



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

HYBRIDNÍ A ELEKTRICKÉ POHONNÉ AGREGÁTY NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ

HYBRID AND ELECTRIC POWERTRAINS OF THE TRUCKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Mrkva

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Prokop, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Filip Mrkva**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Prokop, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

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

Hybridní a elektrické pohonné agregáty nákladních automobilů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na shromáždění informací v oblasti užití hybridních a elektrických pohonů v konstrukci nákladních vozidel. Důraz bude kladen na rozbor koncepčního a konstrukčního uspořádání pohonného traktu s ohledem na tok krouticího momentu od pohonných jednotek ke kolům.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování rešerše v oblasti pohonných agregátů nákladních automobilů se zohledněním konstrukčních variant a funkcionality.

Rozdělení jednotlivých variant dle zvolených kritérií.

Zhodnocení jednotlivých variant z hlediska emisí a ekonomičnosti provozu.

Seznam doporučené literatury:

EHSANI, Mehرداد, Yimin GAO, Stefano LONGO a Kambiz EBRAHIMI. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. Third edition. Boca Raton: CRC Press, [2018]. ISBN 978-1-4987-6177-2.

NAUNHEIMER, Harald, Bernd BERTSCHE, Joachim RYBORZ, Wolfgang NOVAK. Automotive Transmissions. Springer Verlag, 1999, ISBN 978-3-642-16213-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá současnými trendy v konstrukci elektrifikovaných pohonných řetězců nákladních automobilů. Jednotlivé koncepce jsou popsány a rozděleny dle uspořádání a stupně elektrifikace pohonu. Na základě aktuálních informací z webových stránek výrobců jsou v práci rozebrány parametry v provozu využívaných komponentů alternativních hnacích ústrojí. Ty jsou následně zhodnoceny z hlediska využitelnosti v provozu, nákladů na provoz a ekologičnosti. Diskutovány jsou výhody a nevýhody hybridních, bateriových a vodíkových nákladních vozidel oproti konvenčním vozům se spalovacími agregáty. V potaz jsou přitom brány reálné aplikace automobilu. Dále je zmapován směr, kterým se probírané odvětví automobilového průmyslu bude dále vyvíjet, a s tím spojené nejvýznamnější překážky a výzvy. V rámci práce byly jako nejperspektivnější koncepce vyhodnoceny bateriové vozy s integrovanou elektrickou nápravou pro relativní jednoduchost konstrukce pohonu, snadné nabíjení a pro mnohé aplikace dostatečný dojezd. Dále bylo poukázáno na klíčové nedostatky v rozvíjejícím se elektromobilním průmyslu, jimiž jsou zejména nízká energetická hustota bateriových a vodíkových článků ve srovnání se spalovacími agregáty, společně s energeticky náročnou produkcí a recyklací vysokonapěťových baterií.

KLÍČOVÁ SLOVA

pohonný řetězec, hybridní pohon, trakční baterie, elektrický motor/generátor, lokální emise

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with current trends in construction of electrified powertrains of trucks. Individual concepts are described and divided according to the arrangement and degree of electrification of the drive. Based on the most actual information from the manufacturers' websites, the parameters of the components used in real vehicles equipped with alternative powertrains are analysed. Real powertrains are evaluated in terms of usability in operation, operating costs, and environmental friendliness. Advantages and disadvantages of hybrid, battery and hydrogen trucks compared to conventional vehicles with internal combustion engines are discussed. Furthermore, the direction in which the discussed branch of the automotive industry will continue to develop is mapped, as well as the most significant obstacles and challenges associated with it. As part of the work, battery cars with an integrated electric axle were evaluated as the most promising for a relatively simple drive design, easy charging, and sufficient range for many applications. Key problems in the developing electric vehicle industry were also pointed out, which are mainly the low energy density of battery and hydrogen cells together with the energy-demanding production of batteries.

KEYWORDS

powertrain, hybrid drive, traction battery, electric motor/generator, local emissions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MRKVA, Filip. *Hybridní a elektrické pohonné agregáty nákladních automobilů*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148762>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Aleš Prokop.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Prokopa, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 25. května 2023

.....

Filip Mrkva

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu této bakalářské práce, Ing. Aleši Prokopovi, Ph.D., za odborné vedení a cenné rady při psaní práce. Současně děkuji svým rodičům za zajištění podmínek vhodných ke studiu.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Komponenty k elektrifikaci nákladních vozů.....	12
1.1 Motor s permanentními magnety	12
1.2 Vysokonapěťová baterie	12
1.3 Tranzistor (IGBT)	13
1.4 Měniče	13
1.4.1 DC-DC měnič (converter)	14
1.4.2 Střídač (inverter).....	15
1.5 Elektrický pomocný pohon.....	15
1.6 Příklady reálných komponentů	16
1.6.1 Dana.....	16
1.6.2 Cascadia.....	20
1.6.3 ConMet.....	20
1.7 Integrovaná elektrická náprava	21
1.7.1 Meritor	21
1.7.2 Příklad pohonného řetězce.....	21
1.7.3 FPT Industrial	22
1.8 Další vybraní výrobci komponentů k elektrifikaci vozidel.....	23
1.8.1 Garrett.....	23
1.8.2 Allison transmission	23
2 Mikro-hybridní automobily (MHD)	24
2.1 Současná řešení.....	26
2.1.1 Renault UrbanLab 2.....	26
2.1.2 Sono Motors	27
3 Hybridní automobily (HEV).....	28
3.1 Sériový hybrid.....	28
3.2 Paralelní hybrid.....	29
3.2.1 P0.....	31
3.2.2 P1	31
3.2.3 P2.....	32
3.2.4 P2.5	32
3.2.5 P3.....	33
3.2.6 P4/Through-the-road hybrid (TTR).....	33
3.2.7 P5.....	34
3.3 Smíšený hybrid	34
3.4 Power-split hybrid.....	35
3.5 Full-hybrid (HEV)	36
3.5.1 Scania	36
3.5.2 DAF	37
3.6 Plug-in-hybrid (PHEV).....	38
3.6.1 Systém napájení CCS	38
3.6.2 Současná produkční vozidla	39
3.6.3 Projektové vozidlo DAF XF Ecochamps	40
3.7 Hybridizace stávající nákladní dopravy.....	42

3.7.1	Dodatečná elektrifikace ojetých vozů	42
3.7.2	Využití vnějšího zdroje elektrické energie.....	42
3.8	Budoucnost.....	42
4	Elektrické automobily (EV)	44
4.1	Bateriové elektrické vozy (BEV)	44
4.1.1	Současná vozidla s pohonným řetězcem bez IEN	44
4.1.2	Současná vozidla s pohonným řetězcem s IEN	46
4.1.3	Další současná bev	48
4.1.4	Budoucnost.....	49
4.2	Elektrické vozy s vodíkovými články (FCEV)	51
4.2.1	Současná produkční vozidla.....	52
4.2.2	Další technologie.....	54
4.2.3	Budoucnost.....	54
5	Vlastní zhodnocení	56
	Závěr	60
	Použité informační zdroje	61
	Seznam použitých zkratk a symbolů	72

ÚVOD

Kvůli klimatickým změnám a rostoucímu zájmu o kvalitu životního prostředí se zpřísňují požadavky na ekologičnost silničního provozu. Emisní normy a zákony podněcují vývoj dieselových agregátů s nízkou spotřebou paliva a pohonných řetězců na elektřinu. První omezení týkající se výfukových plynů automobilů byly vydány v 60. letech 20. století v Los Angeles v souvislosti s tehdejší smogovou situací. S odstupem několika let začínají podobné normy platit zavádět i další země světa. [1] V rámci Evropské unie byla roku 1993 zavedena první jednotná emisní norma Euro 1 určující maximální přípustnou hmotnost/množství určených látek emitovaných pohonnou jednotkou automobilu na 1 km jízdy. U naftových motorů se konkrétně jedná o oxid uhelnatý, oxidy dusíku, uhlovodíky a pevné částice. V následujících letech probíhalo postupné zpřísňování těchto limitů. Současně se pracuje na uvedení standardu Euro 7, který má roku 2025 vystřídat stávající Euro 6. Cílem Evropské unie je do roku 2050 snížit emise skleníkových plynů o 80 % ve srovnání se stavem z roku 1990. Starší evropské normy v průběhu let převzalo, či se jimi inspirovalo též několik mimoevropských států. [2]

V 70. letech 20. století začíná v USA rovněž vývoj hybridních vozidel. Vzhledem k rostoucím cenám ropy a zejména ropné krizi roku 1973 se Spojené státy snaží o snížení závislosti na zahraničních zdrojích. Roku 1976 byl schválen zákon, který ministerstvu energetiky umožňuje podporu výzkumu a vývoje v oblasti elektrických a hybridních vozidel. Prvním hybridním vozidlem úspěšným na světových trzích se stal však až roku 2000 model Prius japonské značky Toyota. Automobil odstartoval první vlnu zájmu o alternativní pohon a započal rychlé šíření hybridů mezi výrobci osobních vozů. Na trhu s nákladními automobily se tento trend začal výrazněji projevovat zhruba o 10 let později, kdy bylo představeno několik prototypů využívajících technologie známé z osobních hybridních vozů. [3]

V současnosti vlády států vyspělých zemí společně s agenturami zabývajícími se kvalitou ovzduší spouští programy, jejichž cílem je urychlit rozšíření těchto ekologických technologií. Členské státy EU například v únoru 2022 přijaly novou legislativu, díky níž má být od roku 2023 zaveden nový systém silničního mýta zvýhodňující nákladní vozidla s nulovými emisemi. Do května 2023 by měli dopravci provozující bezemisní kamiony získat alespoň 50% slevy na mýtném. Vzhledem k tomu, že silniční mýtné dopravce vyjde v přepočtu na téměř 600 tisíc Kč za vozidlo ročně, lze předpokládat vysoké úspory při přechodu flotil na alternativní pohony. Počínaje rokem 2026 mají dle stejného zákona země EU zavádět poplatky za znečištění ovzduší nákladními automobily. Emisní omezení jsou v současnosti běžné též ve Spojených státech amerických, kde zároveň některé státy zavádějí štedré dotace pro nákup bezemisních nákladních vozů. [4]

V blízké budoucnosti se s přihlédnutím k výše uvedenému predikuje, že dopravci začnou elektrické vozy upřednostňovat před tradičními naftovými. Evropský trh s elektrickými nákladními vozidly měl po úpadku způsobeném pandemií COVID-19 roku 2021 hodnotu 6,4 miliardy Kč. V roce 2027 je předpokládán jeho nárůst o 1500 %. [5] Elektrifikace pohonných řetězců v nákladní dopravě je proto velmi aktuálním trendem odrážejícím se v mnoha průmyslových odvětvích. Očekávaná zvyšující se poptávka po elektromobilech v nadcházejícím období významně promění automobilový průmysl. [6]

1 KOMPONENTY K ELEKTRIFIKACI NÁKLADNÍCH VOZŮ

K elektrifikaci pohonných řetězců je využíváno několika základních elektrických součástí, jejichž prostřednictvím je energie ze sítě přeměňována, přiváděna na hnací nápravu a použita k pohonu vozidla. Jejich výkon/velikost se odvíjí od rozsahu elektrifikace pohonného řetězce i od výkonových nároků konkrétního vozu. U moderních ekologických pohonných řetězců se jedná zejména o komponenty popsané níže.

1.1 MOTOR S PERMANENTNÍMI MAGNETY

Motor s permanentními magnety sestává ze dvou hlavních částí – statoru a rotoru. Na trojfázové vinutí statoru je přiváděn elektrický proud, čímž ve statoru vznikne točivé magnetické pole. S tímto polem interaguje stálé magnetické pole válcového rotoru, které je vytvářeno nalepenými permanentními magnety. Rotující magnetická pole elektřiny roztáčejí rotor a energie z rotace je dále využita k pohonu hnací hřídele a kol. [7]

Oproti standardnímu asynchronnímu motoru dosahuje tento stroj vyšší účinnosti, vzhledem k buzení pomocí magnetů lze vyloučit ztráty na budicím vinutí. Díky magnetům také disponuje až desetkrát větší momentovou přetížitelností oproti jakékoliv jiné konstrukci pohonné jednotky. Celkový točivý moment je podstatně vyšší než u indukčních motorů. To je způsobeno zvýšením magnetického toku ve vzduchové mezeře motoru, o něž se starají permanentní magnety. Motor má rovněž nízkou hmotnost a je poměrně kompaktní, což zaručuje jeho snadnější výrobu spojenou s nižšími výrobními náklady oproti motorům spalovacím. [7,8]

1.2 VYSOKONAPĚŤOVÁ BATERIE

Vysokonapěťová baterie je využívána jako hlavní zdroj energie plně elektrických vozů, zároveň se uplatňuje jako druhotný zdroj u vozů hybridních. HV baterie se vyznačuje vlastním napětím 192 voltů a více. V automobilovém průmyslu se v současnosti pracuje s napětími přesahujícími 350 V. [9]

Trakční baterii se rozumí soubor nízkonapěťových článků navzájem propojených určitým způsobem. Každý článek sestává ze dvou kovových elektrod a nejméně jednoho elektrolytického roztoku obsahujícího vodivé ionty. Články fungují na základě chemických reakcí oxidace a redukce, kdy dochází k výměně elektronů mezi anodou a katodou. V elektrolytu vlivem přenosu dochází ke vzniku elektrické práce.

Nabíjecí cyklus HV baterie je řízen sítí mikroprocesorů a každý z článků má vlastní teplotní senzor, jenž slouží jako prevence proti přehřátí, či nadměrnému napětí. Vlastní nabíjení je řízeno jednotkou BMU, která koriguje proudy mezi sériově a paralelně zapojenými články. Celkové řízení a distribuci energie v závislosti na způsobu nabíjení akumulátoru zajišťuje jednotka BMS. Vzhledem k nutnosti zabránit nevratným nežádoucím chemickým procesům v člancích, nelze v provozu využít celou kapacitu baterie. Vysokonapěťová baterie má oproti běžné baterii vyšší hustotu energie, a tedy i relativně vyšší kapacitu. Díky vysoké hustotě energie se baterie může nabíjet/vybíjet rychleji a vydrží více cyklů než konvenční články. Vysoké napětí poskytuje baterii rychlou odezvu a umožňuje jí poskytovat v případě potřeby elektřinu nárazově. Akumulátor lze nabíjet i relativně nízkými proudy, které by u

nízkonapětových baterií vedly k jejich přehřátí. Nízký nabíjecí proud též umožňuje efektivnější skladování energie. Kvůli širokému napětovému rozsahu není k nabíjení nutné využití větších vodičů, což přispívá ke snížení hmotnosti napájecího systému. Provozem je dokázáno, že baterie je ve vozidle schopna nájezdu 100000–160000 km bez jakékoliv údržby, neuvažuje-li se případný nutný update firmwaru. Po prvních třech letech provozu poklesne kapacita akumulátoru o 10–15 %, následně se pokles zpomalí, přičemž po dalších 5 letech využívání je její kapacita stále výrazně vyšší než 70 % původní kapacity. [10]

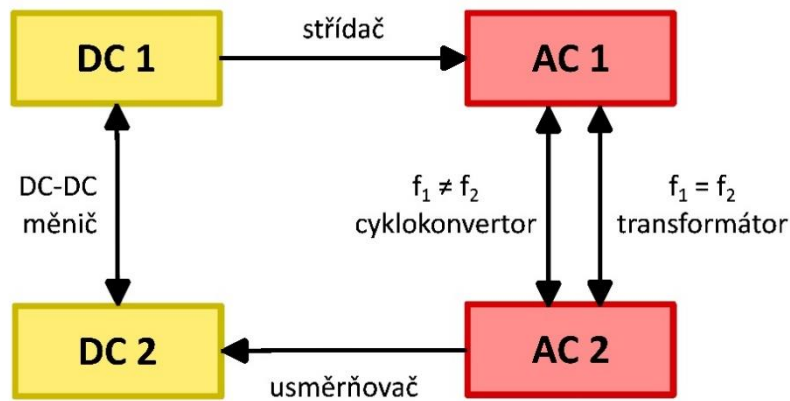
1.3 TRANZISTOR (IGBT)

Tranzistor je polovodičová elektronická součástka. Zařízení obvykle sestává ze tří vrstev nebo svorek z polovodičového materiálu (dvou PN přechodů). [11] Každá ze tří vrstev označovaných jako kolektor, báze a emitor (C,B,E) má svůj výstup. Tranzistor lze využít jako zesilovač (k přeměně nižšího vstupního proudu na vyšší výstupní proud), nebo jako spínač. V módu spínače (stav zapnuto/vypnuto) řídí tok proudu obvodem, přičemž je ovládán pomocí změn napětí mezi bází a emitorem. [12] Vysokou účinností se jako spínače vyznačují bipolární tranzistory s izolovaným hradlem (IGBT). Pomocí pulzně šířkové modulace tak umožňuje zpracování složitých vlnových průběhů. K provozu oproti běžným bipolárním tranzistorům (BJT) vyžadují nižší napětí. Větší IGBT je schopen pracovat s proudem o velikosti ve stovkách ampér a poskytovat blokovací napětí až 6 kV. Používají se ve výkonové elektronice, zejména ve měničích a střídačích. [13]

1.4 MĚNIČE

Měniče napětí se na základě vstupního a výstupního proudu dělí na [14]:

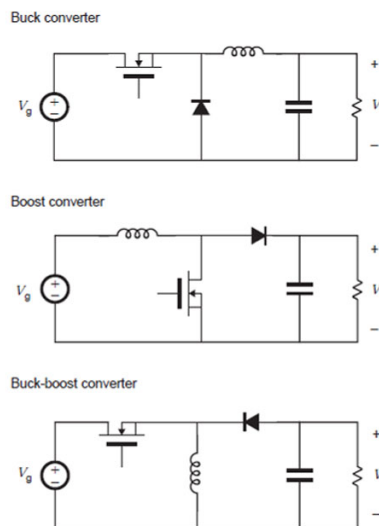
- Transformátor (AC-AC měnič velikosti napětí při zachování jeho frekvence)
- Cyklokonvertor (AC-AC měnič frekvence napětí)
- Usměrňovač (AC-DC měnič)
- Střídač (DC-AC měnič)
- „Chopper“ (DC-DC měnič velikosti napětí)



Obr. 1 Druhy měničů; upraveno dle [14]

1.4.1 DC-DC MĚNIČ (CONVERTER)

DC-DC měnič je elektrický obvod, do nějž vchází střídavý proud, a vychází opět střídavý proud s rozdílným napětím. Zařízení tak optimalizuje elektrickou energii ze zdroje na energii požadovanou pro zátěž. Nejčastěji jsou z důvodu své jednoduchosti a malého počtu součástí používány následující 3 typy DC-DC měničů. Všechny tyto obvody jsou neizolované a jako prvek přenosu energie využívají induktor. Izolované stejnosměrné měniče využívají transformátor k zajištění izolace, různých úrovní napětí, nebo polaritu závislé na poměru vinutí. Izolované měniče se jinak zakládají na schématu měničů neizolovaných. [14]



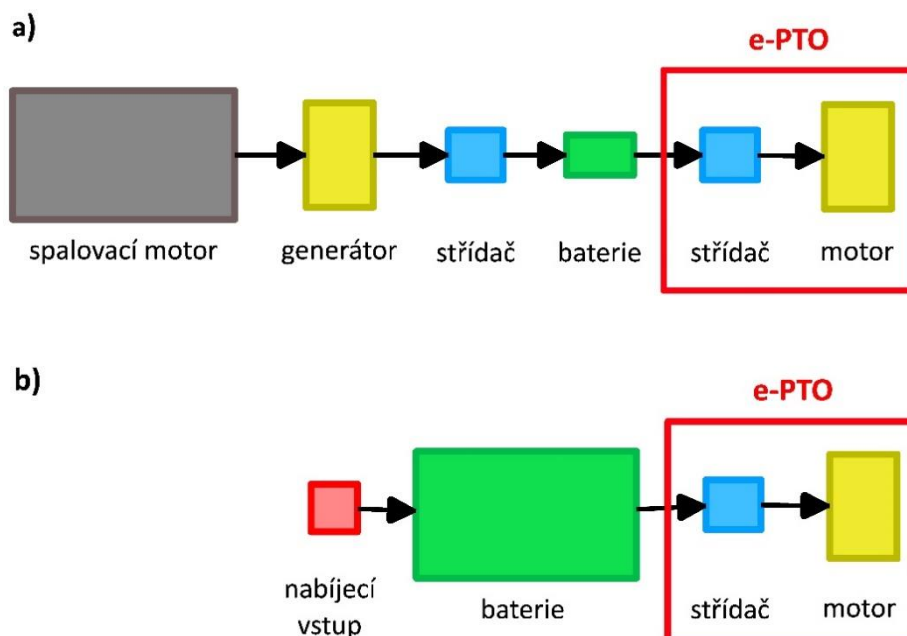
Obr. 2 Typy DC-DC měničů [14]

1.4.2 STŘÍDAČ (INVERTER)

Střídač je samostatné elektronické zařízení, které převádí stejnosměrné napětí (DC) na střídavé napětí (AC). K přeměně využívá čtyř přepínačů, které jsou spárovány tak, že 2. a 3. je zapnut, když je 1. a 4. vypnut a naopak. To způsobí průtok proudu zátěží ve střídavé formě, ačkoliv teče ze stejnosměrného zdroje. Takto vzniklý proud se ovšem vyznačuje čtvercovým průběhem, nikoliv sinusovým jako u AC. Skokové změny proudu mohou elektrické zařízení poškodit, proto jsou následně vyhlazovány. Zároveň i k dosažení potřebné frekvence 50/60 Hz (změna směru 50/60krát za vteřinu) jsou využívány diody, IGBT (bipolární tranzistor s izolovaným hradlem), nebo MOSFET (polem řízený tranzistor). Frekvence přepínání je řízena ovladačem pomocí šířkové pulzní modulace. Dvojice (např.) tranzistorů se spínají a rozpínají několikrát na různě dlouhou dobu během jediného cyklu. Cyklus se tak „rozdělí“ na několik segmentů, při nichž je propouštěno různé množství proudu. Tyto segmenty rychle následující za sebou tvoří sinusoidní průběh proudu – čím více segmentů, tím hladší průběh proudu. [15]

1.5 ELEKTRICKÝ POMOCNÝ POHON

Systém elektrického pomocného pohonu (ePTO, electric Power take-off) sestává ze střídače a elektromotoru. Stejně jako standardní pomocný pohon jej lze připojit k převodovce, kardanové hřídeli (spojující motor a nápravu vozu), nebo k hydraulickému čerpadlu. Systém napájení ePTO je řešen různě. Využita může být dobíjecí baterie s kapacitou dostatečnou pro celodenní provoz. Alternativou je nabíjení pomocí generátoru, který je poháněn spalovacím motorem. Tohle řešení je nejvhodnější pro chod systému start-stop a uplatňuje se tak u nákladních automobilů provozovaných v městském provozu. [16]



Obr. 3 Architektury e-PTO: a) nabíjený generátorem, b) napájený baterií; upraveno dle [16]

Využití elektrického pomocného pohonu eliminuje nutnost běhu motoru naprázdno, čímž snižuje spotřebu paliva a eliminuje hluk a znečištění ovzduší. To je vhodné například u vozů s hydraulickým zdvihacím zařízením, které tak mohou pracovat i v uzavřených prostorech. Čas nakládky a vykládky je oproti době jízdy u těchto vozidel relativně krátký, tím pádem není ePTO vystaveno vyšším energetickým zátěžím. Hydraulika je více namáhána například u popelářských vozů, kde se kvůli její téměř nepřetržité činnosti ePTO vybavuje kromě baterie i pomocným generátorem pro dobíjení. Nejnáročnější aplikací je domíchávač betonu, který vyžaduje kontinuální a relativně vysoký krouticí moment v průběhu pracovního cyklu ePTO a to i za jízdy. Pomocný pohon je zde přímo propojen s převodovkou. Hydraulický okruh je odstraněn, což zvyšuje efektivitu systému a snižuje nároky na údržbu. [16]

1.6 PŘÍKLADY REÁLNÝCH KOMPONENTŮ

1.6.1 DANA

Výrobce Dana se zabývá celkovou integrací elektrických pohonů a současně produkuje i další součásti (elektrické nápravy, hnací hřídele, kontrolní prvky nebo napájecí systémy). Firma s padesátiletou historií ve výrobě pohonných ústrojí v současnosti poskytuje prvky pro elektrifikaci konvenčních pohonných řetězců v libovolném rozsahu. V nabídce je několik modelových řad hnacích elektromotorů se střídači, které je možné napojit přímo na standardní diferenciály/převodovky nákladních automobilů. Vysokootáčkové/nízko rychlostní reluktanční motory s permanentními magnety společnosti Dana se navzájem liší výkonem, počtem fází připojeného střídače i kompatibilitou s případnými dalšími prvky elektrifikovaného pohonného ústrojí. [17]

MODEL	FÁZE	VÝKON		TOČIVÝ MOMENT		NEJVYŠŠÍ OTÁČKY
SUMO HD HV2700-9P	9	250 kW	195 kW	2700 Nm	2060 Nm	3375 min ⁻¹
SUMO HD HV3400-9P	9	250 kW	195 kW	3400 Nm	2060 Nm	2450 min ⁻¹
SUMO HD HV3500-9P	9	370 kW	260 kW	3445 Nm	1970 Nm	3400 min ⁻¹



Obr. 4 Parametry elektrického stroje Dana TM4 Sumo HD; upraveno dle [18]

Příkladem může být pohonná jednotka TM4 Sumo HD uplatňovaná mj. ve vozidlech DAF. Je navržena tak, aby ji bylo možno propojit se standardními zadními diferenciály/převodovkami, nebo elektrickými nápravami bez potřeby dodatečné montáže mezipřevodovky. Konkrétně se jedná o motor se čtyřkvadrantovým provozem (schopný pohonu vpřed i brždění) využívající

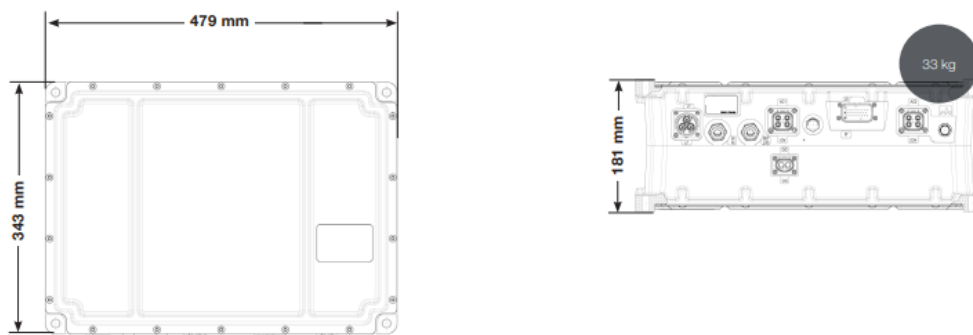
stejnoseměrný proud. Součástí ústrojí je devítifázový střídač o hmotnosti 36 kg a EMI filtr chránící elektronické komponenty před radiací emitovanou jinou elektrickou výbavou. Výkon motoru je 250, resp. 370 kW při točivém momentu 1200, resp. 3700 Nm. [18]

Pro lehčí užitková vozidla a lehčí dvou až třinápravové nákladní automobily společnost nabízí pohonnou jednotku s modelovým označením TM4 SUMO LD. Jedná se o třífázový motor s třífázovým vysokonapěťovým střídačem a tepelnou ochranou. Menší elektrický stroj o rozměrech 379 mm na délku a 425 mm v průměru má hmotnost 87 kg. [19] Tato pohonná jednotka je dále kompatibilní například s elektrickou nápravou eS9000r e-Axle. Toto propojení je doporučeno pro nákladní vozy o provozní hmotnosti do 10 tun, kdy poskytuje špičkový výkon 240 kW a maximální výstupní točivý moment 9000 Nm. Napájena je jmenovitým napětím o velikosti 400–650 V. Náprava se zmíněným integrovaným motorem, jeho chlazením a převodovkou v konfiguraci s kotoučovými brzdami váží 370 kg. U vozů s hmotností přesahující 12 tun je motor TM4 možno využít k přímému pohonu konvenční nápravy. Použitý střídač nesoucí sériové označení TM4 CO150 využívá technologie bipolárních tranzistorů s izolovaným hradlem, díky čemuž poskytuje vysoký měrný výkon a proudovou hustotu. Přístroj zároveň plní funkci ovladače motoru a je vybaven pokročilými řídicími algoritmy pro optimální využití a zajištění nejvyšší možné účinnosti pohonného modulu. [20]

K napájení elektrických strojů pro nákladní elektrické automobily společnost Dana nabízí bateriové svazky o hustotě energie 175–215 Wh/kg a energii 80, 120, nebo 160 kWh. Akumulátory jsou vyrobeny z lithia, niklu, manganu nebo kobaltu. [20]

Mezi další zařízení společnosti Dana určené k elektrifikaci nákladních vozidel patří přídatné motory o nižším výkonu určené k pohonu doplňkových systémů. Příkladem může být synchronní reluktanční IPM motor ze série ASY 200 o špičkovém výkonu a maximálním točivém momentu 50 kW a 200 Nm vhodný například pro pohon čerpadla. K samotným doplňkovým systémům se řadí např. elektrohydraulický posilovač řízení. Je napájen stejnosměrným proudem, 24V (příp. 48V) palubní baterií. Systém kombinuje indukční motor na střídavý proud, zubové čerpadlo o nízké hlučnosti a střídač. [20]

Vozidlo může být dále vybaveno elektricky poháněným vzduchovým kompresorem, nebo strojem TM4 BCI20. Pod tímto označením společnost dodává zařízení schopné fungovat v módu nabíječky baterií, nebo jako střídač. Jeho maximální výkon při nabíjení je 18 kW při 240 V střídavého proudu. Když se vozidlo pohybuje, zastává zařízení funkci autonomního střídače a může tak poskytovat dva nezávislé třífázové výstupy pro napájení doplňkové výbavy automobilu. [20]

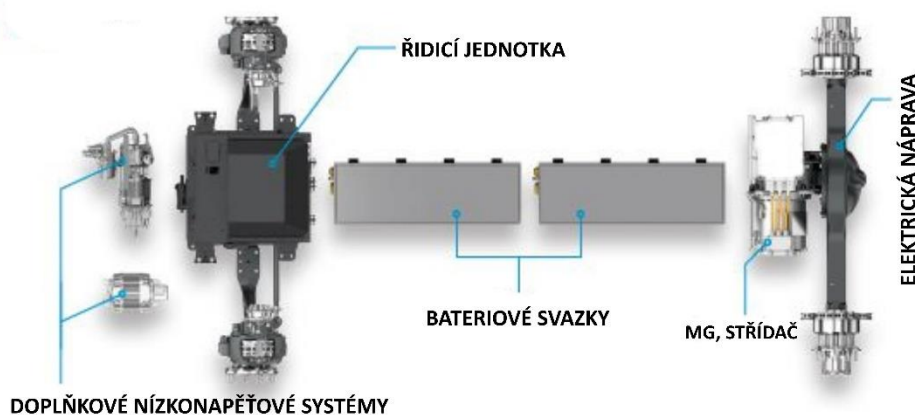


Obr. 5 Parametry jednotky Dana TM4 BCI20 [20]

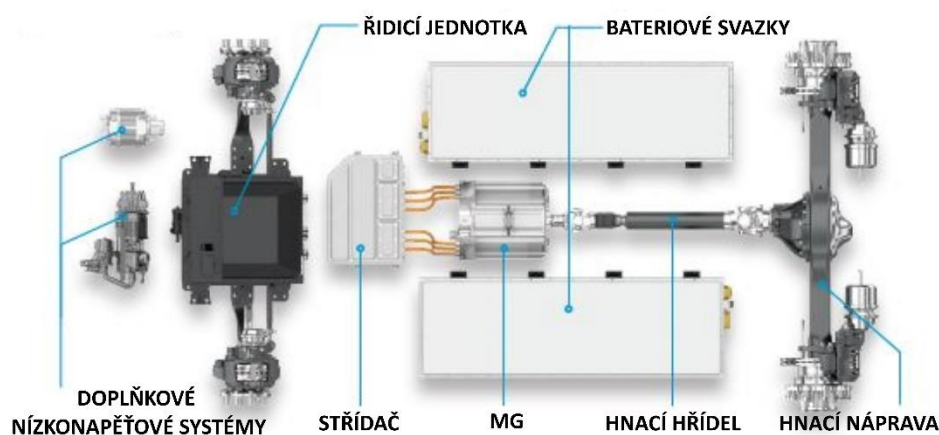
Přístroj pro nabíjení baterie/střídače a příslušenství s instalovanými softwary pro kontrolu a nabíjení vozidla jsou při instalaci do pohonného řetězce integrovány v „řídící jednotce“ (výrobce užívá označení Power Electronics Cradle). [17]

Nedílnou součástí elektrických pohonů jsou chladičové technologie vyráběné pomocí pájení z hliníku, jejichž konstrukce je modifikována na základě potřeb výrobce výchozího vozidla a konstrukci vozu. Tyto prvky jsou využívány ke chlazení výkonové elektroniky – DC/DC měniče, DC/AC střídače, kde zlepšují též účinnost použitých IGBT. K regulaci teploty systému pokročilých asistentů řidiče (ADAS) je využíváno speciálně pro tento účel navržených hliníkových desek konstrukce o nízké hmotnosti. [21]

POHONNÉ ÚSTROJÍ S ELEKTRICKOU NÁPRAVOU



POHONNÉ ÚSTROJÍ BEZ ELEKTRICKÉ NÁPRAVY (CENTRÁLNÍ)



Obr. 6 Příklady konfigurace pohonného řetězce výrobce Dana; upraveno dle [22]

První konfigurace je určena lehká dvounápravová nákladní vozidla se zadní nápravou o čtyřech kolech. Výkonová elektronika je uložena na přední nápravě, pod kabinou a napájena je bateriovými svazky umístěnými centrálně v podvozku. Pohon vozidla zajišťuje výše popsané spojení zadní e-nápravy eS9000r s elektrickým motorem/generátorem SUMO LD. Druhý pohonný řetězec počítá s uplatněním rovněž u vozidel třídy 6, tedy šestinápravových samostatných jednotek s hnací přední-zadní nápravou. [23] Nízkonapěťový okruh a výkonová elektronika se i zde nacházejí pod kabinou. Rozdíl spočívá v uložení baterií po stranách rámu podvozku a využití výkonnějšího motoru, zde konkrétně řady MD (265 kW, 3255 Nm) umístěného mezi svazky. Točivý moment z motoru je na hnací nápravu přenášen prostřednictvím hnací hřídele. [22] Tato náprava je navíc opatřena přídatnými motory, které řídí trakci. K tomuto účelu lze využít i výše zmíněný stroj ASY 200. [20]

Kromě společnosti PACCAR využívá ve svých nákladních vozech komponenty výrobce Dana americká automobilka LionTrucks. Například popsaný motor a šesti-fázový střídač řady TM4 figuruje ve dvounápravovém plně elektrickém šasi vozidla Lion 6. Třinápravový tahač Lion 8

Tractor stejné značky využívá dvourychlostních elektrických náprav Meritor (popsány dále). [22]

1.6.2 CASCADIA

Komponenty pro elektrická vozidla vyvíjí také americký výrobce Cascadia. Konkrétně pro nákladní automobily nabízí dva elektrické motory/generátory. Jedním z nich je jednotka iM-425 s jádrem motoru od společnosti BorgWarner poskytující výkon 425 kW a špičkový točivý moment 2620 Nm při 750 V a stejnosměrném proudu. Disponuje integrovanou pumpou a chladičem oleje a olejovou vanou. Motor o hmotnosti 190 kg je již z výroby vybaven střídačem CM 350 DZ pracujícím při v současnosti nejvyšších rozmezích otáček (200–850 V DC). [24]

Obě uvedené společnosti nabízí ve svých portfoliích velké množství součástí, které slouží k elektrifikaci pohonných řetězců vozidel, nejsou však uzpůsobeny pro využití u nákladních vozidel. Příkladem mohou být elektrické převodovky Cascadia kombinovatelné s některými elektromotory/generátory, nebo koncové reduktory kol značky Dana. [17,24]

1.6.3 CONMET

Společnost ConMet se zabývá vývojem elektrických motorů integrovatelných do náboje kol vozu. Uvedení pohonných jednotek PreSet Plus Electric Hub (eHub) tohoto typu bylo poprvé oznámeno v roce 2019, od té doby probíhá další vývoj produktu. Jedná se o zařízení schopné redukovat opotřebení brzd a přeměnit energii vzniklou při brzdění na elektrickou. Tato energie je následně uložena ve velkokapacitní baterii. Electric Hub při použití u tahače s návěsem, může při maximálním zatížení generovat až 156 kW. Zařízení je plně nezávislé na konstrukci pohonu automobilu a mohou jím tak být dodatečně osazena i starší vozidla. Kanadská společnost ConMet experimentuje s použitím eHubu jako zdroje energie pro napájení chladicích boxů nákladních vozidel. Technologií eHub je zde vybavena zadní náprava návěsu a baterie napájející chladicí zařízení je umístěna v podvozku návěsu. [25] V březnu roku 2022 oznámila za tímto účelem společnost spolupráci s výrobcem integrovaných elektrických náprav s brzdami a odpružením, Meritor. [26]



Obr. 7 ConMet eHub [27]

1.7 INTEGROVANÁ ELEKTRICKÁ NÁPRAVA

Integrovaná elektrická náprava je prvek pohonného řetězce hybridních/elektrických nákladních automobilů, jehož hlavní výhodou je kompaktnost konstrukce. Elektrický stroj s měničem i převodovka jsou integrovány do každé z náprav, což umožňuje řízení jednotlivých náprav zvlášť. Navíc tak mezi elektrickými nápravami nemusí být žádné mechanické spojení, což oproti konvenčním pohonným ústrojím znamená hmotnostní úsporu. IEN bývá v praxi instalována jedna, jakožto náhrada zadní nápravy u vozů s pohonem 4x2, nebo jedné ze zadních náprav (při pohonu 6x2). [28]

1.7.1 MERITOR

Vývojem integrovaných elektrických náprav se zabývá např. firma Meritor. Společnost má aktuálně ve svém portfoliu 3 modelové řady náprav. Nejvýkonnější z nich, náprava nesoucí název 17Xe je koncipována shodně jako 14Xe, poskytuje však nepřetržitý/špičkový výkon 420 kW, resp. 450 kW a točivý moment až 2000 Nm. 14Xe i 17Xe jsou vybaveny nezávislým odpružením. [28]



Obr. 8 Integrovaná elektrická náprava Meritor 14Xe [28]

1.7.2 PŘÍKLAD POHONNÉHO ŘETĚZCE

V pohonném řetězci navrženém společností Meritor se o efektivní chod a rozdělení výkonu v pohonném řetězci a příslušenství stará jednotka PCAS (Power Control and Accessory System). Mezi možné ovládané příslušenství patří vzduchový brzdový kompresor, čerpadlo posilovače řízení, 4kW DC/DC měnič a měnič DC/AC pro napájení příslušenství. V rámci PCAS je dále umístěna vysokonapěťová rozvodná skříň, přepínač k odpojení baterie a elektrický přídavný pohon o výkonu 200 kW. PCAS tak reaguje na sešlápnutí plynového pedálu a v návaznosti na tento impuls přenáší energii z baterií k motoru, případně navrácí energii do akumulátorů při regenerativním brzdění. Systém PCAS dále reguluje teplotu v kabině, udržuje optimální teplotu baterií a zajišťuje celkové chlazení pohonného řetězce a dalšího elektrického vybavení vozidla. Samotná kontrolní jednotka sestává z hardwarové části – rozvodné jednotky vysokého a rozvodné jednotky nízkého napětí s 12V baterií, řídicího modulu a softwaru. Instalovaný software dle údajů výrobce zastává 67 různých funkcí. Řídí například průběh nabíjení, upravuje výkon příslušenství, zajišťuje správu diagnostických služeb nebo zajišťuje interpretaci dat získaných při provozu vozidla výrobcem. Celý systém (viz obr.) o váze necelých 500 kg je dle výrobce koncipován na fungování v teplotách od -20 °C do +48 °C. [28]



Obr. 9 Jednotka PCAS [28]

Převodovku společnosti Meritor pro elektrické pohonné řetězce lze konfigurovat buď jako dvoustupňovou, nebo jako trojstupňovou převodovku se dvěma předlohovými hřídeli. U dvoustupňové konfigurace je dále nabízeno dvojí možné poměry převodů (nižší 2,8:1 a vyšší 1,4:1, nebo nižší 5,6:1 a vyšší 2,8:1). Trojstupňová převodovka využívá poměr nízký (5,6:1), střední (2,8:1) a vysoký (1,4:1). [28]

1.7.3 FPT INDUSTRIAL

Kromě společnosti Meritor se vývojem v oblasti IEN zabývá i italsko-švýcarská firma FPT Industrial dodávající díly značkám Iveco a Nikola. Integrovaná (zadní) elektrická náprava s označením eAX 375-R je vhodná pro nákladní vozy s pohonem 4x2 o hmotnosti do 26 tun a s pohonem 6x4 do 44 tun. Systém kombinuje integrovanou dvoustupňovou převodovku (převodový poměr 10/33) a jeden elektromotor o špičkovém výkonu 375 kW. Účinnost celku dle výrobce převyšuje 92 procent a jeho životnost dosahuje až 1,6 milionu kilometrů. [29]

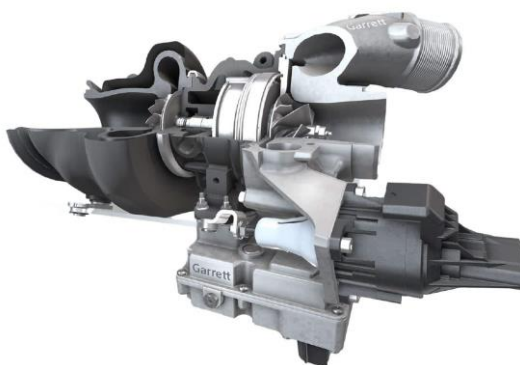


Obr. 10 Integrovaná elektrická náprava FPT Industrial eAX 375-R [29]

1.8 DALŠÍ VYBRANÍ VÝROBCI KOMPONENTŮ K ELEKTRIFIKACI VOZIDEL

1.8.1 GARRETT

Řešení k hybridizaci pohonného řetězce nákladních automobilů nabízí i firma Garrett, která na veletrhu v Hannoveru mimo jiné prezentovala elektrické turbodmychadlo s 48V, nebo 400V hardwarem. Zařízení s označením E-Turbo zvyšuje výkon a úsporu paliva, čímž umožňuje downsizing (snížení zdvihového objemu) motoru vozidla. E-Turbo využívá vysokorychlostní elektromotor (200 tisíc ot./min) umístěný na hřídeli turbodmychadla k rychlejší regulaci činnosti kompresoru a eliminaci prodlevy. To zlepšuje výkon motoru při změnách rychlosti vozu a chod agregátu v nízkých otáčkách. Vedle toho může E-Turbo rekuperovat energii, která by jinak byla ztracena, a využít ji k přímému napájení hybridního motoru, nebo v některých případech k dobíjení baterie. E-Turbo může být kromě vozidel s konvenčními (benzinovými/naftovými motory) využito i jako součást pohonného řetězce plně elektrického, či vodíkového nákladního automobilu. [30]



Obr. 11 Garrett E-Turbo [31]

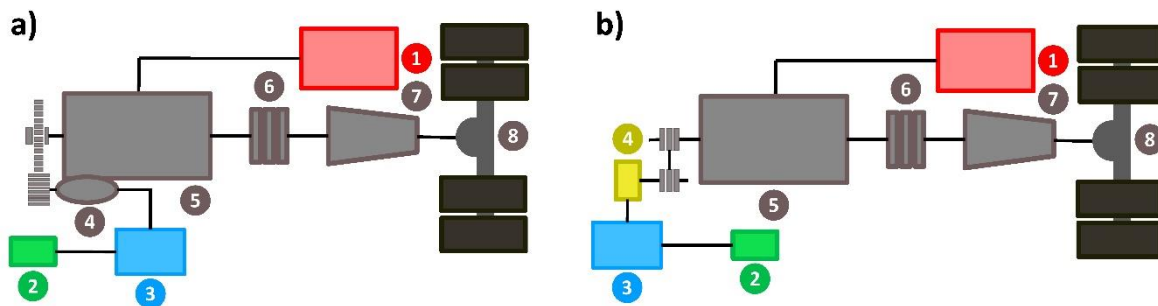
1.8.2 ALLISON TRANSMISSION

Allison Transmission se specializuje na vývoj pohonných ústrojí pro bateriová a FCEV vozidla a hybridizační aplikace. Pod obchodní značkou eGen Power vyrábí elektromotory a vícestupňovou převodovku spojené s chladičem a čerpadlem oleje určené pro nákladní vozy a tahače. [32]

2 MIKRO-HYBRIDNÍ AUTOMOBILY (MHD)

Mikro-hybridní vozy nedisponují dvěma různými zdroji pohonu, nesplňují tak základní definici hybridního automobilu. Ačkoliv je pohon MHD automobilů zajišťován výhradně spalovacím motorem, vyznačují se tato vozidla nadstandardními elektrickými prvky. V souvislosti s nákladními vozy se označení MHD příliš často nepoužívá a nahrazuje se/splývá s termínem mild-hybrid. [33]

Mild-hybridní automobil standardně disponuje hnacím ústrojím s oběhem o napětí 48 V s malou baterií sloužící k uchování rekuperované energie. Současně je zachován 12V obvod, jehož akumulátor je za jízdy dobíjen díky DC/DC měniči, jenž přenáší energii mezi oběma bateriemi. Běžný alternátor je u vozů této konstrukce nahrazen elektromotorem, což umožňuje efektivnější nakládání s energií. [33] V pohonném ústrojí mild-hybridního vozu figuruje MG též jako startér-generátor umožňující hladké startování a zhasínání motoru (systém Start-Stop). Nedochozí zde tedy k opotřebení konvenčního startéru, kterým tyto vozy nedisponují. Start-Stop systém pomocí snímačů (snímač otáček, rotace klikového hřídele, zařazení neutrálu) vyhodnotí, zda vozidlo zastavilo. Při každém zabrzdění a zařazení neutrálu se spalovací motor automaticky vypne, přičemž veškeré elektrické přístroje na palubě nadále fungují. Komponenty namáhané v důsledku opakovaného startování motoru (převodovka, ložiska, zasouvací mechanismus startéru) jsou zde proto navrženy pro dlouhou životnost. [34]

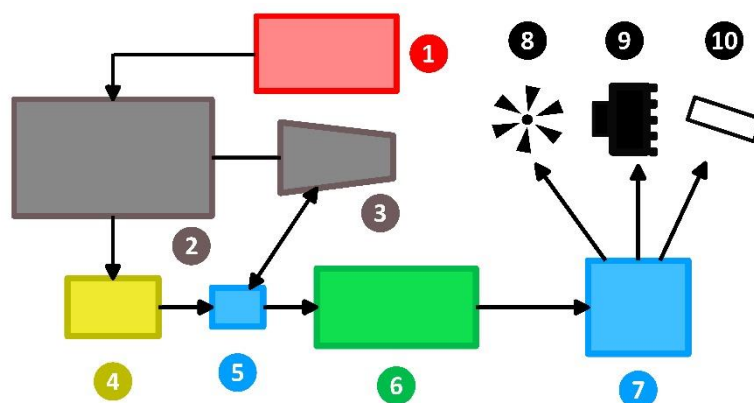


Obr. 12 Srovnání pohonného řetězce s konvenčním startérem a MHD:

- a) 1 - palivová nádrž, 2 - baterie, 3 - střídač, 4 - startér, 5 - spalovací motor, 6 - spojka, 7 - převodovka, 8 - diferenciál hnací nápravy; b) 4 - startér-generátor s řemenovým převodem; upraveno dle [35]

V případě nákladních automobilů se označení mild-hybrid zcela neshoduje se svým významem u automobilů osobních. U osobních MHEV kromě rekuperace energie z akcelerace a brzdění, přispívá elektromotor i k pohonu vozidla podporováním klikové hřídele. Vozidla jsou často schopna rozjezdu na nižší rychlosti čistě elektricky, při vyšších rychlostech se může elektromotor dokonce podílet na pohonu současně s motorem spalovacím. Automobil využívá také v určitém rychlostním rozpětí tzv. plachtění – při jízdě po rovině či z kopce při nesešlápnutém plynovém pedálu samovolně zařadit neutrálu a snížit tak mechanické odpory. Některé vozy při plachtění spalovací motor i zcela vypínají. To je možné, jelikož jediné mechanické spojení mezi elektrickým systémem a zbytkem pohonného ústrojí vozidla je zajišťováno pomocí řemenového převodu. [36]

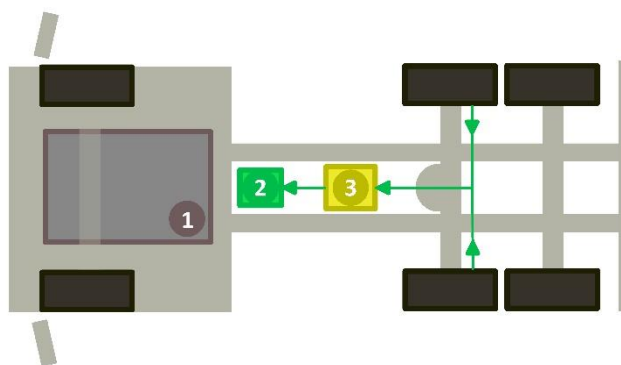
U nákladních automobilů je 48V motor/generátor připojen k pomocnému pohonu a vyústí na automatizovanou manuální převodovku. Jízdu vozu čistě na elektřinu tak v žádném režimu neumožňuje. U nákladních vozů elektrický stroj pouze nahrazuje alternátor v dobíjení baterie a pohání kompresor klimatizace vozidla (HVAC). Palubní zařízení mohou být díky MG spuštěna i při vypnutém spalovacím motoru. Řešení je tak výhodné pro vozy s kabinou uzpůsobenou ke spaní. Montáž systému na převodovku nákladního vozu zajistí ročně až 2% úsporu paliva, navíc eliminuje nutnost kapalinového chlazení. Společným znakem nákladních i osobních MHEV vozidel je oproti vozidlům s konvenčním pohonem výkonnější baterie. [36]



Obr. 13 MHEV systém nákladních automobilů: 1 - palivová nádrž, 2 - spalovací motor, 3 - převodovka, 4 - MG, 5 - střídač, 6 - baterie, 7 - jednotka distribuce elektrické energie, 8 - HVAC, 9 - brzdy, 10 - další 12V zátěže; upraveno dle [36]

Rekuperace brzdné energie

Startér u mikro-hybridů druhé generace funguje i jako alternátor, který kinetickou energii potřebnou k brždění vozidla mění na elektrickou energii a dobíjí tak akumulátor. Takto získaná energie je následně využita k napájení palubní elektroniky při vypnutém motoru. Tento proces se označuje jako rekuperace brzdné energie a využívá se napříč celým spektrem hybridních potažmo elektrických pohonů. V některých případech se alternátor od motoru odpojuje během akcelerace, aby všechen výkon agregátu mohl být využit na zrychlení. Generátor brzdné energie může bývá rovněž využit pro pohon baterie elektrického pomocného pohonu. [35,37]



Obr. 14 Tok energie při rekuperaci: 1 - spalovací motor, 2 - baterie, 3 - MG; upraveno dle [35]

2.1 SOUČASNÁ ŘEŠENÍ

2.1.1 RENAULT URBANLAB 2

Příkladem využití mikro-hybridních technologií může být např. prototyp nákladního vozidla s kontrolovatelnou teplotou nákladového prostoru značky Renault nazvaný UrbanLab 2. Cílem projektu, na němž s výrobcem spolupracovalo dalších šest společností, bylo dosažení redukce emisí a spotřeby paliva o 13 procent v porovnání s konvenčními modely značky Renault. UrbanLab 2 byl vybaven micro-hybridním systémem a systémem start-stop, přičemž nejvyšších úspor ve spotřebě paliva bylo dosaženo v městském provozu, kdy byly oba zmíněné systémy současně aktivní. S využitím 48V generátoru byla zužitkována tzv. volná energie vznikající při brzdění, nebo uvolnění plynového pedálu. Ta byla využívána dále pro napájení systémů na palubě vozidla – například palubní navigace společnosti BeNomad propojující vozidlo s infrastrukturou. Automobil díky němu vyhodnocovalo situaci na silnici a informace ze semaforů k optimalizaci akcelerace a decelerace. Toto opatření přineslo kromě zlepšení spotřeby a emisních vlastností také vyšší komfort řidiče. Vůz využíval též speciálně vyvinuté pneumatiky s auto-regeneračním dezénem eliminující valivý odpor. Kromě micro-hybridního systému byl prototyp vybaven rovněž nadstandardními aerodynamickými prvky. Například chladič jednotka nebyla umístěna standardně nad kabinou, nýbrž v rozvoru kol. Vlastní pohon vozu zajišťoval sériový spalovací motor značky. [38]

Výše zmíněnými opatřeními bylo dosaženo úspory 3,5 litrů paliva a 9 kilogramů oxidu uhličitého na 100 km při střídavém provozu vozidla ve městě a mimo něj. Testování probíhalo v režimu odpovídajícím provozu referenčního nákladního automobilu, jímž byl model Renault Truck D Wide. Značka zaznamenala o 12,8 % úspornější provoz oproti konvenčnímu vozu a potvrdila tak význam prototypových technologií. Nejúčinnější komponenty a systémy prototypu plánuje integrovat do výbavy svých budoucích sériových modelů. [38]



Obr. 15 Renault UrbanLab2 [38]

2.1.2 SONO MOTORS

Odlišnou formu micro-hybridního řešení též představila na veletrhu IAA 2022 v Hannoveru německá start-upová společnost Sono Motors. Ta plánuje nabízet sadu k dodatečnému vybavení autobusů a návěsů s chladicím zařízením solárními panely. Energie z panelů umístěných na střeše a bocích návěsu je schopna pokrýt až 50 % množství nutného k pohonu chladicí jednotky. Dle společnosti Sono tato instalace o výkonu 9,8 kW dokáže v průběhu roku generovat průměrně 21,2 kWh energie denně. [39]

3 HYBRIDNÍ AUTOMOBILY (HEV)

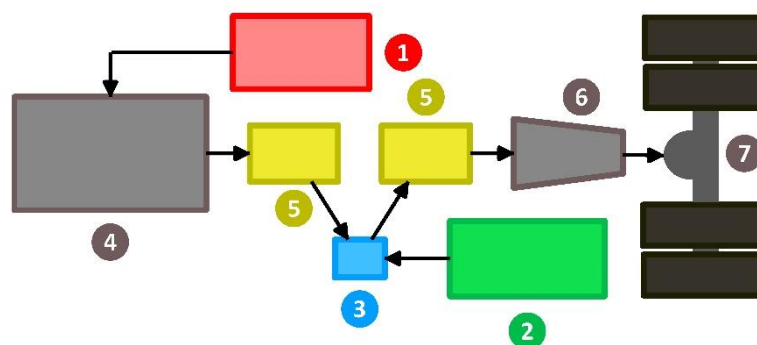
Pod pojmem hybridní vozidlo se rozumí automobil využívající ke svému pohonu více zdrojů energie. Nejčastěji se jedná o kombinaci spalovacího motoru a elektromotoru. U osobních HV jsou využívány převážně benzinové motory, u nákladních vozidel téměř výhradně motory naftové. [40] Při navrhování hybridního pohonu panuje snaha o optimální distribuci zátěže (*load leveling*) mezi spalovací motor a elektromotor. Použitím menšího spalovacího motoru vedle elektrického systému se redukuje váha vozidla a ztráty způsobené třením v agregátu. Menší SM také častěji pracuje blíže svému špičkovému zatížení, kdy spalovací agregáty dosahují vyšší účinnosti. [41] Automobily disponující generátorem vedle konvenčního motoru též bývají označovány jako Extended-Range Electric Vehicles (EREVs) nebo Range-Extended Electric Vehicles (REEVs). [42]

Dělení hybridních automobilů dle umístění elektrického motoru/generátoru v pohonném řetězci [41]:

- Sériový hybrid
- Paralelní hybrid
- Smíšený hybrid
- Power-split hybrid

3.1 SÉRIOVÝ HYBRID

Spalovací motor a motor/generátor jsou zapojeni za sebou (v sérii) a pohánějí zadní nápravu vozidla. Spalovací motor nezajišťuje vlastní pohon vozu, pouze pohání elektrický generátor, který zásobuje baterie proudem. Spalovací motor u této koncepce bývá proto menší a vzhledem k jeho nezávislosti na rychlosti vozidla může neustále běžet v nejefektivnějších otáčkách. Možné je též regenerativní brzdění, neboť rotace kol může skrz motor/generátor (MG) při deceleraci nabíjet baterie. energii pro baterie lze též získat kdykoliv ze spalovacího motoru přes generátor. Kvůli zapojení všech komponentů hnacího ústrojí v sérii je účinnost sériového hybridu velmi nízká, může být i nižší než účinnost samotného spalovacího motoru. Tato koncepce je tudíž v praxi využívána jen zřídka, většinou v rámci velkých strojů (diesel-elektrické lokomotivy, lodě). [41]



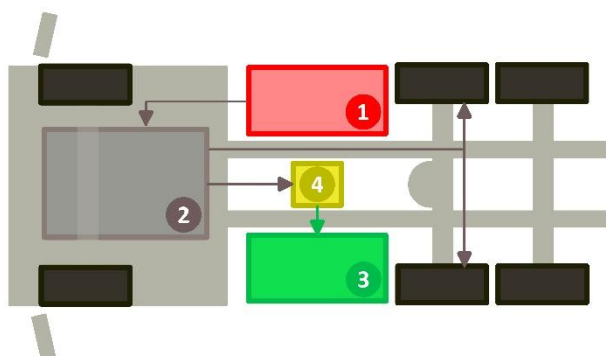
Obr. 16 Tok energie v sériovém hybridním pohonném řetězci: 1 - palivová nádrž, 2 - baterie, 3 - střídač, 4 - spalovací motor, 5 - MG, 6 - převodovka, 7 - diferenciál hnací nápravy; upraveno dle [35]

3.2 PARALELNÍ HYBRID

O pohon vozidla se stará současně konvenční spalovací motor a elektromotor. Spalovací motor (SM) i motor/generátor je připojen na stejnou hřídel, která přes převodovku pohání kola. U některých vozidel se uplatňuje i varianta koncepce, kdy je motor/generátor umístěn až za převodovkou a má svoji vlastní převodovou redukci před připojením k hnacímu ústrojí. U všech paralelních hybridů je MG i spalovací motor přímo napojen na kola a rychlosti kol i každého z prvků jsou tudíž propojeny. Stejně jako u sériových hybridů je systém schopný rekuperace při brždění a nabíjení baterie spalovacím agregátem přes generátor. V případě vyšší zátěže (jízda do kopce, prudká akcelerace) lze elektromotor využít jako podporu spalovacího motoru, při menších zátěžích (např. jízda z kopce) je možné jednu z pohonných jednotek zcela vyřadit z provozu. [41] Pro paralelní hybrid jsou typické 3 jízdní režimy dle toku energie pohonným řetězcem a způsobu využití jednotlivých pohonných jednotek [35]:

REŽIM GENERÁTORU

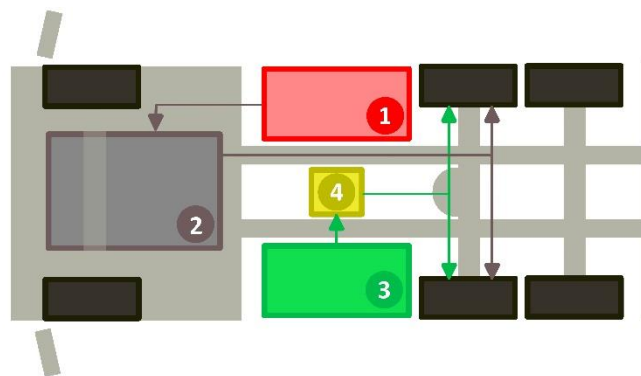
V režimu generátoru spalovací motor dodává vyšší výkon, než jaký je nutný k momentálnímu pohonu vozidla. Nadbytečný výkon je dodáván elektrickému stroji, který jej přemění na elektrickou energii. Získaná energie je následně využita k dobití akumulátoru vozu. [35]



Obr. 17 Schéma toku energie v režimu generátoru: 1 - palivová nádrž, 2 - spalovací motor, 3 - baterie, 4 – MG; upraveno dle [35]

REŽIM MOTORU

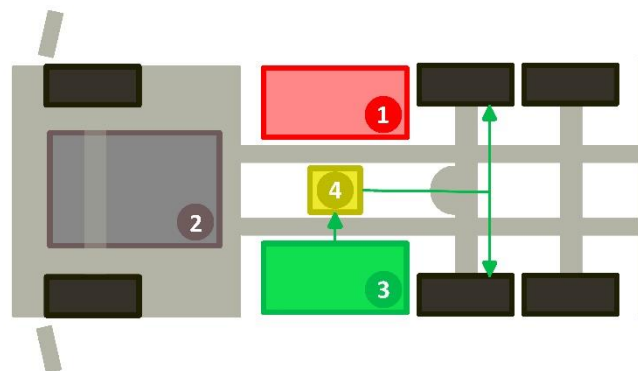
V režimu motoru je elektrická energie z akumulátorů naopak elektrickým strojem přeměňována v mechanickou. MG tak slouží vedle spalovacího motoru k pohonu vozidla, přičemž baterie se vybíjí. Elektrický stroj zde figuruje jako podpora konvenčního agregátu, čímž může být docíleno použití účinnější spalovací jednotky o menším objemu při zachování výkonu vozidla. Tohle řešení bývá označováno jako power-neutral downsizing. [35]



Obr. 18 Schéma toku energie v režimu motoru: 1 - palivová nádrž, 2 - spalovací motor, 3 - baterie, 4 - MG; upraveno dle [35]

JÍZDA ČISTĚ NA ELEKTŘINU

V čistě elektrickém režimu se na pohonu spalovací motor vůbec nepodílí a je vypnutý. Pohon i všechny funkce vozidla jsou napájeny elektrickým strojem s užitím energie z baterií. [35]

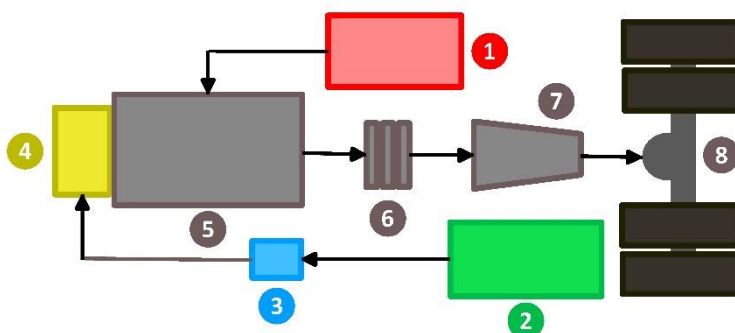


Obr. 19 Schéma toku energie v režimu jízdy čistě na elektřinu: 1 - palivová nádrž, 2 - spalovací motor, 3 - baterie, 4 - MG; upraveno dle [35]

Koncepce paralelního hybridu je v automobilovém průmyslu poměrně rozšířená a v jejím rámci tak existuje více konstrukčních řešení. Hnací ústrojí se dále dělí do několika kategorií dle umístění MG v rámci pohonného řetězce (P0 – P4 popsané níže). Architektury P0, P1 a P2 jsou typické pro mild-hybridní osobní automobily a u nákladních vozidel se samostatně neuplatňují. Kromě základních kategorií uvedených níže však existují i hybridy kombinující výhody jednotlivých koncepcí (např. P0P4, nebo P1P4). Architektury P0-P2 jsou typické pro osobní mild-hybridní osobní automobily a u nákladních vozů nejsou samostatně využívány. Ve schématech jednotlivých koncepcí uvedených níže je pro přehlednost tok energie zobrazován pouze v režimu motoru. [42]

3.2.1 P0

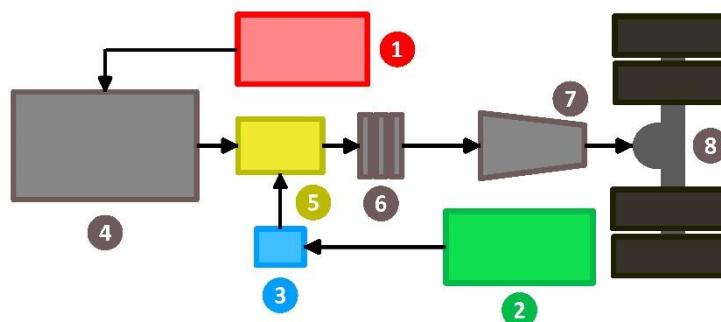
U architektury hybridního pohonu P0 je elektrický systém mechanicky spojen se spalovacím motorem pomocí řemene na přední části agregátu. Výhodou koncepce P0 je tedy možnost zachování původního konvenčního pohonného systému (SM – spojka – převodovka), čímž se snižují náklady na hybridizaci vozidla. Vzhledem k neoddělitelnosti konvenčního agregátu od elektromotoru je elektromotor omezován třecím momentem spalovacího motoru při rekuperaci elektrické energie a dodávce přídatného točivého momentu. Pro tuto architekturu je též někdy užíváno označení BiSG (Belt integrated Starter Generator). [42]



Obr. 20 Koncepce P0: 1 - palivová nádrž, 2 - baterie, 3 - střídač, 4 - MG, 5 - spalovací motor, 6 - spojka, 7 - převodovka, 8 - diferenciál hnací nápravy; upraveno dle [35]

3.2.2 P1

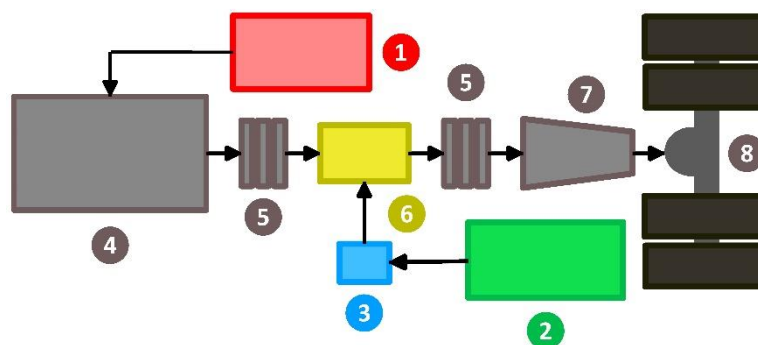
Koncepce P1 se vyznačuje elektrickým systémem napojeným přímo na klikový hřídel spalovacího motoru. MG je zde umístěn mezi motorem a převodovkou. Systém je schopen dodat vyšší točivý moment než P0 díky absenci spojení přes řemen. Mezi elektromotorem a klikovou hřídelí však není žádný převodový poměr. Ve srovnání s P0 pracuje tedy hybridní pohon koncepce P1 efektivněji, je však nákladnější na výrobu. Společně s P0 neumožňuje tato architektura, označovaná také jako CiSG (Crankshaft-integrated Starter Generator), odpojení systému od motoru. [42]



Obr. 21 Koncepce P1: 1 - palivová nádrž, 2 - baterie, 3 - střídač, 4 - spalovací motor, 5 - MG, 6 - spojka, 7 - převodovka, 8 - diferenciál hnací nápravy; upraveno dle [35]

3.2.3 P2

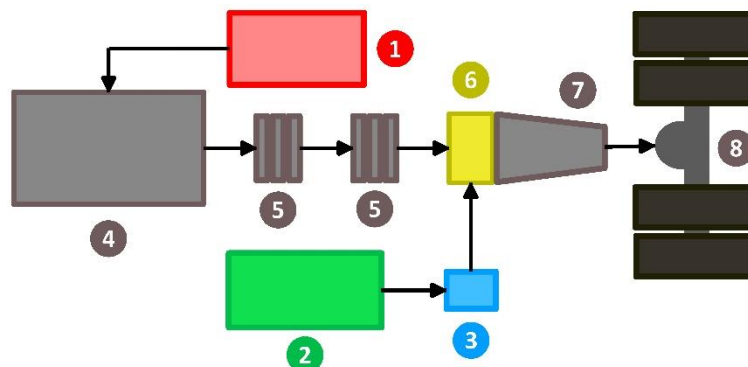
U architektur s označeními P2 až P4 je elektrický systém umístěn za spojkou, tedy na straně hnacího ústrojí. Z tohoto důvodu musí být vůz osazen sekundárním elektrickým motorem na straně motoru, aby byla zajištěna funkce systému Start Stop. K tomuto účelu se standardně užívá posílený startér (12 V), nebo řemenem připojený startovací generátor o napětí 12 nebo 48 V. Oproti P0 a P1 se vyznačují vyšší efektivitou přenosu energie. V případě P2 (TiMG – Transmission-integrated Motor Generator) je buď připevněn z boku k převodovce pomocí řemene, nebo umístěn mezi spalovacím motorem a převodovkou, na vstupní hřídeli převodovky. V druhém jmenovaném případě je s pohonným systémem propojen pomocí ozubeného soukolí. Systém, který je od spalovacího motoru oddělen, má rychlost stejnou jako konvenční agregát, nebo její násobek. [42]



Obr. 22 Koncepte P2: 1 - palivová nádrž, 2 - baterie, 3 - střídač, 4 - spalovací motor, 5 - spojka, 6 - MG, 7 - převodovka, 8 - diferenciál hnací nápravy; upraveno dle [35]

3.2.4 P2.5

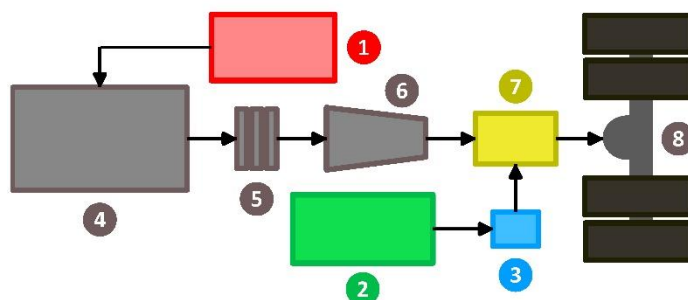
P2.5 je konceptí vyžadující využití dvouspojkové převodovky, kdy je velmi malý elektromotor čelním ozubením spojen s jednou z polovin převodovky a přichycen k jejímu boku. Elektromotor je zde umístěn ve dvouspojkové převodovce (dual-clutch transmission), na vstupní hřídeli. [43]



Obr. 23 Koncepte P2.5: 1 - palivová nádrž, 2 - baterie, 3 - střídač, 4 - spalovací motor, 5 - spojka, 6 - MG, 7 - převodovka, 8 - diferenciál hnací nápravy

3.2.5 P3

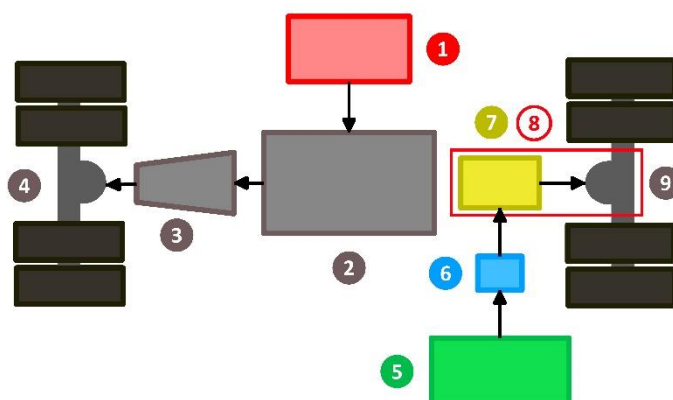
Motor/generátor je s převodovkou propojen stálým převodem (TiMG) a umístěn na výstupní hřídeli převodovky. Rychlost systému je násobkem rychlosti kol, přičemž elektromotor není přímo propojen se spalovacím motorem. [42]



Obr. 24 Koncepte P3: 1 - palivová nádrž, 2 - baterie, 3 - střídač, 4 - spalovací motor, 5 - spojka, 6 - převodovka, 7 - MG, 8 - diferenciál hnací nápravy; upraveno dle [35]

3.2.6 P4/THROUGH-THE-ROAD HYBRID (TTR)

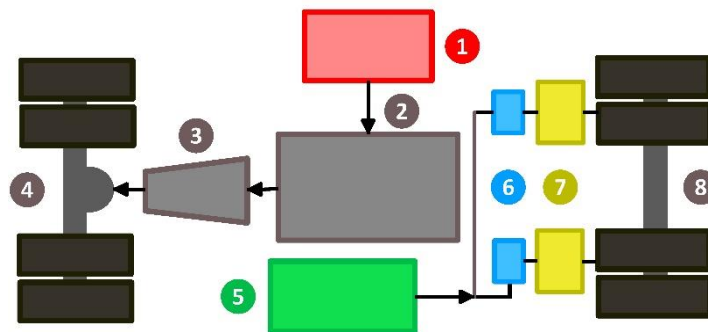
U TTR koncepte spalovací a elektromotor zajišťují pohon různých náprav. Elektrický systém je spojen ozubenými koly se zadní nápravou, přední nápravu pohání konvenční agregát. Při vyšší zátěži se na pohonu vozidla podílejí oba motory současně, konstrukce P4 tak umožňuje pohon všech kol (4x4). Při zátěži nižší pracuje spalovací motor na maximum, zatímco generátor působí jako brzda, čímž nabíjí baterii. Na rozdíl od konvenčního paralelního hybridu nejsou pohonné jednotky u TTR vzájemně propojeny mechanicky, ale pouze „přes silnici“, proto je často toto schéma řazeno do zvláštní kategorie, mimo sériové a paralelní koncepty. Spalovací motor zde kvůli přímému spojení s koly nemůže pracovat v neefektivnějších otáčkách. Společně s P3 disponuje P4 nejvyšším rekuperačním potenciálem. Navíc, pokud jsou vybaveny elektromotorem s vysokým točivým momentem, umožňují jízdní režim na elektřinu. [41]



Obr. 25 Koncepte P4: 1 - palivová nádrž, 2 - spalovací motor, 3 - převodovka, 4 - diferenciál přední nápravy, 5 - baterie, 6 - střídač, 7 - MG, 8 - převodovka s pevným převodem, 9 - diferenciál; upraveno dle [35]

3.2.7 P5

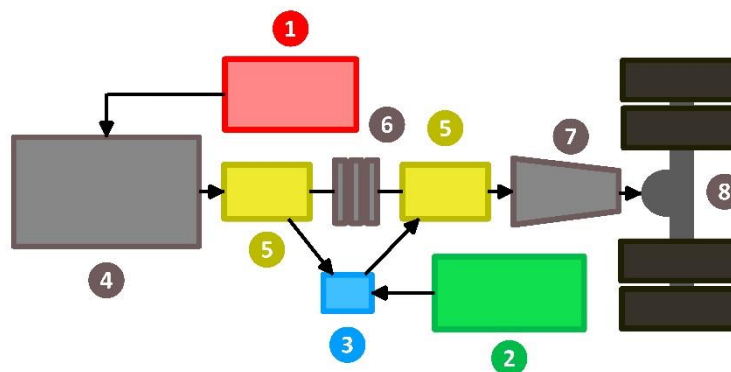
Některé zdroje vymezují samostatnou kategorii pro koncepci hybridního vozidla, kdy je u každého ze dvou kol zadní nápravy umístěn jeden MG. V této pozici jsou u nákladních vozidel elektrické stroje často umístěny, přičemž se nejedná o jediné zdroje elektrické energie, nýbrž pouze o podporu centrálního, většího elektromotoru. Zejména u těžkých plně elektrických vozidel je pomocný pohon zadní nápravy řešen tímto způsobem. [44]



Obr. 26 Koncepcí P5: 1 - palivová nádrž, 2 - spalovací motor, 3 - převodovka, 4 - diferenciál přední nápravy, 5 - baterie, 6 - střídač, 7 - MG, 8 - zadní náprava; upraveno dle [44]

3.3 SMÍŠENÝ HYBRID

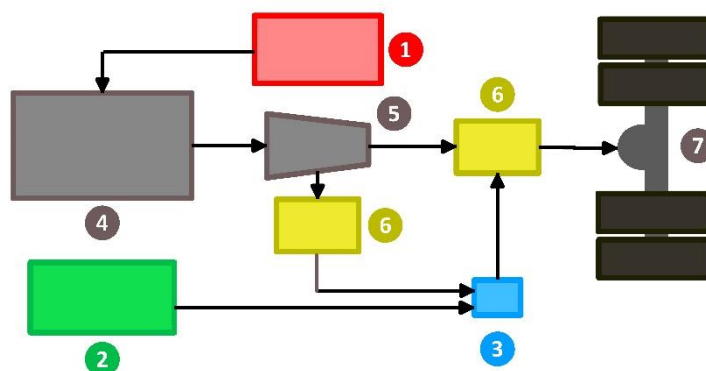
Smíšený neboli sériovo-paralelní pohon, spojuje přednosti koncepcí sériového a paralelního hybridu. Motor může přímo pohánět kola (jako paralelní), nebo jej lze úplně odpojit (jako série). Pohon vozidla může zajišťovat buď spalovací motor, elektromotor, nebo obě jednotky současně. Pohonný řetězec je navržen tak, aby konvenční agregát co možná nejvíce pracoval ve svých nejefektivnějších otáčkách. [45]



Obr. 27 Smíšený hybrid: 1 - palivová nádrž, 2 - baterie, 3 - střídač, 4 - spalovací motor, 5 - MG, 6 - spojka, 7 - převodovka, 8 - diferenciál hnací nápravy; upraveno dle [35]

3.4 POWER-SPLIT HYBRID

Ke kombinaci energie z elektromotoru a spalovacího motoru a dosažení požadované rychlosti rotace kol využívá planetovou převodovku. Díky tomu může spalovací motor pracovat v oblasti nejefektivnějších otáček a k regulaci rychlosti kol je využit elektromotor (MG1). O rekuperaci brzdné energie se stará druhý elektromotor (MG2) připojený přímo ke kolům. Díky mechanickému spojení všech motorů přes planetovou převodovku jsou v systému minimální ztráty v důsledku převodu energie (elektrické na mechanickou). Power-split hybridní koncepce navíc umožňuje čistě elektrickou jízdu, oproti sériovému či paralelnímu schématu je však poměrně konstrukčně komplikovaná. [41]



Obr. 28 Power-split hybrid: 1 - palivová nádrž, 2 - baterie, 3 - střídač, 4 - spalovací motor, 5 - převodovka, 6 - MG, 7 - diferenciál hnací nápravy; upraveno dle [35]

DĚLENÍ HYBRIDNÍCH AUTOMOBILŮ DLE STUPNĚ HYBRIDIZACE

Automobily disponující dvěma zdroji energie k vlastnímu pohonu lze rovněž rozdělit dle možných způsobů získávání elektrické energie na hybridní vozy (Full Hybrid) a Plug-in hybridní vozy. [46]

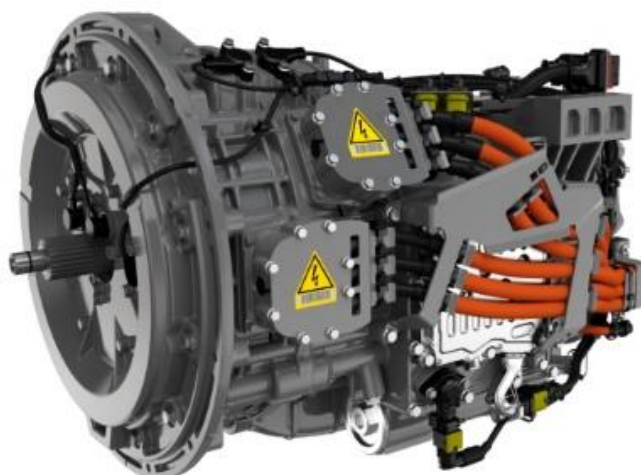
3.5 FULL-HYBRID (HEV)

U „plně hybridních“ vozidel je na rozdíl od MHEV možná jízda čistě na elektřinu. Jako zásobník energie v pohonném systému slouží jako již u předcházející skupiny automobilů trakční baterie, která je nabíjena rekuperací a/nebo generátorem poháněným spalovacím motorem. Akumulátor je stavěný na opakované nabíjení a vybíjení (cyklování), ke kterému dochází při jízdě vozidla. Používány jsou v automobilovém průmyslu nejčastěji lithium-iontové (Li-Ion), případně nikl-metal hydridové články (NiMH). Z důvodu zachování dobrých vlastností baterie je systémem zpravidla využívána pouze polovina její kapacity. [47]

3.5.1 SCANIA

Plně hybridní pohon je mezi nákladními vozy již do jisté míry rozšířen. Například společnost Scania nabízí systém HEV jako alternativu pro vybrané sériové vozy, konkrétně se jedná o kombinaci sedmi nebo devítilitrového spalovacího motoru s elektrickým motorem. Použitá elektrická duální převodovka nese označení GE281 a byla představena v roce 2021. Sestavena je ze dvou propojených elektrických strojů v kombinaci s nejnovější generací systému planetové převodovky Opticruise firmy Scania. [48]

Elektrické převodové ústrojí je dimenzováno tak, aby bylo schopno fungovat ve vozidle o maximální bezpečné hmotnosti až 36 tun bez nutnosti zásahu spalovacího motoru. Zároveň 2 elektromotory umístěné mezi konvenčním motorem a převodovkou podporují spalovací jednotku při každém rozjezdu nebo při zrychlování. GE281 poskytuje 230 kW (2x115 kW) nepřetržitě, přičemž disponuje špičkovým výstupním výkonem 290 kW a maximálním točivým momentem 2100 Nm. Má šest rychlostních stupňů a planetovou převodovku bez spojky starající se o řazení bez přerušování kontinuálního krouticího momentu. Toto řešení rovněž zajišťuje schopnost samovolné jízdy (creep drive) v nízkých rychlostech. Absence synchronizačních zařízení a brzd hřídelů zajišťuje nižší náklady na údržbu pohonného systému. Elektromotor je dále vybaven samostatným okruhem chlazení oleje. Při pohybu vozidla, ať v plně elektrickém módu či při činnosti spalovacího agregátu, může být aktivován pomocný pohon (PTO). Vozy jsou dále vybaveny systémy start/stop, adaptivním tempomatem a nabízí několik jízdních režimů. Každý ze dvou spalovacích motorů, kterými jsou hybridní vozy Scania poháněny, jsou dodávány ve třech výkonových stupních. Konkrétně diesellová jednotka DC09 v rozmezí výkonů 280-360 koní a DC07 v rozmezí 220-280 koní. Konvenční agregáty jsou schopné spalovat hydrogenovaný rostlinný olej (HVO), i když některé fungují také na bionaftu (FAME). Tahač s hybridně-elektrickým pohonem disponuje instalovanou baterií o výkonu 30 kWh a dojezdem 15 km čistě na elektřinu. [49]



Obr. 29 Převodovka Scania GE281 [50]

3.5.2 DAF

Roku 2020 začala v provozu testovat svůj hybridní automobil CF Hybrid společnost DAF Trucks. [51] Její model disponuje vznětovým motorem PACCAR MX-11 o objemu 10,8 litru a výkonu 330 kW. Jedná se o řadový šestiválcový diesellový motor s mezichladičem, recirkulací výfukových plynů (EGR), filtrem pevných částic DPF a technologií úpravy selektivní katalytickou redukcí (SCR). Agregát splňující emisní normu Euro 6 je dále osazen turbodmychadlem s proměnnou geometrií a využívá systém vstřikování Common Rail. [52] V paralelním pohonném řetězci vedle diesellového motoru figuruje elektrický stroj ZF o výkonu a špičkovém výkonu 75 kW, respektive 130 kW. Ten funguje současně jako generátor dodávající energii sadě akumulátorů, když je vůz poháněn výhradně spalovacím motorem. Celková kapacita akumulátorů činí 85 kWh. Pohonné ústrojí dále zužitkovává energii od výfukové brzdy při jízdě z kopce, díky níž elektromotor podporuje funkci spalovacího motoru. Automobil je vybaven též automatizovanou převodovkou ZF TraXon vyvinutou speciálně pro hybridní modely značky DAF. [53]



Obr. 30 Pohonné ústrojí vozu DAF CF a řez převodovkou ZF TraXon; upraveno dle [53,54]

3.6 PLUG-IN-HYBRID (PHEV)

Vedle získávání energie skrz regenerativní brzdění a dobíjení prostřednictvím spalovacího motoru, je možné baterie těchto vozidel dobíjet ze sítě. Na palubě se běžně nachází 12V baterie k napájení elektroniky v kabině a vedle ní vysokonapěťová baterie. Tato je využita k pohonu elektromotoru, přičemž těsně před jejím vybitím je automaticky uveden do chodu spalovací motor. Ve srovnání s HEV disponují plug-in hybridní automobily zpravidla výkonnější baterií o vyšší kapacitě. [46]

3.6.1 SYSTÉM NAPÁJENÍ CCS

Pro připojení plug-in hybridního vozidla k napájecímu zdroji je využíván standardizovaný systém kombinovaného nabíjení CCS. Technologie, kterou dále používají i bateriová vozidla umožňuje nabíjení střídavým i stejnosměrným proudem, vůz přitom může být vybaven jedním univerzálním konektorem. Střídavý proud se uplatňuje například přes noc, kdy je vůz odstaven na parkovišti/depu. Stejnosměrné nabíjení, též označované jako rychlonabíjení, je praktikováno na odpočívadlech, či na vybraných čerpacích stanicích. V Evropě jsou dle norem vymezeny čtyři režimy nabíjení akumulátorů elektrifikovaných vozů lišící se výkonem, stupněm ochrany a druhem proudu. První režim je nabíjení prostřednictvím jednoduchého kabelu ze zásuvky, druhý režim navíc využívá integrovanou ochranu v kabelu, čímž se zvyšuje bezpečnost procesu. Maximální výkon těchto nabíjení je cca 15 kW. Režimy 3 a 4 označují rychlé nabíjení. K řízení procesu je jako u předchozích úrovní využita nabíječka integrovaná v elektromobilu, vozidlo je napájeno ze speciální nabíjecí stanice střídavým proudem o výkonu až 120 kW. Čtvrtý režim vynechává palubní nabíječku, přičemž je automobil napájen stejnosměrným proudem o několika stovkách kW přes DC konektor. Ve Spojených státech amerických jsou dle podobných kritérií zavedeny 3 úrovně nabíjení a zde užívané konektory jsou označovány jako CCS typu 2 (CCS typu 1 je typické pro Evropu). V Číně funguje standardizovaný systém napájení GB/T. [55]



Obr. 31 Typy konektorů dle trhu a režimu nabíjení; upraveno dle [56]

3.6.2 SOUČASNÁ PRODUKČNÍ VOZIDLA

SCANIA

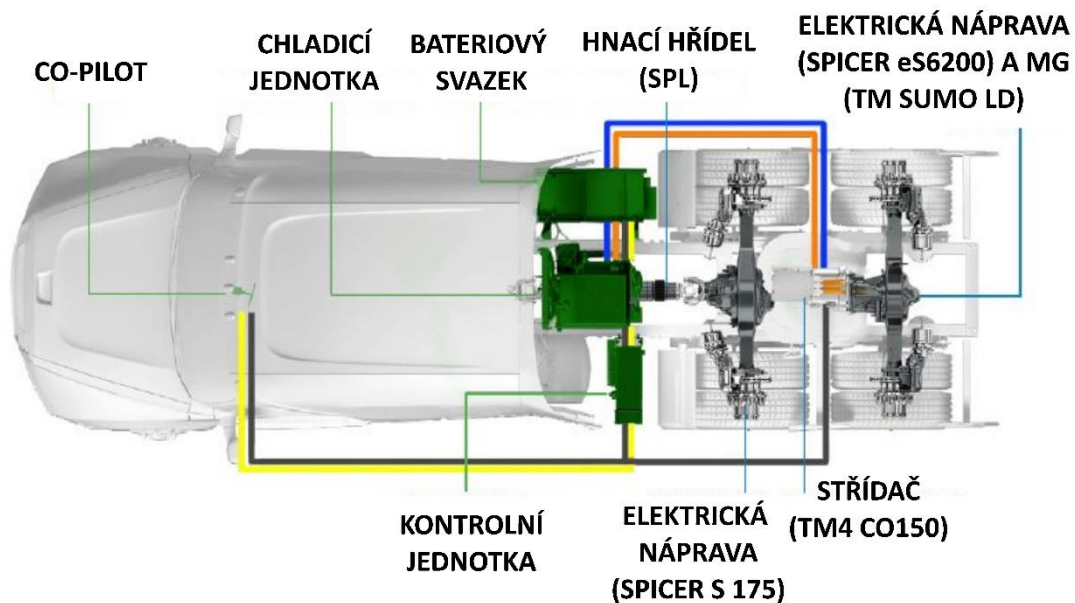
Společnost Scania výše popsany HEV pohonný řetězec s diesellovým motorem DC09 a převodovkou GE281 konfiguruje i jako PHEV. V Plug-in-hybridním pohonném řetězci jsou využívány 3 baterie o kapacitě 30 kWh. Při nabíjení stejnosměrným proudem nabíječkou o výkonu 95kW jsou akumulátory nabity za 35 minut na 80 %. Automobil je vybaven nabíjecím konektorem CCS umožňujícím plné dobití během nakládky/vykládky (tzv. opportunity charging), stejně jako dojezd až 60 km čistě na elektřinu. [48]

Zároveň je vozidlo v elektrickém módu díky svému tichému chodu ideální pro městský rozvoz v nočních hodinách. [48] Šasi s hybridním pohonem je dle slov výrobce vhodné jako základ pro rozličné nástavby včetně sklápěče, domíchávače betonu, nebo hasičského vozu. Dodáváno je s kabinami modelových řad P, G a L. [57] V roce 2021 bylo vozidlo L320 s nástavbou určenou pro převoz potravin provozováno švédskou transportní společností LBC Frakt AB, která k odbíjení jeho baterií využívala navíc solární panely umístěné na střeše vozidla. Při tom bylo dosaženo redukce emisí CO₂ o 66–92 %. [58]

US HYBRID - HYLIION

Realizace plug-in-hybridního nákladního vozu s paralelním uspořádáním pohonu se chopila též americká společnost US Hybrid. Jako u modelu švédského výrobce byl i zde v první fázi elektrický MG umístěn paralelně k diesellovému motoru. Konvenční agregát byl následně upraven tak, aby jako palivo mohl být využit stlačený zemní plyn (CNG). Vozidlo tak vykazuje nižší emise při zachování původního dojezdu. Koncept americké společnosti disponuje výkonem 640 koní a maximálním točivým momentem 2400 Nm. [59] Obdobnou koncepci pohonu využívá v praxi výrobce Hyliion, který se zabývá vývojem hybridních ústrojí pro tahače. CNG (také RNG, renewable natural gas) slouží v pohonném řetězci Hyliionu jako palivo pro generátor, který nabíjí akumulátor v přední části vozu. Baterie se starají o pohon elektromotoru, který pohání zadní elektrickou nápravu šestinápravového tahače a má schopnost rekuperace brzdné energie. Baterie jsou montovány na vnějšek rámu za kabinou, kde je mezi rámovými trubkami instalována jednotka sloužící ke chlazení baterií a elektrických náprav. Hyliion nabízí pro vozy s prostorem na spaní též funkcionalitu APU. Ta dokáže využít energii uchovanou v baterii ke klimatizování kabiny, když vozidlo stojí. Není tak nutný motor běžící na volnoběh. Tahač disponuje též mnoha palubními asistenty napájenými přes akumulátor. Jedná se například o software analyzující terén trasy 40 kilometrů před vozidlem a na základě těchto informací následně plánující optimální rozložení výkonu. Dále systém například kontroluje činnost baterie, uvádí do chodu asistenci rozjezdu, nebo zajišťuje automatickou aktualizaci systému. Hyliion tak nabízí doplňkové funkcionality typické pro bateriové vozy. Při plném nabití dokáže tahač s modulárním systémem 6X4HE urazit vzdálenost až 120 km čistě na elektřinu. [60]

Modulární design součástí pro elektrifikaci pohonu umožňuje jednoduchou instalaci systému na libovolný tahač od jakéhokoliv výrobce. Jsou jím osazeny například vozidla značky Volvo. [60]



Obr. 32 Příklad integrace součástí k elektrifikaci pohonu do hnacího ústrojí vozidla společnosti Hyliion; upraveno dle [60]

Vůz (obr. 32) je osazen lithium-titanátovou baterií (LTO) patentovanou společností Hyliion. Svazek s hustotou energie 60–110 Wh/kg disponující energetickou kapacitou 7 kWh má životnost 10 000 – 20 000 cyklů. [60]

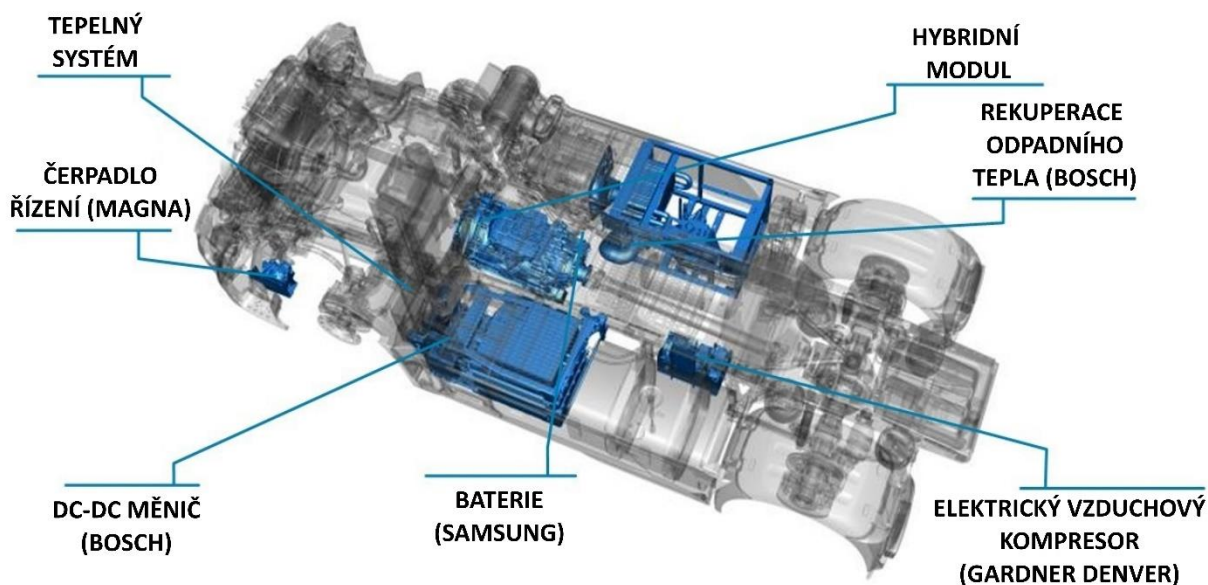
3.6.3 PROJEKTOVÉ VOZIDLO DAF XF ECOCHAMPS

Jiným příkladem nákladního automobilu s paralelním hybridním pohonným řetězcem může být tahač vyvinutý v rámci projektu Ecochamps zaměřujícího se na hybridní hnací ústrojí. [61] Vozidlo sice není určeno pro sériovou výrobu, úprava jeho pohonu však byla podnícena platnými emisními normami pro nákladní vozidla, vydanými Evropskou komisí. [62] Ecochamps testuje existující komponenty, velkosériově vyráběné pro hybridní řetězce osobních automobilů s 400V technologií. [61] Tyto součásti zapojuje do pohonného řetězce rovněž sériového vozu DAF XF FT Super Space Cab s třináctilitrovým naftovým motorem PACCAR MX-13 o výkonu 340 kW. Jako hlavní cíle si projekt klade zvýšení účinnosti pohonného řetězce o 20 %, dále redukci jeho hmotnosti a objemu při zachování plnění emisní normy Euro6. Vzhledem k pomalu se rozšiřujícím hybridním technologiím na trhu nákladních automobilů v době realizace projektu (2018) byla brán ohled i na dodatečnou cenu přidávaných technologií. Hybridizované vozidlo nemělo svou konečnou cenou přesáhnout 110 % ceny výchozího modelu. [62]

Základním prvkem hybridního hnacího ústrojí vozidla je vysokonapěťová baterie Samsung sestávající z několika modulů s možností dalšího rozšíření. Svazek sestává z LiPF₆ článků (lithium-iontová baterie s hexafluorofosforečnanem lithným), z nichž každý má kapacitu 28 Ah, baterie poskytuje využitelnou energii 16 kWh při nominálním napětí 300 V. Baterie musela být vyladěna, aby pokryla rozsahy napětí, při nichž fungují jednotlivé poháněné elektrické součásti. Synchronní stroj o špičkovém výkonu a točivém momentu 100 kW, 250 Nm a

integrovaná redukční převodovka zvyšující špičkový točivý moment na 750 Nm. Dále byl optimalizován tepelný systém automobilu, přičemž byla přidána funkce rekuperace odpadního tepla firmy Bosch. Systém e-WHR pracuje na principu Rankinova cyklu a využívá výparník k ohřevu kapaliny teplem z výfukových plynů. Ohřátá tekutina následně putuje do jednotky expandéru (uvolňovače), kde generátor přeměňuje teplo na střídavý proud (elektrickou energii). Ten je střídačem přeměněn na proud stejnosměrný. Přeměněná energie je uložena v akumulátoru pro její pozdější využití k pohonu elektrického stroje nebo též elektrického vzduchového kompresoru. Ten byl vyvinut v rámci Ecochamps, stejně jako elektrifikované hydraulické čerpadlo řízení (EHSP). EHSP bylo z důvodu nízkého požadovaného napětí připojeno k palubnímu 24V stejnosměrnému oběhu. K jeho realizaci byl využit DC/DC měnič, který snižuje napětí poskytované baterií. [62]

S uvedenými modifikacemi došlo ke zvýšení účinnosti pohonné řetězce o 17,4 % při snížení jeho hmotnosti a objemu o 13 %, resp. 17 %. Dojezd čistě na elektřinu při konstantní rychlosti 50 km/h a průměrném zatížení (average loading factor) činil 14 km. [62]



Obr. 33 Schéma podvozku vozidla Ecochamps s hybridizovaným pohonem; upraveno dle [62]

3.7 HYBRIDIZACE STÁVAJÍCÍ NÁKLADNÍ DOPRAVY

3.7.1 DODATEČNÁ ELEKTRIFIKACE OJETÝCH VOZŮ

Vedle výše zmiňovaného výrobce elektrických nákladních vozidel Hylion, poskytuje řešení k dodatečné elektrifikaci vozového parku například společnost Webasto. Ta nabízí NMC akumulátory instalovatelné namísto palivových nádrží automobilu. Vůz je možné osadit 1-10 modulárními bateriovými svazky (kapacita 35–350 kWh) konfigurovatelnými na 400V nebo 800V napětí. Současně je dodáván i chladič systém. [63]

3.7.2 VYUŽITÍ VNĚJŠÍHO ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE

Od roku 2019 probíhají na úsecích německých dálnic A1, A5 a silnice B462 testy tahačů vybavených baterií, která je během jízdy dobíjena z trolejového vedení o vysokém napětí (670 V) nataženého nad vozovkou. [64,65] V pilotním projektu nazvaném eWayBW jsou zde testovány vozy využívající různá pohonná ústrojí, dodatečně vybavené sběračem proudu. Výhodou řešení je skutečnost, že baterie se při kontaktu s drátů nabíje do plna a vůz po sjezdu z „elektrifikované komunikace“ může využít celou kapacitu baterie k samostatné plně elektrické jízdě. Zhodnocení provozu na prvním jmenovaném úseku by mělo proběhnout v první čtvrtině roku 2023. [65]

3.8 BUDOUCNOST

Vedoucí oddělení e-mobility značky Scania, Fredrik Allard, uvedl, že vozidlo HEV vnímá jako určitý vývojový mezistupeň. Do budoucna věří v jeho nahrazení bateriovými elektromobily, jejichž nástup však bude možný teprve po zajištění vyššího dojezdu těchto vozů a dokončení dostatečné sítě dobíjecích míst na všech trzích, kde značka působí. Tento pohled koresponduje se současnými trendy v nákladní automobilové dopravě. [48]

Hybridní naftová nákladní vozidla se stala předmětem diskuze kolem roku 2010, kdy v návaznosti na silící snahu o snížení emisí z dopravy začalo vznikat množství prototypů s tímto pohonným ústrojím. Hybrid byl v této době považován za nejvýhodnější možné východisko, neboť se jednalo o v praxi již vyzkoušenou technologii. Vývoj tímto směrem byl do velké míry zapříčiněn komerčním úspěchem osobního hybridního automobilu Toyota Prius, který se zejména na americkém trhu stal velmi rozšířeným. [66]

Ačkoliv se hybridní pohonný řetězec pokusili využít i renomovaní výrobci (mj. Paccar) k většímu rozšíření v odvětví nákladních automobilů nikdy nedošlo. Důvodem byla absence výhod oproti konvenčním vozům v reálném provozu ve flotilách dopravců. Hybridní pohon měl poskytnout úspory v podobě snížené spotřeby paliva a vyššího dojezdu. Baterie jsou u HEV nabíjeny prostřednictvím regenerativního brzdění a poskytují podporu při rozjezdech, akceleraci, či v nižších rychlostech. Tahače a nákladní automobily převážně užívané k dálkové přepravě po dálnicích při vyšších rychlostech nejsou schopni těchto benefitů využít. V konečném důsledku hybridní nákladní vůz většinu času využívá spalovací motor. Vozidlo se tak stává pro dopravce v důsledku přidaných nákladů za baterie finančně nevýhodným, současně nedochází k výraznějšímu omezení produkce spalin. [66]

V současné době se tak automobilky soustředí v oblasti ekologických vozidel na vývoj bateriových či vodíkových elektrických vozidel, které během jízdy vykazují nulovou uhlíkovou stopu. Hybridní pohon se mezitím rozšiřuje u městských linkových autobusů, nebo techniky operující mimo silnice. Zde se díky častému zastavování a rozjíždění výhody přídavného elektromotoru projevují více. Podle slov Christiana Hottgenrotha, vedoucího obchodu společnosti Scania v Rakousku, je hlavní motivací k prodeji PHEV zvyšující se počet bezemisních zón právě v centrech evropských měst. [48]

4 ELEKTRICKÉ AUTOMOBILY (EV)

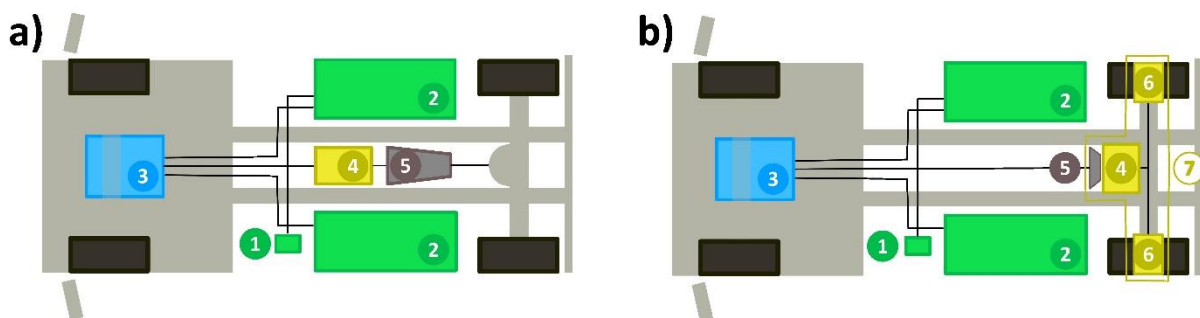
Čistě elektrické automobily nedisponují spalovacím agregátem a jejich provoz je zcela bezemisní. [67] Současnou produkci EV je možno rozdělit na dvě skupiny v závislosti na použitém zdroji pro pohon elektrického stroje:

- Bateriové elektrické vozy (BEV)
- Elektrické vozy s vodíkovými články (FCEV)

4.1 BATERIOVÉ ELEKTRICKÉ VOZY (BEV)

Zkratkou BEV jsou označována vozidla, jež k napájení motoru/generátoru využívají výhradně baterie. Těžká nákladní vozidla jsou nejčastěji osazována lithium-iontovými bateriemi pro dlouhou životnost a vysokou účinnost tohoto typu akumulátoru. Bateriové svazky jsou kvůli dobrému rozložení hmotnosti vozidla uloženy standardně v rámu podvozku. Elektrická energie z vysokonapěťového akumulátoru je DC/AC střídačem přeměňována na střídavý el. proud. Motory následně elektrickou energii převádí na energii mechanickou. EV mají většinou schopnost regenerativního brzdění. [67] Výhodou el. pohonného řetězce je kromě kompaktnosti a nízké hlučnosti i dlouhá životnost komponentů. Ta je způsobena menším množstvím pohyblivých součástí v pohonném řetězci oproti vozidlu s konvenčním pohonem. Systém je tak méně citlivý na vibrace. [8]

Nákladní BEV lze pomyslně dále rozdělit z hlediska organizace hnacího ústrojí podle toho, zda využívají integrovanou elektrickou nápravu (IEN).



Obr. 34 Architektury BEV: a) bez IEN, b) s IEN; 1 - konektor, 2 - baterie, 3 - jednotka distribuce energie, 4 - MG, 5 - převodovka, 6 - MG integrované v nábojích kol, 7 - IEN

4.1.1 SOUČASNÁ VOZIDLA S POHONNÝM ŘETĚZCEM BEZ IEN

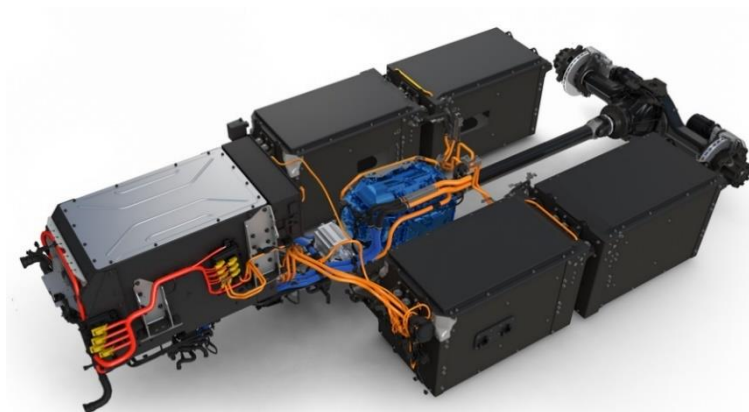
VOLVO

Zástupcem první zmíněné skupiny BEV jsou například nákladní vozidla FL Electric značky Volvo. Součástí jejich pohonného řetězce je modulární elektro-agregát umístěný na přední nápravě vozidla. Agregát řídí nabíjení akumulátorů, celkové chlazení pohonného systému a zároveň reguluje změnu napětí 600 V (pro hnací ústrojí) / 24 V (přístroje v kabině). Na bocích rámu šasi se nachází 4–6 trakčních akumulátorů. Vyrobeny jsou z lithium-mangan-oxidu kobaltu, mají energetickou kapacitu 50 kWh a údajnou životnost 8–10 let. Motor/generátor

s permanentním magnetem je umístěn v rámu uprostřed, mezi bateriovými svazky. Za ním je řazena dvourychlostní převodovka a vzduchový kompresor dodávající energii do vzduchových rekuperačních brzd (pneumatické brzdy s technologií Scroll). Volvo v současnosti nabízí na českém trhu bateriově-elektrický pohon jako alternativu již u 5 svých modelových řad tahačů a nákladních vozidel. [8]

DAF

Výrobce DAF nabízí celou řadu různých specifikací čistě elektrického pohonu pro nákladní vozidla i tahače. O pohon nákladních vozů řady XD a XF Electric se starají elektromotory PACCAR EX-D1 a PACCAR EX-D2 s permanentními magnety, jejichž výkon se pohybuje v rozmezí od 170 do 350 kW a jejichž točivý moment je 1200–1975 Nm. Jednotlivé specifikace se dále liší počtem řad baterií ve svazku, kdy celková kapacita svazku může dosáhnout až 525 kWh v závislosti na konfiguraci. To podle výrobce zajišťuje dojezd vozidla až 500 km. I největší bateriový svazek lze plně nabít za méně než 2 hodiny a je zde možnost rychlého nabíjení stejnosměrným proudem s výkonem až 325 kW. Nabízí se taktéž palubní nabíječka schopná nabíjení 22 kW střídavého proudu. [68]



Obr. 35 Uspořádání pohonného řetězce vozidla DAF XF Electric [69]

Modelová řada CF je jako elektromobil nabízena ve formě nákladního vozu s pohonem 6x2 i jako tahač (4x2). Obě verze disponují elektrickým motorem/generátorem značky VDL o výkonu a špičkovém výkonu 210, respektive 240 kW o elektrickém výkonu 315, resp. 350 kWh. Plné nabití nabíječkou s parametry (250 kW/400 A) trvá 75 minut, přičemž vozidlo na jedno nabití ujede až 250 km. Vozidlo CF Electric má tři stupně regenerativního brždění ovladatelné pákou na sloupku řízení. Tím se maximalizuje dojezd a životnost brzd. [68]

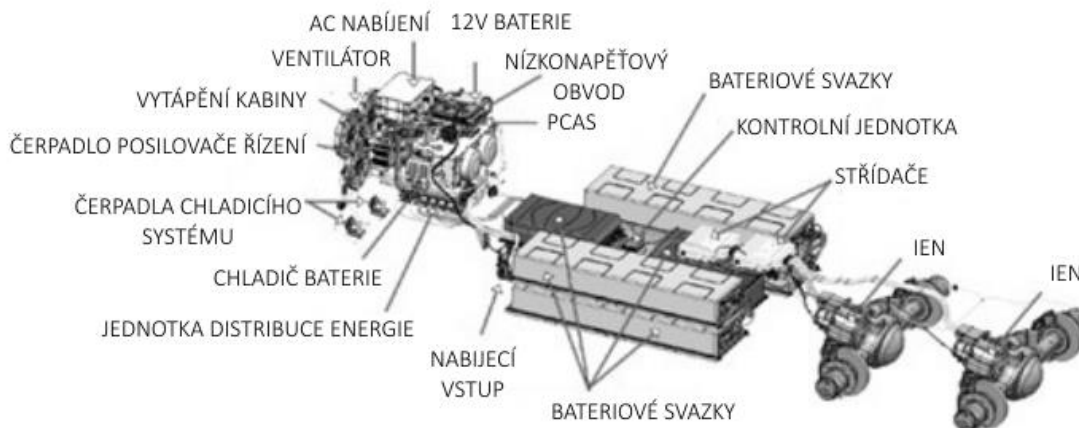
Modelová řada nákladních vozidel s pohonem 6x2 LF Electric disponuje pohonným řetězcem TM4 Sumo HD s el. strojem s permanentními magnety od výrobce Dana a bateriemi o celkové kapacitě 282 kWh (efektivní kapacita 254 kWh). Všechna elektrická vozidla výrobce využívají LFP akumulátory (Lithium Ferro Phosphate), které neobsahují kobalt a hořčík. Dále DAF Trucks jako volitelnou výbavu nabízí elektrický přídatný pohon (e-PTO) pro zajištění chodu přídatných zařízení nutných pro případné specifické nastavby vozu (například chladič box,

nebo elektro-hydraulické rameno). Není tedy potřebný přídavný zdroj energie a automobil je plně bezemisní. [70]

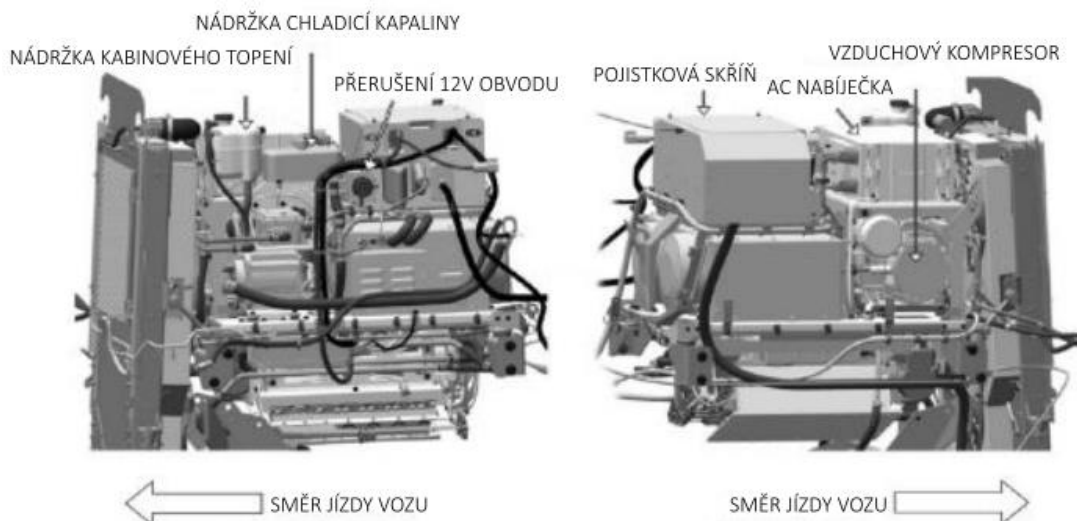
4.1.2 SOUČASNÁ VOZIDLA S POHONNÝM ŘETĚZCEM S IEN

PETERBILT

Kromě značek DAF/Kenworth využívá prvků k elektrifikaci Dana ve spojení s IEN od Meritoru ve svých nákladních automobilech též spřízněná americká společnost Peterbilt. Vedle modelu 220EV (obdoba vozidla DAF LF pro americký trh) nabízí elektrifikaci taktéž u třinápravového tahače 579EV. [71] Jeho hnací řetězec sestává z ovládacího systému PCAS (Power Control and Accessory System) navíc doplněného nádržkami kabinového vytápění a chladicí kapaliny. Součástí je též AC nabíječka a pojistková skříň umístěné v horní části jednotky a modul kontroly řízení v části zadní. Jednotka PCAS je umístěna namísto konvenčního motoru pod kapotou v přední části tahače. Tato poloha zaručuje snadný přístup, výměnu provozních kapalin a údržbu elektroniky. Termálně řízené svazky hnacích baterií jsou rozmístěny po obou bocích i ve středu rámu podvozku, přičemž na jeho levé straně se mezi kabinou a baterií nachází konektor CCS1 umožňující nabíjení akumulátorů prostřednictvím AC i rychlonabíjení DC. Uprostřed šasi mezi svazky se nachází řídicí modul pohonného ústrojí (PCM). [72] Ten vyhodnocuje signály ze senzorů teploty hnacího řetězce nebo pohybu plynového a následně na základě získaných informací řídí jednotlivě činnost elektrických náprav. Některé informace ze systému jsou rovněž promítány na palubní desku pro informaci řidiče (např. stav nabití baterie, aktuální využití výkonu nebo dostupný točivý moment). [73] Tahač 579EV disponuje dvěma elektrickými nápravami Meritor, kterými jsou poháněna zadní kola (pohon 6x4). Každá z nich je připojena k vlastnímu střídači, které jsou umístěny za sebou na bateriovém svazku ve středu rámu podvozku. [72]



Obr. 36 Uspořádání pohonného řetězce vozidla Peterbilt 579EV; upraveno dle [72]



Obr. 37 Přidané komponenty na PCAS Peterbilt 579EV; upraveno dle [72]

Podvozek může mít dva různé rozvory – 4826 mm pro konfiguraci bez ePTO, při instalovaném pomocném náhonu 5486,4 mm. Mezi bateriovým svazkem a prostřední hnací nápravou tak vzniká prostor pro jednotku ePTO od výrobce Meritor montovanou na levý bok vnějšího rámu vozidla. Plné nabití baterií o kapacitě 400 kWh trvá 3 hodiny a zajišťuje dojezd cca 240 km. Výkon tahače o hmotnosti lehce přes 37 tun tak činí 400 kW, resp. 500 kW (špičkový výkon).

Peterbilt pracuje i na elektrifikaci nákladních vozů určených pro městský provoz. Třínápravový popelářský vůz 520EV této značky je poháněn, stejně jako tahač, dvěma elektrickými nápravami Meritor 14Xe. Podobně též nabízí prodloužený rozvor s možností montáže ePTO. [72]

VOLTA TRUCKS

Prvními evropskými nákladními vozidly využívajícími integrovanou elektrickou nápravu jsou vozidla britsko-švédské start-upové společnosti Volta Trucks. Nákladní automobil Volta Zero je 16tunový plně elektrický nákladní automobil s vlastní aerodynamickou nástavbou. S baterií (150–225 kWh) umístěnou centrálně v rámu podvozku kombinuje pohonné ústrojí Meritor Blue Horizon 14Xe se zadní IEN. Vůz s dojezdem 150–200 km z výrobní linky švédské společnosti sjíždí i ve verzi s chladicím boxem. [74] První vůz vyjel z továrny v Steyr v Rakousku v září 2022, od prosince stejného roku 16 jednotek elektrického vozu provozuje např. francouzská firma Heppner. [75,76]



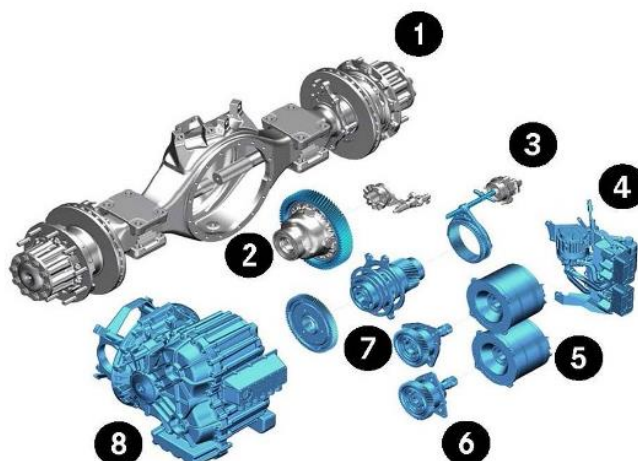
Obr. 38 Vozidlo Volta Zero v provozu [77]

4.1.3 DALŠÍ SOUČASNÁ BEV

MERCEDES-BENZ

Podobnou koncepci jako Scania využívá od roku 2021 u svého modelu eActros také Mercedes-Benz. Jedná se o první plně elektrický model značky, druhým se stal o rok později víceúčelový vůz eEconic vhodný např. jako základ pro nástavbu ke svozu odpadu, nebo domíchávače betonu. Oba zmíněné vozy jsou poháněny e-nápravou s dvěma integrovanými motory o celkovém špičkovém výkonu 400 kW a vestavěnou dvoustupňovou převodovkou (2 stupně vpřed i vzad). Oba též disponují systémem e-PTO. [78]

Testování dvou a třinápravových elektrických nákladních vozů značky v rámci flotil vybraných dopravců začalo již roku 2018. Zkoušek desítky automobilů se účastnily společnosti v Německu a Švýcarsku. Rám BEV byl oproti tehdejšímu vozu Actros s konvenčním pohonem lehce modifikován. V blízkosti nábojů každého z kol zadní nápravy byly montovány kapalinou chlazené trojfázové asynchronní motory, jakožto přídatný pohon. Při napájení nominálním napětím 400 V každý z nich na výstupu poskytoval 125 kW výkonu a maximální točivý moment 485 Nm. Ten byl pomocí převodů modifikován na 11 000 Nm pro každý motor. Veškeré příslušenství prototypu bylo poháněno bateriemi, jež bylo možné dobít skrz standardní CCS konektor. Nízkonapěťová palubní síť sestávající z dvou konvenčních 12voltage baterií byla nabíjena přes DC-DC měnič bateriemi vysokonapěťovými. Celý projekt byl finančně podpořen Německým spolkovým ministerstvem životního prostředí a Spolkovým ministerstvem hospodářství a energetiky. [79]



Obr. 39 Elektrická náprava vozu Mercedes-Benz eEconic: 1 - pouzdro hnací hřídele (poloosy), 2 - diferenciál, koncový převod, 3 - spínací modul, 4 - chladič modulu, 5 - elektromotor/generátor, 6 - stacionární planetová převodovka, 7 - řaditelná planetová převodovka, 8 - hliníkový nosič pouzdra [80]

RENAULT TRUCKS

Významným producentem čistě elektrických nákladních vozidel je francouzský Renault. Značka nabízí své modely D a D-Wide vybavené dvěma motory/generátory (370 kW/850 Nm) napájenými lithiem-iontovou baterií o kapacitě 200-375 kWh a 2stupňovou převodovkou. Vozy s dojezdem až 315 km lze nabíjet střídavým i stejnosměrným proudem. [81]

SCANIA

Scania v současné době též nabízí plně elektrické tahače a nákladní vozy (kabina R, S) s nástavbou vybavené pomocným pohonem (PTO). O vlastní pohon vozidel se starají celkem 3 elektromotory, které jsou poháněny akumulátory vyvinutými přímo značkou. Podobně jako u konkurence, pohonný systém současně reguluje teplotu akumulátoru a příslušenství. Akumulátor o využitelné kapacitě 468 kWh v kombinaci s pohonem o kontinuálním výkonu 410 kW umožňuje při celkové hmotnosti soupravy 40 tun dojezd až 350 km. Vozidlo je vybaveno konektorem CCS2 pro nabíjení výhradně stejnosměrným proudem. Pro vozidla regionální přepravy (modely s kabinami P, L) je instalováno 9 lithiem-iontových akumulátorů (pro rozvory přes 4350 mm), nebo 5 akumulátorů (rozvory nad 3950 mm). Ty dodávají energii synchronnímu elektromotoru s permanentními magnety, jenž poskytuje kontinuální výkon 230 kW při 1300 Nm. [82]

4.1.4 BUDOUCNOST

Švédská společnost Scania ve své tiskové zprávě z r. 2021 predikuje, že do roku 2025 bude schopna elektrifikovat většinu automobilů ze svého sortimentu včetně vozidel pro stavebnictví nebo těžbu dřeva. Připouští však, že přechod na elektřinu nebude pro velkou část klientely

značky možný/výhodný. Do roku 2030 má 50 % prodejů Scanie tvořit elektromobily. Firma opět zmiňuje problematiku nedostatečně rozvinuté dobíjecí infrastruktury a dále počítá s vlastní m vývojem komponent pohonných řetězců k elektrifikaci dopravy. [83] Příkladem snahy o elektrifikaci ve všech odvětvích dopravy může být plně elektrický vůz Scania 25L s ramenem a zhutňovačem pro sběr odpadu z podzemních kontejnerů. Od ledna 2023 jej v Kodani provozuje firma Urbaser. [84]

V poslední době se při konstrukci elektrických nákladních vozidel stává trendem využití IEN. Kromě výše uvedených příkladů aplikuje tuto koncepci pohonu ve svém tahači 8TT například čínský producent nákladních vozidel BYD Auto, nebo americká značka Freightliner (Daimler Truck North America). [85,86] Ta model eCascadia vybavuje elektrickým pohonným řetězcem firmy Detroit využívajícím jednu nebo dvě e-nápravy. Vzhledem ke kompaktnosti a viditelné rostoucí oblibě, lze očekávat v této oblasti další vývoj. [86]

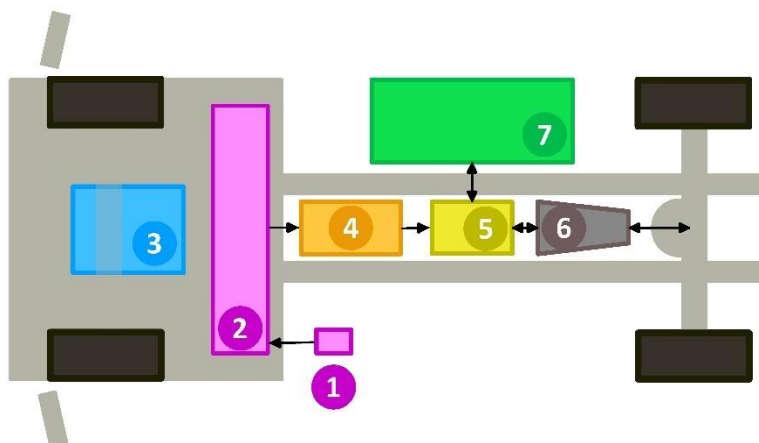
Mercedes-Benz v roce 2024 plánuje další rozšíření elektrického vozového parku o tahač s prodlouženým dojezdem. Na veletrhu nákladních vozidel v Hannoveru (2022) byl středobodem prezentace značky prototyp plánovaného automobilu. Ten nese označení eActros LongHaul a získal ocenění 2023 Truck Innovation Award. Na veletrhu stavební techniky Bauma v Mnichově (2022) byl představen jako sklápěč. Vybaven je systémem generujícím kontinuální výkon 58 kW a 300 Nm točivého momentu (v sériovém provedení by měl být výkon podstatně vyšší). Systém kombinuje střídač, elektrický MG, řídicí jednotku a konvenční hydrauliku sklápěcího návěsu. Tento pomocný pohon převádí pomocí měniče stejnosměrný proud z vysokonapěťové sítě na proud střídavý a pohání přídatný elektromotor, který slouží k pohonu hydraulického čerpadla. Kompaktní design celého systému zajišťuje kompatibilitu tahače se standardními návěsy. O samotný pohon vozidla se stará nově vyvinutá e-náprava se dvěma integrovanými elektromotory o celkovém výkonu 400 kW. Napájena je ze tří bateriových sad umístěných pod rámem podvozku. Baterie využívající technologii lithium-železo fosfátových článků (LFP) se vyznačují dobrou životností a vysokou účinností. Jejich celková kapacita je více než 600 kWh. U vozu eActros je možné vysoce výkonné/megawattové nabíjení. V současnosti prochází vozidlo intenzivními silničními testy. [87]

Mercedes-Benz Trucks dále na Bauma prezentoval i model eActros 300 s elektrifikovaným řešením sklápěče od firmy Meiler, nebo prototyp těžkého bateriového vozu Arocs s elektrickým domíchávačem betonu ETM-905 firmy Liebherr. Druhý zmíněný automobil může být vybaven šesti nebo sedmi bateriovými svazky (jeden svazek o využitelné energii 60 kWh) a 800V palubním elektrickým systémem. Vůz s dojezdem až 200 km bude navíc možno nabíjet i střídavým proudem. Automobil by se měl v limitované sérii dostat na trh před koncem roku 2023. Mercedes-Benz tedy v současnosti intenzivně elektrifikuje nákladní vozidla všech svých modelových řad. [87]

Automobilka MAN plánuje dle informací z IAA v Hannoveru ze září roku 2022 sériovou produkci čistě elektrického vozidla spustit v roce 2024. Od roku 2040 poté celkový ústup značky od fosilních paliv. [88]

4.2 ELEKTRICKÉ VOZY S VODÍKOVÝMI ČLÁNKY (FCEV)

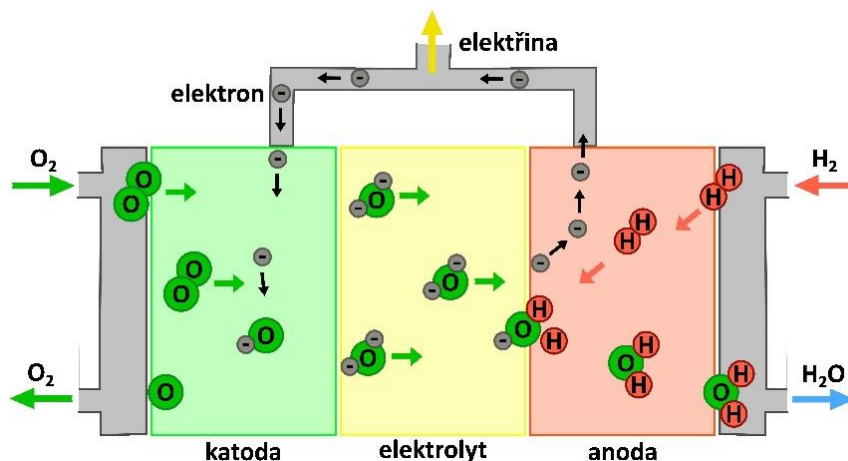
Zkratkou FCEV (Fuel-Cell Electric Vehicle) jsou označována elektrická vozidla, u nichž je elektřina pro pohon motor/generátoru získána z palivových článků. Energie z nich je přiváděna do DC/AC měniče, po nastavení úrovně napětí dochází k přenosu energie do motoru a dále motorem do převodovky a na hnací nápravu. Tento pohonný řetězec se od tradičních elektromobilů liší právě zdrojem energie, jehož funkci u FCEV namísto vysokonapěťových baterií zastávají palivové články. [67]



Obr. 40 Uspořádání pohonného řetězce nákladního FCEV: 1 - vstup pro nabíjení, 2 - nádrže na vodík, 3 - jednotka distribuce energie, 4 - vodíkový systém, 5 - MG, 6 - převodovka, 7 – baterie; upraveno dle [89]

PALIVOVÝ ČLÁNEK

Palivový článek je definován jako zařízení generující elektřinu prostřednictvím elektrochemické reakce (ne spalováním). Narozdíl od baterie a podobně jako spalovací motor ale ke své činnosti vyžaduje kontinuální přísun „paliva“ – vodíku a kyslíku. Palivový článek sestává z anody, katody a iontovodičové membrány (PEM). Katodou palivového článku prochází kyslík, anodou vodík, přičemž v místě anody štěpí platinový katalyzátor molekuly vodíku na protony a elektrony. Vzniklé protony procházejí porézní elektrolytovou membránou. Elektrony nejsou membránou propuštěny a jsou tak na katodu hnány externím obvodem, a tím generují teplo a elektrický proud. Na katodě se elektrony a protony vážou na kyslík, čímž vytvářejí molekuly vody. H_2O je vedle tepla jediným vedlejším produktem reakce, systém se tedy vyznačuje ekologickým chodem bez emisí uhlíku. Oproti spalovacím motorům články též dosahují vyšší účinnosti při tišším chodu. V automobilovém průmyslu jsou v pohonných řetězcích vozů využívány svazky vzniklé spojením několika palivových článků. [90]



Obr. 41 Schéma elektrochemické reakce probíhající v palivových článcích; upraveno dle [91]

4.2.1 SOUČASNÁ PRODUKČNÍ VOZIDLA

HYUNDAI

Průkopníkem ve vývoji vozidel s vodíkovými články je jihokorejská značka Hyundai zabývající se vývojem v této oblasti již více než 20 let. Její model XCIENT Fuel Cell je rovněž prvním nákladním sériově vyráběným vozem využívajícím tohle palivo. Počínaje modelovým rokem 2021 je model vybaven sedmi palivovými nádržemi o celkovém objemu odpovídajícím 31 kilogramům vodíku natankovaným při plnicím tlaku 350 bar. Nádrže jsou v horizontální poloze připevněny k zadní části kabiny řidiče a jejich úplné naplnění nádrže trvá v závislosti na okolní teplotě vzduchu 8–20 minut. Před zadní nápravou je na pravý bok rámu umístěn set tří vysokonapěťových (630V) baterií o celkové kapacitě 72 kWh, který slouží jako přídavný zdroj energie. Vodíkový systém o výkonu 180 kW (2 zásobníky po 90 kW) je situován do podvozku pod kabinu. Primární pohonnou jednotkou vozu je elektromotor/generátor o výkonu 350 kW a maximálním točivém momentu 2237 Nm nacházející se na levé straně šasi naproti bateriím. Nákladní automobil je nabízen s konfiguracemi podvozku a pohony 4x2 nebo 6x2 a automatickou šestistupňovou převodovkou Allison ATM 4500R. [92]

Model XCIENT se stal v listopadu 2022 prvním nákladním vozem schváleným pro silniční provoz v Německu. [93] Již o dva roky dříve schválen pro provoz na silnicích v sousedním Švýcarsku. Mezi lety 2020 a 2022 bylo tamním 23 klientům dodáno 47 vozidel, které v tomto období v součtu urazily 5,7 milionů kilometrů. [94] V první polovině roku 2023 plánuje Hyundai Motor s vozem vstoupit i na severoamerický trh, plánovaná je též další expanze v rámci Evropy. [92]



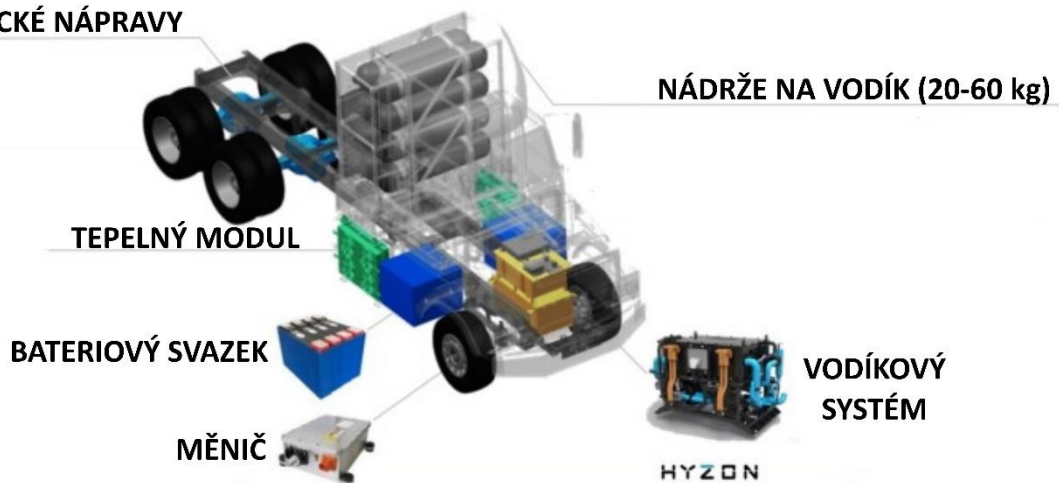
Obr. 42 Vůz Hyundai XCIENT [95]

FAUN-ZOELLER

Prvním celoplošně schváleným FCEV k provozu v EU se stal 2022 víceúčelový vůz společnosti Faun-Zoeller postavený na podvozku Mercedes-Benz Econic. Vůz je v podstatě hybridem kombinujícím energii z akumulátorů a vodíkových článků. Baterie (85 kWh) jsou instalovány namísto konvenčního motoru, moduly s vodíkovými články (3x30 kW) jsou pak umístěny po pravé straně rámu podvozku vozu. Společně s bateriovými svazky napájí elektrický stroj (240 kW, 4050 Nm) umístěný za přední nápravou, která je zároveň nápravou hnací. Nádoby na plynný vodík jsou upevněny k levé straně rámu mezi přední a přední-zadní nápravou. Mezi kabinou a nástavbou vozidla se nachází panel s chladiči zdrojů energie a ve spodní části vestavěnými rozvodovými skříněmi nízkého a vysokého napětí. Vůz disponuje konektorem CCS umožňujícím nabíjení DC, na přání i AC. Šasi je využitelné pro vozy s chladičím boxem, vozy pro svoz odpadu, čisticí vozy a další nástavby. [96]

HYZON

Dalším příkladem produkčního nákladního vozu může být tahač HyMax-450 amerického výrobce Hyzon Motors Inc. postaveného na šasi DAF. Zmíněné vozidlo výrobce dodal v roce 2021 nizozemské dopravní společnosti Transport Groep Noord. Ve stejném roce byla podepsána dohoda o dodání dalších dvou kusů australské společnosti Coregas Pty Limited. Vedle tahače nabízí Hyzon také vodíkové nákladní vozidlo pro městský provoz na bázi modelové řady DAF LF, nebo nákladní vozidlo s nástavbou sdílející platformu s DAF CF. [97]

ELEKTRICKÉ NÁPRAVY

Obr. 43 Příklad pohonného řetězce Hyzon využitého v sériovém modelu tahače určeném pro americký trh; upraveno dle [97]

4.2.2 DALŠÍ TECHNOLOGIE

GARRETT FCEV COMPRESSOR

Firma Garrett vyvinula vysokotlaký elektrický kompresor, který zvyšuje tlak a průtok ve vodíkových článkách FCEV vozidel, čímž zlepšuje účinnost pohonu a hustotu výkonu. Navíc může být od výrobce vybaven expandérem turbíny, který umožňuje shromažďovat energii výfukových plynů, a tím snižuje elektrickou energii potřebnou k pohonu turbokompresoru palivových článků až o 20 %. Výrobek představený na veletrhu v Hannoveru (2022) je konstruován pro lehká i těžká užitková vozidla a je kompatibilní s pohonnými řetězci využívající libovolné palivo. [98]

VDL

Energii z vodíkových článků využila v roce 2020 při silničních testech tahače DAF s návěsem upravených firmou VDL Groep i belgická společnost Colruyt Group. Prototyp byl vybaven lithium-iontovou baterií zajišťující čistě elektrický 40km dojezd. K tahači byl připojen návěs vybavený technologií palivových článků, které nabíjely akumulátor. S nádržemi na 30 kg vodíku se dojezd čistě elektrického vozidla prodloužil o zhruba 300 km. Cílem šestiměsíčního testování bylo demonstrovat využitelnost vodíku jako paliva pro těžké nákladní automobily snaha společnosti o hledání možností elektrifikace vlastního vozového parku. [99]

4.2.3 BUDOUCNOST

O vývoj vodíkového pohonného ústrojí usilují podobně jako VDL i další společnosti, například ZF ve spojení s Freudenberg. S přihlédnutím ke zmíněným strategiím velkých výrobců, je tak možné zejména v druhé polovině 20. let očekávat rostoucí počet FCEV nákladních automobilů na světových trzích. [100]

VYUŽITÍ KAPALNÉHO VODÍKU

Mercedes-Benz v listopadu roku 2022 úspěšně dokončil testy vodíkového prototypového tahače GenH₂, který stál na základech sériového modelu Actros. Vůz se zatížením simulujícím běžný provoz byl zkoušen na 120km úseku dálnice mezi rakouským Innsbruckem a italským Bolzanem, kde se nachází vodíková čerpací stanice. Test byl primárně zaměřen na spolehlivost vodíkového systému ve vysokých nadmořských výškách. Koncept je raným vývojovým stádiem FCEV tahače s dojezdem 1000 km, jehož sériovou produkci plánuje výrobce spustit v druhé polovině dekády. Model GenH₂, narozdíl od vozidel ostatních zmíněných výrobců, k pohonu využívá kapalný vodík (LH₂, liquid hydrogen). V porovnání s plynnou formou vodíku má kapalný výrazně vyšší hustotu energie, je tudíž možné využít menší nádrže při zachování dojezdu. Do samotného palivového článku vchází ale i zde vodík v plynné fázi. [101]

Vzhledem k tomu, že kapalný vodík je skladován při velmi nízkých teplotách (bod varu - 253 °C) však koncern Daimler musí vyřešit problematiku jeho uchovávání v rámci možných budoucích plnicích stanic. [102]

Současná infrastruktura je uzpůsobena ke skladování plynného skupenství při vysokém tlaku (pro nákladní vozidla 350 bar, pro osobní 700 bar). Největší provozovatel stanic v Německu, společnost H2 Mobility, se plánuje v další fázi expanze zaměřit na potřeby nákladních automobilů a je otevřena rozšíření LH₂. Podle slov výkonného ředitele Daimler Truck, Martina Dauma, budou však plnicí stanice schopny „podporovat“ pouze jednu z technologií a výrobci se tak budou muset ve věci sjednotit. Konkurenční Volvo též v posledních letech (2022) podrobuje testům prototyp vodíkového tahače se slibovaným dojezdem 1000 km na jedno plnění. Švédská automobilka však nadále počítá s plněním plynným vodíkem. [102]



Obr. 44 Vodíkový systém vozu Mercedes-Benz Gen H₂ Truck [103]

5 VLASTNÍ ZHODNOCENÍ

Rozvoj nákladních vozidel využívajících tradiční hybridní pohonný řetězec (kombinace naftového spalovacího a elektrického motoru) v budoucnosti již pravděpodobně nenastane. Na vině je již zmíněná neefektivita tohoto pohonu na dálkových trasách, kdy vozidlo využívá výhradně spalovací motor. Nákladná baterie se v těchto případech stává nepotřebnou, neboť je pouze přidanou zátěží a nezajišťuje ani emisní úsporu. [66] O možném budoucím uplatnění hybridních nákladních vozů by se dalo uvažovat jen v městských oblastech. Vzhledem k rozšiřujícím se bezemisním zónám v evropských městech a současnému nedostatku nabíjecí infrastruktury, by mohly hybridní automobily dočasně poskytnout řešení pro obsluhu těchto částí měst. Další vhodnou aplikací pro hybridní pohon jsou popelářské vozy, které díky specifickému jízdnímu režimu (časté rozjezdy/zastavování) mohou využít výhod systému start-stop, nebo možnosti rekuperace brzděné energie. Dojezd několika desítek kilometrů čistě na elektřinu typický pro současná HEV není pro tyto vozy limitující. [96] Hybridizace by měla ekonomický i ekologický přínos rovněž při rozšíření mezi vozy operující mimo silnice (na stavbách, v lesech, v dolech). Vedle bezemisního provozu by byl navíc omezen hluk, což by bylo přínosné u všech zmíněných aplikací. To podporuje fakt, že hybridní pohony jsou již v dnešní době hojně využívány u městských autobusů. [104] S rozvojem dobíjecích stanic se však dá očekávat, že hybridní technologie bude i v těchto aplikacích v blízké budoucnosti plně nahrazena čistě elektrickými, bezemisními vozidly. [48]

V oblasti bateriových vozidel dochází k rychlému růstu počtu vozidel na trhu. Většina zavedených výrobců BEV již nabízí, nebo alespoň plánuje jeho brzké uvedení. [87,88] Hlavní výhoda bateriových automobilů spočívá v jejich nulové uhlíkové stopě. Samotný provoz automobilu neprodukuje žádné CO₂. S provozem BEV však úzce souvisí i způsob výroby energie pro dobíjení vozu, který záleží na energetickém mixu jednotlivých zemí. Ačkoliv panují snahy o ústup od fosilních paliv a přechod k obnovitelným zdrojům a jaderné energetice, uhelné elektrárny stále hrají ve výrobě elektřiny velkou roli. I přesto, podle výrobce Renault Trucks může v evropských zemích znamenat přechod na bateriový vůz trojnásobné až čtyřnásobné snížení produkce emisí CO₂ oproti využívání vozu se spalovacím motorem. Jako konkrétní příklad společnost uvádí naložený popelářský vůz nasazený na trase o délce 72 km s častými zastávkami. V tomto režimu vozidlo se spalovacím agregátem vyprodukuje denně 159 kg CO₂, jeho bateriový ekvivalent na stejné trase v Evropě vykazuje hodnotu 36,9 kg oxidu uhličitého, tedy o 75 % méně. Příklad je třeba vnímat v teoretické rovině, neboť spotřebu energie vozidla ovlivňuje mnoho faktorů (náklad, styl jízdy, počasí apod.). Ekologičnost bateriové nákladní dopravy je však zřejmá, přitom BEV zachovává všechny výhody, které jsou charakteristické pro HEV. Jedinými nečistotami, jež elektrické vozy emitují do ovzduší jsou částice vzniklé při oděru pneumatik a tření brzdových destiček. Tento typ znečištění je však typický pro jakékoliv vozidlo. [6]

Často skloňovanou nevýhodou bateriových vozů je samotný akumulátor. Již jeho produkce není na rozdíl od provozu elektromobilu emisně neutrální a je k ní zapotřebí velké množství energie. Největší výrobci akumulátorů pro elektrifikovaná vozidla sídlí v Číně, kde se současně odehrává 80 % produkce baterií. [105] Výrobu energie v zemi přitom k roku 2021 zajišťovaly ze 67 % tepelné elektrárny. V rámci Evropské unie jsou nejzastoupenějším palivem pro výrobu energie ropné produkty (34,5 % energetického mixu), následované zemním plynem (23,7 %) a tuhými palivy (10,5 %). [107] Obnovitelné zdroje tedy nezaujímají ani třetinu celkového mixu, navíc domácí evropská produkce energie pokryla pouze 41,7 % potřeb. Zbylá energie byla importována, přičemž na prvním místě s velkým nárůstem mezi importéry figurovalo Rusko,

kteře poskytlø téměř čtvrtinu z 57,7 PJ v EU spotřebované energie. V dodávkách zemního plynu byla EU na Rusku závislá na 83,6 %. [106]

Přihlédnout se musí též k rizikům těžby materiálů, které jsou v akumulátorech obsaženy. Například lithium hojně využívané na katodě baterií je získáváno buď z pevné horniny, nebo elektrodialýzou ze zasoleného roztoku (solných plání) ve formě chloridu lithného. [108] Tato sloučenina má výbornou rozpustnost v polárních rozpouštědlech a dle nedávné studie se vzniklá směs s vodou může usazovat na dně povrchových vod. [109] Nejzávažnějším problémem v této oblasti je ovšem těžba kobaltu, jehož použití se již mnoho výrobců akumulátorů vyhýbá. Ložiska kobaltu se nacházejí ve střední Africe, kde probíhá těžba v nehumánních podmínkách za pomoci nedostatečných technologií ve snaze o co možná nejmenší výdaje za těžbu. Například Demokratická republika Kongo je nechvalně proslulá těžbou za pomoci sbíječek a diesellových dopravníků za současného využití dětské práce. Až 90 % kobaltu používaného v čínských bateriových závodech pochází právě z těchto oblastí. Poptávka společností po kobaltu přitom v současnosti nadále stoupá. [110]

Životnost baterií nákladních vozidel se pohybuje kolem 8 let, následně je lze dále použít k uchování obnovitelné energie. Na konci životního cyklu jsou procesem recyklace přeměněny na nové baterie. [6] Ačkoliv recyklační technologie v důsledku růstu trhu s trakčními bateriemi pokročily a v současnosti jsou teoreticky schopny přeměnit až 80 procent baterie, existují zde zásadní komplikace. Prvním problémem je již způsob upevnění baterie k vozu, který není jednotný, a činí tak případnou automatizaci procesu vyjmutí akumulátoru z vozidla obtížnou. Stejně se liší i vlastnosti baterií způsobené různými průběhy chemických reakcí, různým uspořádáním modulů, článků a kabelových svazků. Důvodem odlišnosti v koncepci baterií je prvotní návrh vozidla, který klade důraz v první řadě na bezpečnost, aerodynamiku a polohu těžiště vozu. Optimalizace baterie s ohledem na recyklovatelnost je v procesu vývoje automobilu upozaděna, což ji následně činí ekonomicky náročnou. Baterie musí být stabilizována (vybita na danou úroveň) pomocí solného roztoku nebo ohmického výboje, následně otevřena. Nejčastěji probíhají oba procesy současně ve formě drcení baterií v inertním plynu (např. dusík nebo oxid uhličitý). I kvůli nemožnosti automatizace je recyklace též značně nebezpečná pro personál. Demontáž akumulátorů vyžaduje školení ohledně práce s vysokým napětím, přičemž při procesu hrozí únik škodlivých látek z baterie vedoucí k explozi. Proto se i přes vysoký obsah drahých kovů v akumulátoru (nikl, kobalt, lithium, měď, aj.) ekonomicky nevyplatí. K opětovné těžbě kobaltu a niklu z akumulátorů je v současnosti hojně využíván též pyrometalurgický proces vyznačující se vystavením materiálu vysokým teplotám a redukčnímu činidlu pro regeneraci kovu. Takto je teoreticky možné zpracovat nevytříděný elektrický odpad, tedy celé bateriové moduly bez nutné předchozí separace. Přes nízké bezpečnostní riziko pro personál není pyrometalurgie ideální, zejména z důvodu nemožnosti regenerace elektrolytů a plastů obsažených v baterii a vznikajících ekologických rizik (únik toxických plynů). V dnešní době proto panuje snaha o zajištění „druhého života“ pro použité automobilové baterie, kde na články nebudou kladeny tak vysoké požadavky na výkon. Tato aplikace pomáhá prodloužit životní cyklus baterií. [111]

Recyklace baterie je nutná zejména z ekologického hlediska. Elektrolyt akumulátoru obsahuje látky, které mohou zásadně poškodit životní prostředí. Konkrétně se jedná o organická rozpouštědla či lithné soli obsahující fluor. V budoucnu tak bude pro zefektivnění životního cyklu přibývajících akumulátorů nutná jejich optimalizace v závislosti na jejich druhém životě a recyklaci. Dále je pravděpodobné zavedení standardizace složení a uspořádání baterií. Energeticky nejvýhodnějším krokem by byla celosvětová spolupráce na unifikaci těchto charakteristik, což by zjednodušilo a finančně zpřístupnilo recyklaci. Výhledově bude vedle

pyrometalurgie též nutné zavedení procesů umožňujících zpětné získávání manganu a lithia, tedy materiálů tvořících katodu, jejichž zásoby jsou omezené. [111] Samotná katoda přitom tvoří zhruba 51 % celkové ceny baterie. [105]

Škodlivé látky jsou obsaženy také v elektrických strojích použitých ve vozech. Jedná se o toxické a hořlavé materiály, které však nehrají zásadní roli z hlediska ekologie v porovnání s akumulátory. [18]

S nákladnou výrobou trakčních baterií souvisí též jejich pořizovací cena, která je hlavním faktorem ovlivňujícím konečnou cenu bateriového vozidla. V roce 2010, kdy začalo docházet k rozšiřování elektromobilů na trh, se ceny baterií pohybovaly okolo 26 000 Kč/kWh, což přibližně odpovídalo sto tisícinásobku ceny energie, kterou byl akumulátor schopen uchovat. Po dvanácti letech vývoje se pořizovací náklady snížily na cca 3300 Kč/kWh a do budoucna se počítá s jejich dalším poklesem, jenž by měl činit 10–15 % ročně. Na tom má podíl jejich čím dál masovější produkce i postupné rozšiřování jejich recyklace. Lze tedy předpokládat, že cena baterií přestane brzy být citelnou překážkou na cestě k elektrifikaci vozového parku. [10]

Výhodou plynoucí z využití baterií je jednoduchost pohonného řetězce ve srovnání s hybridním nebo naftovým pohonným systémem. Nižší počet pohyblivých součástí v elektrifikovaném hnacím ústrojí zajišťuje nižší poruchovost a s tím spojené nižší náklady na údržbu. Podle odhadu značky Renault tato úspora činí 30 % oproti vozu poháněnému spalovací jednotkou. Další výhodou je cena elektřiny, kdy dobíjení ze sítě vyjde výrazně levněji než běžné tankování. [6]

S tím spojený čas nabíjení a dojezd na jedno nabití jsou u současných BEV parametry, které jsou oproti konvenčním nákladním vozidlům výrazně omezené. Z běžné zásuvky lze nákladní BEV plně nabít za 10 h, při investici do rychlonabíjecí stanice o výkonu 150 kW lze tento čas zkrátit na 1–2 hodiny. Pro budoucí nákladní bateriová vozidla se ovšem predikuje využití baterií o 1200–1600 V a nabíjení o výkonu 1 MW. V oblasti bateriových technologií dochází k masivním investicím do jejich vývoje v důsledku celkové rostoucí poptávky po ekologických bateriově napájených zařízeních. Problém nedostatečného dojezdu tak bude v blízké budoucnosti zcela eliminován. Dostatečné nabití bude možné realizovat v rámci povinných přestávek řidiče, v podobném čase jako tankování fosilních paliv. [10]

Hlavním předmětem vývoje trakčních baterií je v automobilovém průmyslu zlepšení efektivity ukládání energie v akumulátorech provozovaných v extrémních podmínkách při zachování kompaktních rozměrů bateriových svazků. Nutné jsou zejména flexibilní systémy v řešení konektivity jednotlivých bateriových článků a modulů, které umožňují modulárnost (škálovatelnost) akumulátorů. V potaz je brána též bezpečnostní otázka, zejména při případném odpojení baterie při servisu vozidla. [112]

Zatímco vozidla v městském provozu jsou již v dnešní době hojně hybridizována, u těžkých nákladních automobilů mezinárodní dopravy se dá v nadcházejících letech počítat dále s nadvládou naftového pohonu. Podle odhadů společnosti TE Connectivity bude proces elektrifikace významnějšího procenta vozů této kategorie trvat 10–20 let. [112] Rychlejší rozvoj brzdí nedostatečně rozvinutá infrastruktura dobíjecích stanic. Nízká hustota jejich sítě a zejména nedostatečná rychlost/efektivita nabíjení je v posledních letech též intenzivně řešeným problémem. Příkladem nedávného pokroku v této oblasti je projekt společnosti WAVE ze Spojených států amerických. Ministerstvo energetiky USA v roce 2019 udělilo společnosti 8,4 milionů dolarů na za účelem vývoje vysoce výkonné technologie nabíjení pro elektrické

nákladní automobily v přístavu v Los Angeles. [113] Ve spolupráci s dalšími čtyřmi subjekty byla vyvinuta a roku 2022 úspěšně otestována bezdrátová indukční nabíjecí stanice o výkonu 500 kW. Jako první na světě tento systém plně dobil akumulátory bateriového tahače za méně než 15 minut. Plně automatizované nabíjecí ústrojí sestává ze dvou desek, jedné umístěné v podvozku vozu, druhé na vozovce, např. v místě nakládací rampy. Technologie umožňující v praxi efektivně dobít vozidlo během povinné přestávky by navíc mohla umožnit zmenšení akumulátorů, s nímž souvisí hmotnostní úspory. Vysoce výkonné nabíjení by se mělo začít komerčně využívat v průběhu roku 2023. [114]

V současné době intenzivních snah o snížení emisí CO₂ v dopravě hrají ve prospěch bezemisních vozidel programy vlád ve vybraných zemích. Ty často nabízejí příspěvky na nákup elektrických vozů, nebo pro řidiče EV zavádějí jiné výhody v dopravě. [115,116] Příkladem podobného programu může být kalifornský projekt pro hybridní a bezemisní kamiony a autobusy (HVIP). Projekt byl zahájen organizací California Air Resources Board v roce 2009 s cílem urychlení přechodu dopravců k ekologičtějším vozům. V současnosti (2023) je na seznamu společnosti 12 tahačů, na jejichž nákup nabízí HVIP slevové poukazy v hodnotě v přepočtu od 2,6 do 5,3 mil. Kč. Pět tahačů, které mají na podporu nárok, disponuje elektrickým pohonným řetězcem na vodíkové články, ostatní jsou bateriová vozidla. Nižší částky je možné čerpat také při nákupu 35 plně elektrických valníků a vybraných lehčích nákladních hybridních vozidel využívajících určitý model systému ePTO. [115]

V rámci Evropské unie nabízelo dle průzkumu Asociace evropských konstruktérů vozidel (ACEA) v roce 2022 dotace na elektromobily 21 zemí. Dalších 6 států poskytuje vlastníkům EV slevy na daních, či výjimky v silničním provozu. Zde se může jednat o odpuštění dálničního poplatku, či poplatku za parkování. [116]

ZÁVĚR

Na vývojáře pohonných řetězců je v oblasti ekologičnosti provozu automobilů vyvíjen tlak. Zejména emisní limity vedou k masové podpoře a rozvoji elektrifikace dopravy i mezi nákladními automobily. Nespornou výhodou všech elektrifikovaných vozidel je možnost snížení lokálních emisí. U hybridních vozů umožňuje pomocný elektromotor downsizing spalovacího motoru při zachování výkonu pohonného ústrojí, avšak za cenu jeho větší složitosti. Ke spalovacímu motoru je zde obvykle paralelně připojen akumulátor poskytující stejnosměrný proud, střídač přeměňující tento proud na střídavý a elektrický motor/generátor. Hlavní výhody hybridů, rekuperace energie z brzdění a systému start-stop, se navíc téměř neuplatní při jízdě po dálnici, pro nákladní vozy běžné aplikaci. Tyto funkcionality se naopak projeví v městském provozu, kde lze nasazení elektrifikovaných vozů považovat za smysluplné. Vedle snížení emisí výfukových plynů tím může být dosaženo snížení hluku, při provozu na krátkých trasách (např. popelářské vozy) není limitující ani nedostatečně rozvinutá síť dobíjecích stanic a omezený elektrický dojezd vozidel.

Problém nízkého dojezdu a dlouhé doby nutné pro dobití se týká též plně elektrických vozidel. Konstrukce jejich samotného hnacího řetězce je oproti hybridům díky chybějícímu spalovacímu agregátu jednodušší a díky nízkému počtu pohybujících se součástí není tak náchylný na mechanické opotřebení. Značně složitý je však palubní chladicí systém, který je potřebný ke správné funkci veškeré elektroniky. Oproti vozům se spalovacím motorem jsou výdrž baterie a jízdní vlastnosti elektromobilu do vysoké míry podmíněny venkovní teplotou, a také stavem nabití akumulátoru. Další nevýhodou je nízká hustota energie bateriových článků, které by musely být ve srovnání se spalovacím motorem několikanásobně těžší, aby poskytovaly stejně vysoký výkon. Poruchovými součástmi pohonného řetězce mohou být tranzistory a kondenzátory.

V posledních letech začínají výrobci experimentovat též s elektrickými nákladními automobily s vodíkovými články. Vozidla tankující vodík v plynné či kapalné formě využívají podobně jako spalovací agregáty k výrobě energie kyslík ze vzduchu. Distribuce a síť vodíkových čerpacích stanic není dosud plně rozvinuta. Nejvýhodnějším řešením je v oblasti nejvíce se rozvíjejících bezemisních vozů je vzhledem ke své kompaktnosti a modularitě pohon využívající integrovanou elektrickou nápravu. V rámu podvozku poté zbývá více prostoru pro akumulátory a chladicí soustavu, přičemž na místě spalovacího agregátu se nachází jednotka distribuce energie s měniči a střídačem.

V otázce zátěže životního prostředí hraje podstatnou roli též produkce a recyklace trakčních baterií. Kvůli odlišnému uspořádání a složení bateriových článků je manipulace s akumulátory nebezpečná a energeticky náročná. Právě optimalizace baterií a jejich životního cyklu by se tak v budoucnu měla vedle zvýšení jejich hustoty energie stát hlavním cílem vývoje v elektromobilním průmyslu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ABGASNORMEN & GRENZWERTE. *Abgasdatenbank* [online]. Düsseldorf: AutoAmerika, 2020 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://abgasdatenbank.com/abgasnormen-grenzwerte/>
- [2] Euro-7-Abgasnorm: Die geplante Reform im ADAC Check. *ADAC* [online]. München: ADAC, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/abgasnormen/euro-7/>
- [3] MATULKA, Rebecca. The History of the Electric Car. *ENERGY.GOV* [online]. Washington DC: U.S. Department of Energy, 2014, 15.9.2014 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>
- [4] Tractor. *California HVIP* [online]. California: California HVIP, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://californiahvip.org/vehicle-category/heavy-duty/>
- [5] EUROPE ELECTRIC TRUCK MARKET SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS (2023 - 2028). *Mordor Intelligence* [online]. Telangana: Mordor Intelligence, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-electric-truck-market>
- [6] Questions and answers. *Renault Trucks* [online]. Saint Priest Cedex: A Volvo Group Company, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.renault-trucks.com/en/questions-and-answers>
- [7] Rotary s permanentními magnety. *PZK* [online]. Brno: PZK International Corporations, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.pzk.cz/rotory-s-permanentnimi-magnety>
- [8] TÖRNQUIST, Lina. Model Volvo FL Electric: Jak systém funguje?. *VOLVO Trucks* [online]. Göteborg: AB Volvo, 2019, 2019-11-18 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.cz/cs-cz/news/magazine-online/2019/nov/tech-in-focus-volvo-fl-electric.html>
- [9] The ultimate energy source: high voltage battery. *Tycorun Energy* [online]. Guangzhou City: TYCORUN ENERGY, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.takomabattery.com/the-ultimate-energy-source-high-voltage-battery/>
- [10] How Do Electric Car Batteries Work. *GO TO-U* [online]. Los Angeles: GO TO-U, 2022, Apr 15, 2022 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://go-tou.com/en/news/how-electric-car-batteries-work>
- [11] AWATI, Rahul. DEFINITION Transistor. *TechTarget* [online]. Newton: TechTarget, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/transistor>

- [12] MORTENSON, Ted. What is a Transistor?: Working Principles. *Realpars* [online]. Rotterdam: RealPars, 2020, Dec 21st, 2020 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://realpars.com/transistor/>
- [13] Power Electronics - IGBT. *Tutorialspoint* [online]. Hyderabad: Tutorials Point, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: https://www.tutorialspoint.com/power_electronics/power_electronics_igbt.htm
- [14] Converter. *Sunpower Electronics* [online]. Aldermaston: Sunpower Group Holdings, 2019 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-a-power-converter/>
- [15] EVANS, Paul. How Inverters Work. *The Engineering Mindset* [online]. -: The Engineering Mindset, 2017, Dec 15, 2017 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://theengineeringmindset.com/how-inverters-work/>
- [16] LYNN, Alex. Electric power take-off heralds a revolution in mobile machinery. *Electronic Specifier* [online]. Cleveland: Parker Hannifin, 2020, 2nd October 2020 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.electronicspecifier.com/industries/industrial/electric-power-take-off-heralds-a-revolution-in-mobile-machinery>
- [17] E-Mobility. *Dana* [online]. Maumee: Dana Limited, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.dana.com/e-mobility/>
- [18] TM4 SUMO HD. *Dana* [online]. Maumee: DANA TM4, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.danatm4.com/products/systems/sumo-hd/>
- [19] TM4 SUMO LD. *Dana* [online]. Maumee: Dana Limited, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.danatm4.com/products/systems/sumo-ld/>
- [20] Commercial Vehicles. *Dana TM4* [online]. Maumee: DANA TM4, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.danatm4.com/vehicle-applications/commercial-vehicles/>
- [21] ADAS Cooling Systems. *BOYD* [online]. -: Boyd, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.boydcorp.com/industries/e-mobility/advanced-driver-assist-system.htmlx>
- [22] *Electrification Capabilities: Commercial Vehicle Market* [online]. Maumee: Dana Limited, 2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.dana.com/globalassets/resource-library/commercial-vehicle/brochures/cv-electrification-brochure.pdf>
- [23] NEAYLON, Kym Lawrence. *The effects of heavy vehicle single, tandem and tri-axles on sprayed seal wear in Australia* [online]. 1. 2017 [cit. 2023-05-11]. ISBN 10.13140/RG.2.2.26498.89280. Dostupné z:

https://www.researchgate.net/publication/313309418_The_effects_of_heavy_vehicle_single_tandem_and_tri-axles_on_sprayed_seal_wear_in_Australia

- [24] *Cascadia Motion* [online]. Wilsonville: Cascadia Motion, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.cascdiamotion.com/>
- [25] HITCH, John. ConMet eHub to power zero-emission reefer trailer. *FleetOwner* [online]. Endeavor Business Media, 2021, Sept. 14, 2021 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.fleetowner.com/equipment/brakes-tires-wheels/article/21175148/conmet-ehub-to-power-zeroemission-reefer-trailer>
- [26] *ConMet* [online]. Vancouver: Consolidated Metco, 2020 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://conmet.com/innovation/emobility/>
- [27] ConMet eMobility Announces Partners, eHub Deliveries. *The BRAKE Report* [online]. Elizabethtown, KY: Hagman Media Group, 2022, March 8, 2022 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://thebrakereport.com/conmet-emobility-announces-partners-ehub-deliveries/>
- [28] 14Xe™ ePowertrain. *Meritor* [online]. Troy: Meritor, 2022 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.meritor.com/products/ePowertrains/14Xe>
- [29] *FPT Powertrain Technologies* [online]. Turin: FPT Industrial, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: https://www.fptindustrial.com/en/products/epowertrain/edriveline?sc_lang=en
- [30] Garrett Motion Presents Next Generation of Powertrain E-Boosting Technologies at IAA Transportation Exhibit in Hannover. *Garrett* [online]. Garrett Motion, 2022, SEPTEMBER 15, 2022 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.garrettmotion.com/news/media/press-release/garrett-motion-presents-next-generation-of-powertrain-e-boosting-technologies-at-iaa-transportation-exhibit-in-hannover/>
- [31] Product Info – 48V and 400V Electric Turbo. *Garrett* [online]. Garrett Motion, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.garrettmotion.com/ja/knowledge-center-category/oem/product-info-48v-400v-electric-turbo/>
- [32] EGen Power®. *Allison Transmission* [online]. Indianapolis: Allison Transmission, 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.allisontransmission.com/ev-solutions/egen-power>
- [33] SEIDL, Jan. Micro Hybrid. *Autolexicon.net* [online]. autolexicon.net, 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/micro-hybrid/>
- [34] Co to je automatický systém start-stop a jak funguje?. *Varta* [online]. Clarios, 2021 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://batteryworld.varta-automotive.com/cs-cz/jak-funguje-automaticky-system-start-stop>

- [35] DIETSCHKE, Karl-Heinz a Konrad REIF. *Automotive Handbook*. 11. Karlsruhe: Robert Bosch, 2022. ISBN 978-1-119-91190-648-volt mild hybrid. *Eaton* [online]. Eaton, 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.eaton.com/us/en-us/catalog/emobility/48v-rad.html>
- [36] SEIDL, Jan. Regenerativní brzdění – rekuperace brzděné energie. *Autolexicon.net* [online]. autolexicon.net, 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/regenerativni-brzdeni/>
- [37] FUEL SAVINGS OF 12.8% ENABLE URBAN LAB 2 TO MEET ITS TARGETS. *Renault Trucks* [online]. A Volvo Group Company, 2018, 4 JULY, 2018 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.renault-trucks.com/en/newsroom/press-releases/fuel-savings-128-enable-urban-lab-2-meet-its-targets>
- [38] EDELSTEIN, Stephen. Sono shows how solar could save money installed on electric semis and buses. *Green Car Reports* [online]. El Segundo, CA: MH Sub I, 2022, SEPTEMBER 21, 2022 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://www.greencarreports.com/news/1137225_sono-solar-electric-semis-buses-kit
- [39] OTTLEY, Stephen. What is a hybrid car?. *Carsguide* [online]. Carsguide Autotrader Media Solutions, 2021, 19 Oct 2021 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.carsguide.com.au/ev/advice/what-is-a-hybrid-car-84895>
- [40] *The Hybrid Powertrain* [online]. Eric Constans and Rowan University, 2013 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: http://www.benchtophybrid.com/Hybrid_Types.html
- [41] Types of Mild Hybrid Electric Vehicles (MHEV). *X-engineer* [online]. x-engineer.org, 2022 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/mild-hybrid-electric-vehicles-mhev-types/>
- [42] GOPPELT, Gernold. P0 bis P3 – wohin mit dem E-Motor?. *Heise online* [online]. Hannover: Heise Medien, 2018, 12.10.2018 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.heise.de/autos/artikel/P0-bis-P3-wohin-mit-dem-E-Motor-4179135.htm>
- [43] SANTIS, M. De. *Experimental Study for the Assessment of the Measurement Uncertainty Associated with Electric Powertrain Efficiency Using the Back-to-Back Direct Method* [online]. 2018, 19 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: doi:10.3390/en11123536
- [44] HEV Types. *Center for Advanced Automotive Technology* [online]. Warren, MI: Macomb Community College [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: http://autocaat.org/Technologies/Hybrid_and_Battery_Electric_Vehicles/HEV_Types/
- [45] What is the difference between micro, mild, full and plug-in hybrid electric vehicles. *X-engineer* [online]. x-engineer, 2022 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/micro-mild-full-hybrid-electric-vehicle/>

- [46] MOKŘÍŠ, Jakub. Full-hybrid auto: jak funguje?. *Portál řidiče* [online]. Pardubice: Portalridice, 2022, 25. 9. 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/vite-jak-funguje-full-hybrid>
- [47] Scania introduces world-class, versatile hybrid trucks. *Scania* [online]. Södertälje: Scania, 2021, 2021-12-09 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/press-releases/press-release-detail-page.html/4137101-scania-introduces-world-class--versatile-hybrid-trucks>
- [48] Hybrid electric trucks. *Scania* [online]. Södertälje: Scania, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.scania.com/group/en/home/products-and-services/trucks/plug-in-hybrid-truck.html>
- [49] BARBØL, Hans Kristian. Ny hybrid drivlinje fra Scania. *AT.no* [online]. Sofiemyr: at.no, 2021, 13. desember 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.at.no/transport/ny-hybrid-drivlinje-fra-scania/625192>
- [50] Společnost DAF začíná testovat tahač CF Hybrid v běžném provozu. *DAF* [online]. Eindhoven: DAF Trucks N.V., 2020, 2. března 2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.daftrucks.cz/cs-cz/novinky-a-media/news-articles/global/2020/q1/28-02-2020-daf-starts-field-test-with-cf-hybrid>
- [51] *Nevagroup* [online]. DAF, 2015 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.nevagroup.cz/>
- [52] Hybrid Electric Vehicles. *DAF* [online]. Eindhoven: DAF Trucks N.V., 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.daf.com/en/about-daf/sustainability/alternative-fuels-and-drivelines/hybrid-electric-vehicles>
- [53] SHANKS, Howard. Introduction to DAF's Traxon Transmission. *ROADTRAINS.com.au* [online]. Roadtrains Australia, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.roadtrains.com.au/articles/introduction-to-dafs-traxon-transmission/>
- [54] SHEPARD, Jeff. Use CCS Connectors to Simplify the Implementation of Safe EV Fast Charging Systems. *Digi-Key* [online]. Digi-Key Electronics, 2022, 2022-03-23 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.digikey.cz/en/articles/use-ccs-connectors-to-simplify-the-implementation-of-safe-ev-fast-charging-systems>
- [55] The different EV charging connector types. *Enelxway* [online]. Enel X Way USA, 2019, April 20, 2019 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.enelxway.com/us/en/resources/blog/ev-charging-connector-types>
- [56] NOLL, Stephanie. Scania führt ersten eigenen E-Lkw in Deutschland ein. *Trucker* [online]. München: Springer Fachmedien, 2020, 27.11.2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.trucker.de/nachrichten/technik/scania-fuehrt-ersten-eigenen-e-lkw-in-deutschland-ein-2688403>

- [57] Twitter sharing button pinterest sharing button email sharing button linkedin sharing button messenger sharing button whatsapp sharing button Brand-new hybrid powertrain for the next generation of Scania hybrid trucks. *Sustainable truck van*. [online]. Milan: Vado e Torno Edizioni, 2023, 10 December 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.sustainabletruckvan.com/scania-hybrid-trucks-powertrain/>
- [58] BORRÁS, Jo. US Hybrid Semi Truck Is Zero-Emission Port Ready, TODAY. *CleanTechnica* [online]. CleanTechnica, 2022, May 17, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2022/05/17/us-hybrid-semi-truck-is-zero-emission-port-ready-today/>
- [59] *HYLIION* [online]. CEDAR PARK, TX: Hylion, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.hyliion.com/hybrid/>
- [60] Introduction. *Ecochamps* [online]. Ecochamps, 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://ecochamps.eu/project/introduction/>
- [61] Heavy Tractor – DAF XF. *Ecochamps* [online]. Ecochamps, 2019 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://ecochamps.eu/heavy-tractor-daf-xf/c>
- [62] *Electrified by Webasto* [online]. Gilching, Germany: Webasto, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.webasto-electrified.com/int/>
- [63] *EWAYBW: Was ist eWayBW?* [online]. Stuttgart: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://ewaybw.de/>
- [64] E-Highway: Oberleitungs-Lkw im Test. *Wedolo* [online]. Hamburg: Wedolo Betriebsgesellschaft, 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.wedolo.de/blog/e-highway-oberleitungs-lkw-im-test>
- [65] STINSON, Jim. Why hybrid diesel trucks never quite caught on. *Transport Dive* [online]. Washington DC: Industry Dive, 2021, March 23, 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.transportdive.com/news/hybrid-diesel-class-8-truck-long-haul/596782/>
- [66] How Do All-Electric Cars Work?. *ENERGY.GOV* [online]. Washington, DC: U.S. Department of Energy [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- [67] GUŹDA, Arkadiusz. *Compressors in Heat Pumps* [online]. Opole: Opole University of Technology, 2016 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/313134829_Compressors_in_Heat_Pumps

- [68] DAF CF Electric. *DAF* [online]. Eindhoven: DAF, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.daf.global/en-us/trucks/alternative-fuels-and-drivelines/battery-electric-vehicles/daf-cf-electric>
- [69] DAF JE IZGRADIO NOVU TVORNICU ELEKTRIČNIH KAMIONA. *Transport magazin* [online]. Zagreb: Transport Magazin, 2016, 25/01/2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://transportmagazin.hr/system/daf-je-izgradio-novu-tvornicu-elektricnih-kamiona/>
- [70] DAF LF Electric for 'zero emission' urban distribution. *DAF* [online]. Eindhoven: DAF Trucks N.V., 2021, January 27, 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.daf.com/en/news-and-media/news-articles/global/2021/q1/27-01-2021-daf-lf-electric-for-zero-emission-urban-distribution>
- [71] ELECTRIC VEHICLES. *Peterbilt* [online]. Denton, TX: Peterbilt, 2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.peterbilt.com/electric-vehicles>
- [72] MANUALS & BROCHURES. *Peterbilt* [online]. Denton, TX: Peterbilt, 2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.peterbilt.com/resources-support/manuals-brochures>
- [73] POPELY, Rick. What Is a PCM?. *Cars.com* [online]. Cars.com, 2020, November 7, 2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.cars.com/articles/what-is-a-pcm-429615/>
- [74] *VOLTA TRUCKS* [online]. Stockholm: Volta Trucks, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://voltatrucks.com/>
- [75] HILL, Joshua S. Volta to deliver 16 fully electric Zero truck, with first charging package included. *The Driven* [online]. The Driven, 2022, DECEMBER 5, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://thedriven.io/2022/12/05/volta-to-deliver-16-fully-electric-zero-truck-with-first-charging-package-included/>
- [76] DOLL, Scooter. From drawing board to assembly line in 12 months: Volta Zero truck nears series production. *Electrek* [online]. electrek, 2022, Sep 20 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://electrek.co/2022/09/20/volta-zero-truck-nears-series-production/>
- [77] Heppner acquires "volta zero" electric trucks for its urban distribution. *Heppner* [online]. Paris: Heppner, 2022, 01 December 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.heppner-group.com/en/presse/heppner-acquires-volta-zero-electric-trucks-for-its-urban-distribution/>
- [78] IAA Transportation 2022: Daimler Truck unveils battery-electric eActros LongHaul truck and expands e-mobility portfolio. *DAIMLER TRUCKS* [online]. Stuttgart: Daimler Truck, 2023, Sep 18, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://media.daimlertruck.com/marsMediaSite/en/instance/ko/IAA-Transportation-2022-Daimler-Truck-unveils-battery-electric-eActros-LongHaul->

truck-and-expands-e-mobility-portfolio.xhtml?oid=52032525&ls=L2VuL2luc3RhbmNIL2tvLnhodG1sP29pZD05MjY1ODA5JnJlbElkPTYwODI5JmZyb21PaWQ9OTI2NTgwOSZyZXN1bHRJbmZvVHlwZUIkPTQwNjI2JnZpZXdUeXBIPXRodW1icyZzb3J0RGVmaW5pdGlvbj1QVUJMSVNIRURfQVQtMiZ0aHVtYlNjYWxlSW5kZXg9MSZyb3dDb3VudHNJbmRleD01JmZyb21JbmZvVHlwZUIkPTQwNjI4&rs=1

- [79] KANE, Mark. Mercedes-Benz Starts Series Production Of eActros Truck. *Inside EVs* [online]. Oct 10, 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/539411/mercedes-starts-production-eactros-truck/>
- [80] The eEconic.: Technical Data. *Mercedes-Benz: Trucks you can trust* [online]. Leinfelden-Echterdingen: Daimler Truck, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://special.mercedes-benz-trucks.com/en/the-e-econic/technical-data.html>
- [81] Renault Trucks D Wide E-Tech. *Renault Trucks* [online]. Renault Trucks, 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.renault-trucks.cz/product/renault-trucks-d-wide-e-tech>
- [82] Elektrické bateriové nákladní vozidlo. *Scania: Česká republika* [online]. Chrášťany: Scania, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.scania.com/cz/cs/home/products/trucks/battery-electric-truck.html>
- [83] *Plán elektrifikace společnosti Scania* [online]. Chrášťany: Scania Czech Republic, 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: https://www.scania.com/content/dam/www/market/cz/newsroom/press-release/2021/12/plan-elektrifikace/plan_elektrifikace_spolecnosti_scania.pdf
- [84] First fully electric crane truck for waste collection in Denmark. *Scania* [online]. Södertälje: Scania, 2023, 18 JANUARY 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2023/first_fully_electric_crane_truck_for_waste_collection_in_denmark.html
- [85] *BYD: SUPERIOR TECHNOLOGY, EXECUTED* [online]. Pasadena, CA: BYD Motors, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://en.byd.com/>
- [86] Freightliner eCascadia® Specs. *Freightliner* [online]. Portland, Oregon: Daimler Truck North America [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://freightliner.com/trucks/ecascadia/specifications/#tab-1>
- [87] Construction site traffic goes electric: Mercedes-Benz Trucks to present tailor-made, low-noise and locally CO₂-neutral vehicle solutions at bauma 2022. *Daimler Truck* [online]. Stuttgart: Daimler Truck, 2022, Oct 24, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://media.daimlertruck.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Start.xhtml?oid=4836258>

- [88] SUMMIT MEETING OF THE COMMERCIAL VEHICLE INDUSTRY: MAN'S HIGHLIGHTS AT IAA TRANSPORTATION 2022. *MAN Truck & Bus* [online]. Munich: MAN, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.mantruckandbus.com/en/mobility/summit-meeting-of-the-commercial-vehicle-industry-mans-highlights-at-the-iaa-transportation-2022.htm>
- [89] HAJIZADEH, Amin. *Fuzzy/State-Feedback Control of a Non-Inverting Buck-Boost Converter for Fuel Cell Electric Vehicles* [online]. Aalborg: Aalborg University, 2014 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: doi:10.5829/idosi.ijee.2014.05.01.06
- [90] Fuel Cell Basics. *FCHEA* [online]. Washington D.C.: Fuel Cell & Hydrogen Energy Association [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.fchea.org/fuelcells>
- [91] PORŠ, Zdeněk. *Palivové články* [online]. Řež: Ústav Jaderného Výzkumu Řež, 2002 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>
- [92] Hyundai Motor Upgrades Design and Performance of XCIENT Fuel Cell Truck for Global Expansion. *Hyundai* [online]. Hyundai Motor Company, 2021, 2021.05.25 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.hyundai.com/worldwide/en/company/newsroom/-0000016662>
- [93] PÖLÖS, Zsófia. First hydrogen HGV from series production registered in Germany. *Trans.info* [online]. trans.info, 2022, 23.11.2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://trans.info/first-hydrogen-hgv-approved-in-germany-314273>
- [94] ZIEMKOWSKA, Dorota. Hyundai ships first hydrogen-powered trucks to Europe. They can travel 400 km on a single charge. *Trans.info* [online]. trans.info, 2020, 10.07.2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://trans.info/hyundai-ships-first-hydrogen-powered-trucks-to-europe-they-can-travel-400-km-on-a-single-charge-191843>
- [95] Hyundai Motor v rámci expanze vylepšuje design a provozní vlastnosti modelu XCIENT Fuel Cell Truck. *Hyundai* [online]. Praha: Hyundai Motor Czech, 2023, 25.05.2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.hyundai.news/cz/articles/press-releases/hyundai-motor-v-ramci-expanze-vylepsuje-design-a-provozni-vlastnosti-modelu-xient-fuel-cell-truck.html>
- [96] *BLUEPOWER: Alternative Fuel* [online]. Redditch: FAUN Zoeller [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://faun-zoeller.co.uk/bluepower/>
- [97] Hyzon Motors delivers first hydrogen-powered truck to multinational dairy, signs deal with Coregas in Australia. *Green Car Congress* [online]. Green Car Congress, 2021, 15 July 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2021/07/hyzon-motors-delivers-first-hydrogen-powered-truck-to-multinational-dairy-signs-deal-with-coregas-in.html>

- [98] Garrett Motion Presents Next Generation of Powertrain E-Boosting Technologies at IAA Transportation Exhibit in Hannover. *Garrett* [online]. GARRETT MOTION, 2022, SEPTEMBER 15, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.garrettmotion.com/news/media/press-release/garrett-motion-presents-next-generation-of-powertrain-e-boosting-technologies-at-iaa-transportation-exhibit-in-hannover/>
- [99] PÖLÖS, Zsófia. Belgian family-owned company first to test 44-tonne hydrogen trucks in Europe. *Trans.info* [online]. trans.info, 2020, 10.12.2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://trans.info/the-first-44-tonne-hydrogen-trucks-in-europe-work-for-a-family-owned-retail-company-213005>
- [100] MEHAR, Pranjali. ZF and Freudenberg to develop fuel cell-based drive system for trucks. *Inceptivemind* [online]. Bhandara: Inceptivemind, 2023, May 15, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.inceptivemind.com/zf-freudenberg-develop-fuel-cell-based-drive-system-trucks/27453/>
- [101] PÖLÖS, Zsófia. Fuel-cell Mercedes truck on the Brenner successfully passes first high-altitude tests. *Trans.info* [online]. trans.info, 2022, 17.11.2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://trans.info/fuel-cell-truck-on-the-brenner-pass-313609>
- [102] Volvo Trucks presents FC truck with 1,000 km range. *Electrive.com* [online]. Berlin: electrive.com, 2023, Jun 21, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.electrive.com/2022/06/21/volvo-trucks-presents-fc-truck-with-1000-km-range/>
- [103] KANE, Mark. Daimler Presents GenH2 Truck Fuel-Cell Concept Truck. *InsideEVs* [online]. Miami: InsideEVs, 2020, Sep 17, 2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/444480/mercedes-genh2-truck-fuel-cell-concept-truck/>
- [104] E-Bus Market is speeding up. *IAA Transportation* [online]. Berlin: IAA, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.iaa-transportation.com/en/visitors/trends-and-topics/E-Bus-Market-is-speeding-up>
- [105] BHUTADA, Govind. Breaking Down the Cost of an EV Battery Cell. *Visual Capitalist* [online]. Visual Capitalist, 2022, February 22, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.visualcapitalist.com/breaking-down-the-cost-of-an-ev-battery-cell/>
- [106] JAGHORY, Dillon. China Sector Analysis: Energy. *Global X* [online]. New York, NY: Global X, 2022, Feb 22, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.globalxetfs.com/china-sector-analysis-energy/>
- [107] Archive:EU energy mix and import dependency. *Eurostat* [online]. European Union, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:EU_energy_mix_and_import_dependency

- [108] MORAN, Brendan J. Relic Groundwater and Prolonged Drought Confound Interpretations of Water Sustainability and Lithium Extraction in Arid Lands. *Earth's Future* [online]. American Geophysical Union, 2022, **10**(7) [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1029/2021EF002555>
- [109] Čištění chloridu lithného ze zasoleného roztoku. *MEGA* [online]. Praha: MEGA [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.mega.cz/cs/chlorid-lithny/>
- [110] FRANKEL, Todd C. Peklo kobaltového Konga: V těžebním průmyslu pracuje okolo 40 tisíc dětí. *100+1: Zahraniční zajímavost* [online]. Extra Publishing, 2017, 28.01.2017 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.stoplusjednicka.cz/peklo-kobaltoveho-kongo-v-tezebnim-prumyslu-pracuje-40-tisic-deti>
- [111] Recyklace lithium-iontových baterií. *EVEXPERT* [online]. Olomouc: EVEXPERT.CZ, 2022, 11.4.2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/n/recyklace-lithium-iontovych-baterii>
- [112] Electrifying a Movement. *TE Connectivity* [online]. TE Connectivity, 2022, Apr 15, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.te.com/usa-en/industries/hybrid-electric-mobility/insights/electrifying-movement-trend-paper.html?te_bu=ict&te_type=pr&te_campaign=oth_usa_ict-oth-amr-pr-fy20_ts_ict_pr_hems2_sma-1310_2&elqCampaignId=92114
- [113] DOE awards WAVE \$8.4 million to develop charging platform for EV drayage truck. *Charged EVs* [online]. Charged, 2019, April 26, 2019 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://chargedevs.com/newswire/doe-awards-wave-8-4-million-to-develop-charging-platform-for-ev-drayage-truck/>
- [114] Ideanomics achieves breakthrough milestone for 500kW ultra-fast charging. *Seeking Alpha* [online]. NEW YORK: Seeking Alpha, 2022, Sep. 21, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://seekingalpha.com/pr/18947088-ideanomics-achieves-breakthrough-milestone-for-500kw-ultra-fast-charging>
- [115] Tractor. *California HVIP* [online]. California HVIP, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://californiahvip.org/vehicle-category/heavy-duty/>
- [116] BŘEZINOVÁ, Jana. Jak získat dotace na elektromobil v ČR. *Srovnejto.cz* [online]. Srovnejto.cz, 2022, 11. 12. 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/jak-ziskat-dotace-na-elektromobil-v-cr-nejen-pro-firmy/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AC – střídavý proud (Alternating Current)

ADAS – pokročilé asistenční systémy (Advanced Driver-Assistance System)

DC – stejnosměrný proud (Direct Current)

DCT – dvouspojková převodovka (Dual Clutch Transmission)

FAME – metylester řepkového oleje (Fatty Acid Methyl Ester)

HVAC – topení, ventilace a klimatizace (Heating, Ventilation, Air-Conditioning)

IEN – integrovaná elektrická náprava

IGBT – bipolární tranzistor s izolovaným hradlem (Insulated-Gate Bipolar Transistor)

IPM – elektrický stroj s rotorem s vestavěnými permanentními magnety (Internal Permanent Magnet)

MG – motor/generátor; elektrický stroj

MOSFET – tranzistor řízený elektrickým polem (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

NMC – oxidy lithia, niklu, manganu a kobaltu (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide)

PCAS – jednotka řízení a distribuce výkonu (Power Control And Accessory System)

PTO – elektrický pomocný pohon (Power Take-Off)

RNG – biometan; bioplyn s koncentrací metanu nad 90 procent (Renewable Natural Gas)