzniklých problémů v souvislosti se zjištěnými kritickými místy v rámci použité technologie BEV. Tyto návrhy budou nyní podrobeny SWOT analýzám, na základě kterých bude možné definovat pozitivní a negativní aspekty zmíněných návrhů a vyhodnotit, zda jsou možným řešením a čemu je potřeba věnovat pozornost zejména z pohledu negativních aspektů.

5.2.1 SWOT analýza 1

První SWOT analýza je zaměřena na zajištění alternativního nabíjecího zdroje v podobě nabíjecí stanice, která je určena pro nabíjení zbývajících elektrických tahačů, které jsou nasazeny ve vnitrozávodové logistice. Tato SWOT analýza je vyjádřena ve formě Tab. 5.1. níže.

Tab. 5.1 SWOT analýza 1

SWOT analýza Alternativní nabíjecí zdroj - nabíjecí stanice u 13. brány	
silné stránky (strenghts)	**slabé stránky** (weaknesses)
využití již vybudované nabíjecí stanice úspora nákladů za další nabíjecí stanici	umístění stanice mimo hlavní trasu
příležitosti (opportunities)	**hrozby** (threats)
zajištění plynulé oblužnosti úseku	ohrožení nabíjecího harmonogramu ostatních e-tahačů

Zdroj: vlastní zpracování

Pozitivní aspekty tohoto řešení vyplývají ze silných stránek a příležitostí, na které tato SWOT analýza poukazuje. Dočasné využití jedné z nabíjecích stanic, které jsou určeny pro nabíjení zbývajících dvou e-tahačů eliminuje potřebu vybudování nové nabíjecí stanice v blízkosti haly DC4 jakožto sekundární nabíjecí zdroj. S tímto je zároveň spojená úspora případných vícenákladů právě za zřízení této sekundární nabíjecí stanice. Jako příležitost se zde poté jeví zajištění požadované plynulé obslužnosti daného úseku, aniž by došlo k jakémukoliv transportnímu výpadku na trase.

SWOT analýza zároveň odhaluje pár negativních aspektů, kterým je potřeba věnovat pozornost. Slabou stránkou je ku příkladu samotné umístění této náhradní nabíjecí stanice, neboť se nenachází v blízkosti haly DC4, ale přímo v areálu Škody v blízkosti 13. brány. Bude tedy potřeba promyslet strategii průběžného nabíjení, jelikož během využití tohoto alternativního nabíjecího zdroje nebude možné průběžně nabíjet e-tahač během překládek kontejnerů, jako je tomu při využití primárního zdroje. Zároveň může dojít k ohrožení nabíjecího harmonogramu zbývajících e-tahačů, protože nyní bude potřeba, aby dvě nabíjecí stanice obsloužily tři e-tahače.

Je tedy zapotřebí stanovit časový plán nabíjení pro všechny tři e-tahače a pro každý z nich určit časový úsek, během kterého se jednotlivá vozidla budou moci v rámci dne nabíjet tak, aby nedošlo k situaci, že bude potřeba dobíjet všechny tři elektrické tahače ve stejný čas. U testovaného tahače je z pohledu určení časového úseku zapotřebí vzít v úvahu také potřebu průběžného nabíjení během provozu a dle stanoveného časového úseku rovněž uzpůsobit jednotlivé převozy na stanovené trase.

5.2.2 SWOT analýza 2

Ve druhé SWOT analýze jsou definovány jednotlivé aspekty vyčlenění náhradního tahače se spalovacím motorem a je vyjádřena pomocí Tab. 5.2 níže.

Tab. 5.2 SWOT analýza 2

SWOT analýza Náhradní tahač se spalovacím motorem	
silné stránky (strenghts)	**slabé stránky** (weaknesses)
možnost okamžitého nasazení	neekologičnost
příležitosti (opportunities)	**hrozby** (threats)
pokrytí provozních potřeb úseku	potřeba tahače na jiném místě

Zdroj: vlastní zpracování

Mezi pozitivní aspekty se nepochybně řadí v podobě silné stránky možnost okamžitého nasazení. Toto je jeden z klíčových aspektů, neboť právě možnost rychlého zabezpečení úseku v případě výpadku elektrického tahače je z pohledu obslužnosti klíčovým a rozhodujícím faktorem. Příležitost pak spočívá v samotném pokrytí provozních potřeb úseku, jelikož nasazení náhradního dieselového tahače předpokládá plynulou návaznost na transportní plán původního elektrického tahače.

Za negativní aspekt se dá považovat určitá neekologičnost tohoto řešení. Ekologie a produkce nulových emisí jsou jistě hlavní důvody, proč byly elektrické tahače do provozního nasazení začleněny. V tomto případě je však potřeba si uvědomit, že se jedná o určitou formu nouzové strategie, jejíž primárním cílem je zabezpečit plynulou obsluhu na dané trase.

Z tohoto pohledu je nasazení dieselové varianty v podstatě jediným možným řešením. Jako hrozba se potencionálně jeví možný vznik potřeby tahače na jiném místě, která může vzniknout v momentě, kdy bude vyčleněný tahač se spalovacím motorem nasazen v rámci nouzové strategie. Potencionální místa je tedy potřeba včas alokovat a případně upravit provozní plány na daných místech tak, aby dočasný přesun dieselového tahače neměl vliv na obslužnost jiných míst v rámci vnitropodnikové dopravy.

Závěr

Jednotlivé analýzy výrobních procesů pohonných jednotek a jejich následná vyhodnocení úspěšně alokovala hlavní diference nejen v konstrukčním provedení pohonných jednotek analyzovaných technologií BEV a PHEV a zároveň umožnily deskripci jejich umístění na podvozku vozidla, což je dáno zejména použitím rozdílných typů platforem MEB a MQB. V následné analýze provozního nasazení pohonné jednotky technologie BEV, která byla zaměřena na nákladní dopravu byla alokována dvě hlavní kritická místa, která zároveň potvrzují všeobecně vnímané hypotézy o nedostatcích technologie e-mobility, protože zjištěná kritická místa souvisí např. s problematikou nabíjecích stanic. Sice ne přímo s nedostatečně rozšířenou sítí, ale s poruchovostí nabíjecího zdroje jako takového. Navržená řešení by poté měla představovat příklady nouzových strategií, jejichž realizace by měla zabránit potencionálnímu výpadku z pohledu obslužnosti na úsecích podobných úseku, který byl určen pro potřeby této diplomové práce. Provedený provozní test poté zejména poukazuje na fakt, že dalším úzkým místem této technologie je obecně technická náročnost elektrické pohonné jednotky, jelikož obě kritická místa souvisí s určitým druhem poruchy ať už a straně nabíjecí stanice, tak na straně testovaného elektrického tahače. Oproti tahačům se spalovacím motorem je provedení pohonné jednotky elektrického tahače složitější a může být náchylnější k poruchovosti a s tímto faktorem je potřeba v rámci provozního nasazení počítat.

Analýzy výrobních procesů pohonných jednotek dílčích technologií e-mobility mimo jiné prokázaly, jaký postoj mají automobilky v současné době k technologii e-mobility, tedy minimálně jak je tomu v případě společnosti Škoda Auto a.s. Pokud se zaměřím konkrétně na technologii BEV a výrobní proces baterie pro tuto technologii, tak zjištěné informace pouze potvrzují fakt, že minimálně Škoda Auto věnuje zvýšenou pozornost tomu, aby v rámci současného i budoucího vývoje technologie e-mobility podpořila tuto snahu co nejvíce a e-mobilitu nestaví pouze do pozice jakéhosi vedlejšího zaměření jen proto, že Evropská unie klade jisté požadavky na to, jakou cestou by se měl automobilový průmysl do budoucna udávat a už jen analyzovaný výrobní proces baterií jakožto pohonné jednotky toto tvrzení potvrzuje.

Například fakt, že většina montážních procesů je plně automatizovaná a že do výrobního procesu jsou zapojeny zvláštní technologie jako je technologie flow-drill srew poukazuje na to, jak velké investice musela společnost Škoda vynaložit na vybudování celé montážní linky, která disponuje těmi nejmodernějšími technologiemi. Dalším důkazem je vývoj speciální platformy MEB, která je určena speciálně pro použití u elektromobilů napříč celým koncernem Volkswagen a v podobném duchu přistupuje k elektromobilitě jistě většina předních automobilových výrobců.

Je tedy možné zmínit, že z pohledu současného i budoucího vývoje vynakládají jednotlivé automobilky maximální úsilí na to, aby byl postupný přechod k čisté e-mobilitě co nejpřijatelnější. Ano e-mobilita jistě je z pohledu osobní i nákladní dopravy technologií budoucnosti, ale dle mého názoru postrádá smysl tvrdit, že je to ta správná cesta k efektivnímu snižování podílu emisí CO_2. Minimálně tedy z pohledu celosvětového měřítka, kde podíl dopravy na celkovém vyprodukovaném množství těchto emisí je méně než 1 %. K tomu je přehlížen fakt, že veškerá snaha o využívání „bezemisních vozidel“ přijde vniveč když si uvědomíme, že výroba elektrické energie právě pro tyto vozidla v tepelných elektrárnách produkuje větší množství emisí CO_2, než jaké by mohlo být ušetřeno využíváním elektromobilů.

Seznam zdrojů

[1] ŠKODA STORYBOARD. *E-mobilita* [online]. Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/cs/category/e-mobilita-cs/

[2] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.

[3] KOLÁŘ, P., MERVART, M., NOVÁK, R., RATHOUSKÝ, B. *City logistika*. Praha: Wolters Kluwer ČR, 2021. ISBN 978-80-7676-213-8

[4] SPIEGEL MOBILITÄT. *Zu teuer, zu unzuverlässig, zu aufwendig* [online]. Dostupné z: https://www.spiegel.de/auto/aktuell/elektrobusse-in-deutschland-zu-teuer-zu-unzuverlaessig-zu-aufwendig-a-1138185.html?xing_share=news

[5] SDĚLENÍ EVROPSKÉ KOMISE. *Zelená dohoda pro Evropu* [online]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN

[6] Dimenze udržitelnosti. *Logistic NEWS*. MD Logistika, 2020, 8 – 10.

[7] DVOŘÁK, Jan. *MEB HVBatterie 82kWh.* Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO, 2020.

[8] STÖGER AUTOMATON. *Flow-drilled screw connections* [online]. Dostupné z: https://www.stoeger.com/en/automatic-screwdrivers-for-flowdrilling-screws.html

[9] VOLKSWAGEN AG. *Self-study Programme 550 The Passat GTE*. Wolfsburg: VOLKSWAGEN AG, 2015.

[10] WEBER, Carlos. *Product description manual PDM 3Q0 900.* Wolfsburg: VOLKSWAGEN AG, 2022.

[11] ELEKTRICKÉ VOZY. *Škoda Auto začíná testovat elektrické tahače* [online]. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/skoda-auto-zacina-testovat-elektricke-tahace-konkurenci-tesly-semi-ale-necekejte

[12] HLOŽEK, Jan. *E-LKW*. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO, 2022.

[13] DVORSKÝ, Ladislav. *Evidenční formulář E-LKW*. Mladá Boleslav: THL LUNA, 2022.

Seznam grafických objektů

Obrázky

Obr. 1.1 Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily 13
Obr. 1.2 Elektromotor magnet-motor 14
Obr. 1.3 Schéma palivového článku 19
Obr. 1.4 Pohon na palivové články 20
Obr. 1.5 Volkswagen Golf s palivovými články 21
Obr. 1.6 Uspořádání hybridních pohonů (Bosch) 27
Obr. 1.7 Hybridní elektro-autobus Mercedes-Benz 33
Obr. 1.8 Agregát autobusu Neoplan A 8008 DES 34
Obr. 1.9 Zelená dohoda pro Evropu 36
Obr. 1.10 Rozloha krajů v ČR: Praha 496 $km2$, Pardubický kraj 4519 $km2$ 41
Obr. 2.1 Platforma MEB pro elektromobily koncernu VW 48
Obr. 2.2 Rozložení bateriové konstrukce platformy MEB 49
Obr. 2.3 MEB baterie (82 kWh – 12 modulů) 50
Obr. 2.4 Princip technologie Flow-drill screw 53
Obr. 2.5 Platforma MQB s hybridním provedením pohonu modelu VW Passat GTE 54
Obr. 2.6 Platforma MQB s hybridním provedením pohonu modelu Škoda Superb iV 55
Obr. 2.7 Rozložení bateriové konstrukce pohonné jednotky pro technologii PHEV 56
Obr. 2.8 Umístění modulů do bateriové vany s pozičním umístěním šroubů 58
Obr. 2.9 Montážní linka pro baterie technologie PHEV 61
Obr. 2.10 Elektrické tahače značky Framo 62
Obr. 2.11 Elektrický tahač uzpůsobený pro převoz kontejnerů 63
Obr. 2.12 Trasa testovaného úseku 64
Obr. 2.13 Evidenční formulář vyplněný řidičem za období 6.3.2022 - 11.3.2022 65

Schémata

Schéma 1.1 Hybridní pohon (spalovací motor – setrvačník) 30
Schéma 1.2 Uspořádání hybridní soustavy Toyoty Prius a její funkce 31
Schéma 2.1 Chladící okruh pro vysokonapěťové komponenty 59

Tabulky

Tab. 1.1 Příklad běžných dojezdů elektromobilem VW Golf první generace 43
Tab. 2.1 Evidence průběhu nabíjení e-tahače v období od 6.3.2022 do 11.3.2022 66
Tab. 3.1 Vyhodnocená kritéria za KT10 69
Tab. 3.2 Evidence průběhu nabíjení e-tahače v období od 6.2.2022 do 11.2.2022 69
Tab. 3.3 Vyhodnocená kritéria za KT06 71
Tab. 3.4 Evidence průběhu nabíjení e-tahače v období od 2.1.2022 do 7.1.2022 71
Tab. 3.5 Vyhodnocená kritéria za KT01 73
Tab. 3.6 Diference ve výrobních procesech baterií pro technologie BEV a PHEV 74
Tab. 3.7 Výhody a nevýhody umístění baterií na podvozku vozidla z pohledu BEV a PHEV 77
Tab. 5.1 SWOT analýza 1 83
Tab. 5.2 SWOT analýza 2 84

Grafy

Graf 1.1 Vývoj emisí v Evropě 38
Graf 3.1 Grafické znázornění průběhu nabíjení v KT10 68
Graf 3.2 Grafické znázornění průběhu nabíjení v KT06 70
Graf 3.3 Grafické znázornění průběhu nabíjení v KT01 72

Seznam zkratek

BEV – Battery Electric Vehicle

CNG – zemní plyn (metan)

ERÚ – Energetický regulační úřad

EU – Evropská Unie

FCEV – Fuell-cell Electric Vehicle

HEV – Hybrid Electric Vehicle

ICE – Internal Combustion Engine

KBA – Spolkový úřad evidence motorových vozidel

kWh – kilowatthodina

LNG – kapalný zemní plyn

MEB – modular electric drive kit

MHD – městská hromadná doprava

MW – megawatt

MWh – megawatthodina

PHEV – Plugin Hybrid Electric Vehicle

SUV – sport utility vehicle

THS – Toyota Hybrid Systém

TJ – terajoule

TTW – tank to wheel

TWh – terawatthodina

VDV – Svaz německých dopravců

WTT – well to tank

WTW – well to wheel

Autor DP	Bc. Ondřej Ráž
Název DP	Elektromobilita automobilů v kontextu Green Deal
Studijní obor	Logistika
Rok obhajoby DP	2022
Počet stran	79
Počet příloh	0
Vedoucí BP	prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D., DBA
Anotace	Na základě teoretických znalostí o elektrických pohonech osobních automobilů zhodnotit varianty bateriových a vodíkových, nebo plug-in hybrid systémů pohonu. V Diplomové práci budou uvedeny dvě různé technologie pro e-mobilitu s deskripcí jejich uložení na podvozku osobního automobilu. Zhodnocení porovná výhody a nevýhody konstrukčního řešení a systémů pro nabíjení akumulátorů.
Klíčová slova	Automotive, Škoda Auto a.s., e-mobilita, pohonné systémy
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	Ondřej Ráž