

Elektrické

autobusy

efektivně

**Průvodce přípravou udržitelného projektu
elektrických autobusů s nezávislým zdrojem energie**

Elektrické autobusy efektivně

**Průvodce přípravou udržitelného projektu elektrických autobusů
s nezávislým zdrojem energie**

Autoři: Ing. Jakub Slavík, MBA a autorský kolektiv partnerů publikace

První vydání, květen 2022

Financováno z příspěvků průmyslových partnerů a zpracovatele publikace
Distribučováno elektronicky a v tisku prostřednictvím zpracovatele a partnerů publikace

NEPRODEJNÉ!

Zpracovatel publikace

Ing. Jakub Slavík, MBA – Consulting Services

IČ: 41993594. Adresa: K Podjezdu 596/18, 25101 Říčany. Tel. 323 631 119

Odborný redaktor publikace: Ing. Jakub Slavík, MBA, jakub.slavik@smartcityvpraxi.cz

Technická redaktorka: Ing. Pavla Slavíková, pavla.slavikova@smartcityvpraxi.cz.

© Ing. Jakub Slavík, MBA – Consulting Services, 2022

Partneři publikace



Ministerstvo dopravy ČR

Státní orgány



MINISTERSTVO
PRO MÍSTNÍ
ROZVOJ ČR

Ministerstvo pro místní rozvoj ČR

Dopravce



Dopravní podnik Ostrava a.s.

Průmysloví partneři



Green energy

ČEZ ESCO, a.s.



Chariot Motors AD



EVC Group s.r.o.

SIEMENS

Siemens, s.r.o.



Schunk Carbon Technology s.r.o.

V O L V O

Volvo Group Czech Republic s.r.o.

Mediální partneři



Poděkování

Děkujeme všem partnerům této publikace a dalším spolupracujícím organizacím za jejich zájem a ochotu sdílet s námi a s našimi čtenáři své poznatky a zkušenosti v oboru elektrických autobusů a souvisejících technologií, služeb a financování. Děkujeme rovněž za spolupráci při jejím šíření, a tím i šíření tolik potřebné osvěty v tomto oboru. Zvláštní dík pak patří průmyslovým partnerům za jejich finanční příspěvek, bez něhož by tato publikace nemohla vzniknout.

Za redakční tým:

Obsah

Úvodní slovo Ministerstva dopravy ČR a Ministerstva pro místní rozvoj ČR	1
Kontext, obsah a cíl Průvodce	2
Elektrické autobusy v kontextu městské mobility a chytrých měst	2
Obsah a cíl Průvodce.....	3
1. Základní charakteristiky elektrických autobusů	7
1.1 Elektrické autobusy podle zdroje energie	7
1.1.1 Bateriové elektrobuses	7
1.1.2 Superkapacitorové e-buses	8
1.1.3 Palivočlánkové elektrické autobusy	8
1.1.4 Diesel-hybridní pohony	8
1.2 Základní přínosy a omezení elektrických autobusů	9
1.2.1 Technické a provozní vlastnosti	9
1.2.2 Lokální emise a vliv na klimatické změny	11
1.2.3 Netrakovní spotřeba elektrických autobusů a její ekologické aspekty	11
1.2.3.1 Spotřeba pomocných zařízení.....	11
1.2.3.2 Základní způsoby snižování netrakovní spotřeby	12
1.2.3.3 Emise z přídavného naftového topení	12
1.2.4 Hluk.....	13
1.2.5 Obecná ekonomika pořízení a provozu, personální aspekty	14
1.3 Provozní bezpečnost elektrických autobusů.....	14
1.3.1 Bateriové elektrické autobusy	14
1.3.2 Palivočlánkové elektrické autobusy	15
1.4 Základní technické a právní normy specifické pro elektrické autobusy	17
1.4.1 Potřebnost norem pro zadávání projektů elektrických autobusů	17
1.4.2 Obecné normy a předpisy v oblasti „čisté“ energie	17
1.4.3 Právní a technické normy v oblasti požární bezpečnosti.....	17
1.4.4 Jiné související obecné zákony a standardy	18
1.4.5 Bateriové elektrické autobusy	18
1.4.6 Palivočlánkové elektrické autobusy a vodíkové hospodářství	19
1.5 Základní rozhodovací kritéria při první volbě vhodné koncepce elektrických autobusů.....	20
1.5.1 Tabulka první volby	20
1.5.2 Podíl nezávislé trakce.....	20
Na co nezapomenout.....	21
2. Technologie elektrických autobusů a jejich trendy	23
2.1 Vozidla.....	23
2.1.1 Základní kategorie elektrických autobusů na trhu	23

2.1.2 Základní součásti elektrického pohonu autobusu.....	23
2.2 Zdroje energie.....	24
2.2.1 Trakční baterie v provozu	24
2.2.2 Trakční baterie v poprovozní fázi.....	26
2.2.2.1 Druhý život baterií	26
2.2.2.2 Recyklace	26
2.2.3 Superkapacitory	26
2.2.4 Palivové články.....	28
2.3 Infrastruktura.....	29
2.3.1 Noční dobíjení elektrobusů	29
2.3.2 Průběžné dobíjení elektrobusů	30
2.3.2.1 Čtyřpólové dobíjení	30
2.3.2.2 Dvoupólové dobíjení	31
2.3.2.3 Indukční dobíjení elektrobusů	32
2.3.2.4 Další standardizovaná čtyřpólová nabíjecí rozhraní	33
2.3.2.5 Jiná nabíjecí rozhraní.....	33
2.3.3 Vodíková plnicí infrastruktura	34
2.3.4 Výroba a doprava vodíku.....	34
2.4 Energetika nabíjení elektrobusů a její optimalizace.....	36
2.4.1 Nutnost komplexního přístupu	36
2.4.2 Způsoby energetické optimalizace u dobíjecí infrastruktury	36
2.5 Podpůrné digitální technologie	38
2.5.1 Základní typy podpůrných technologií.....	38
2.5.2 Systém řízení v garážích elektrobusů (DMS).....	39
2.6 Interoperabilita elektrobusů	40
2.6.1 Interoperabilita a kompatibilita	40
2.6.2 Standardizace nabíjení elektrobusů.....	40
Na co nezapomenout.....	41
3. Ekonomika a financování elektrických autobusů.....	44
3.1 Pořizovací a provozní náklady elektrických autobusů	44
3.1.1 Úvodní komentář k uváděným pojmům a hodnotám	44
3.1.2 Investiční náklady vozidel	44
3.1.3 Ošetření výměny/repase trakčních baterií a palivových článků v investici.....	44
3.1.4 Investiční náklady infrastruktury	45
3.1.5 Provozní náklady	46
3.2 Základní zdroje a způsoby financování elektrických autobusů v zahraničí	47
3.3 Zdroje financování elektrických autobusů v ČR.....	47
3.3.1 IROP 2021–2027.....	47
3.3.2 Modernizační fond a další nenávratné zdroje	48

3.3.3 Návravné zdroje – bankovní nástroje	48
3.4 Základní obchodní modely pro projekt elektrických autobusů.....	49
3.5 Energetické služby pro elektrobusy.....	50
3.5.1 Předmět energetických služeb.....	50
3.5.2 Financování energetických služeb.....	51
3.6 Personální aspekty provozování elektrobusů	51
Na co nezapomenout.....	52
4. Základní kroky při přípravě projektů elektrických autobusů.....	54
Úvodem	54
Krok 1: Specifikace požadavků zadavatele	55
Krok 2: Úvodní průzkum a vyhodnocení situace na dodavatelském trhu.....	55
Krok 3: Podrobné prověření nabídky pro domácí trh.....	56
Krok 4: Upřesnění požadavků zadavatele.....	57
Krok 5: Provozní a technologická analýza.....	57
Krok 6: Místní šetření.....	59
Krok 7: Stanovení základní koncepce e-busů a jejich infrastruktury	59
Krok 8: Zhodnocení možných finančních zdrojů a obchodních modelů	60
Krok 9: Cost-benefit analýza (CBA)	60
Krok 10: Právní rozbor, struktura zakázky a výběrová kritéria	63
Krok 11: Harmonogram realizace.....	64
Krok 12: Závěr přípravy	66
Na co nezapomenout.....	66
5. Závěrem.....	67
5.1 Investiční a vývojové projekty elektrických autobusů.....	67
5.2 Co dále pro úspěšný projekt elektrických autobusů.....	67
Na co nezapomenout.....	67
Seznam zkratk.....	69
Seznam informačních zdrojů	71

Úvodní slovo Ministerstva dopravy ČR a Ministerstva pro místní rozvoj ČR

Vážení čtenáři,

dostáváte do rukou prakticky zaměřeného odborného průvodce projekty elektrických autobusů s nezávislým zdrojem energie, tedy bateriových či superkapacitorových a palivočlánkových elektrických autobusů. Tento průvodce je výsledkem společné iniciativy konzultační firmy, jejích průmyslových partnerů a průkopnického dopravního podniku. Ministerstvo dopravy ČR spolu s Ministerstvem pro místní rozvoj ČR dalo této iniciativě prvotní impuls a jako takovou ji obě ministerstva velmi vítají.

Z pohledu obou resortů totiž představuje elektrifikace městských autobusů celkovou změnu přístupu k hromadné silniční dopravě, zejména v městech a příměstských oblastech. Nejedná se zde o pouhou výměnu jednoho pohonu či zdroje energie za druhým, ale o vytváření nových dopravních systémů. Ty je nutno projektovat komplexně, od zdrojů energie po nasazení konkrétního vozidla na konkrétní linku či autobusový spoj, přičemž je nutno optimalizovat technologické, provozní, finanční, ekologické a sociálně ekonomické aspekty jejich provozu.

Elektrické autobusy v tomto pojetí jsou v neposlední řadě důležitou součástí konceptu chytrých měst – smart cities – s inteligentní městskou mobilitou jakožto důležitým pilířem jejich infrastruktury. Je třeba, aby jejich systém byl provázaný s ostatními systémy „chytré“ městské mobility – nejen tedy s ostatními druhy dopravy, ale také s digitalizovanými systémy pro jejich efektivní řízení a koordinaci.

Z pohledu obou resortů je nanejvýš žádoucí, aby se také prostředky z evropských a jiných podpůrných zdrojů rozdělovaly v rámci dotačních titulů co možná nejefektivněji. To mimo jiné znamená, že projekty jimi financované nastartují nebo urychlí proces ekologizace autobusové dopravy, avšak budou udržitelné i po uplynutí přirozené životnosti pořízeného majetku. K takto dlouhodobě pojaté efektivnosti může dopravcům a zadavatelům veřejné dopravy pomoci i tento průvodce.

Je přitom třeba vidět, že různé druhy elektrických autobusů mají různě dlouhou historii provozu a souvisejících zkušeností. Zatímco například bateriové elektrobusesy mají v ČR již více než desetiletou tradici, palivočlánkové, tedy vodíkové, elektrobusesy jsou tu teprve v zárodku a zkušenosti je nutno čerpat zejména ze zahraničí.

Děkujeme proto autorům, že získali a zpracovali zkušenosti domácích a zahraničních dopravců a dodavatelského průmyslu tak, aby výsledkem byl obsažný a přitom čtivý dokument.

Mgr. Jan Bezděkovský
Pověřenec ministra dopravy pro čistou mobilitu
Ministerstvo dopravy ČR

Dr. Ing. Marie Zezůlková
Ředitelka Odboru regionální politiky
Ministerstvo pro místní rozvoj ČR

Kontext, obsah a cíl Průvodce

Elektrické autobusy v kontextu městské mobility a chytrých měst

Pod vlivem evropské legislativy a klimatických závazků ČR a měst dochází k postupnému nahrazování městských autobusů se spalovacími motory autobusy bezemisními, tedy s elektrickým pohonem. Jejich podíly při zadávané veřejné přepravě stanovuje Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1161, která je promítána i do české legislativy. Plyne z toho, že elektrifikace vozového parku se postupně začne týkat prakticky všech provozovatelů městské autobusové dopravy.

Tradičním elektrickým autobusem je **trolejbus**, u něž se bateriové zásobníky energie pro nezávislý dojezd stávají stále více standardem. V právním smyslu se nicméně jedná o **drážní vozidlo**. Přinejmenším po části své trasy jsou totiž trolejbusy vedeny pevnou trolejovou dráhou s výhybkami, kříženími a dalšími provozními aspekty typickými pro drážní dopravu.

Elektrickými autobusy s relativně krátkou historií, ale již s dostatečnými provozními zkušenostmi, jsou **bateriové, případně superkapacitorové elektrobusy** (v prvním případě koncipované jako „noční“ nebo průběžně dobíjené) a **palivočlánkové autobusy** hybridní koncepce (palivový článek a baterie). U všech těchto kategorií probíhá rychlý rozvoj a postupuje standardizace, zejména u nabíjecích rozhraní.

Současný rozvoj těchto elektrických autobusů v Evropě lze ilustrovat na některých statistických údajích¹:

Registrace elektrických autobusů v Evropě v roce 2021 v porovnání s rokem 2020 vzrostly o 48 %. V roce 2021 bylo dodáno 3 282 elektrobusů. Od roku 2012 jde celkem o 8 513 vozidel registrovaných na evropském kontinentu.

Elektrobusy představovaly v roce 2021 více než 20 % trhu městských autobusů (21,7 %). Znamená to významný nárůst proti letům 2019 (12 %) a roku 2020 (15 %).

Nejvíce elektrobusů za deset let eviduje Nizozemsko, a to 1 319 vozidel.

Rok 2021 byl zlomový pro palivočlánkové (vodíkové) autobusy. Se 158 registracemi vzrostl tento segment meziročně o 236 % (v roce 2020 bylo dodáno 47 vodíkových autobusů).

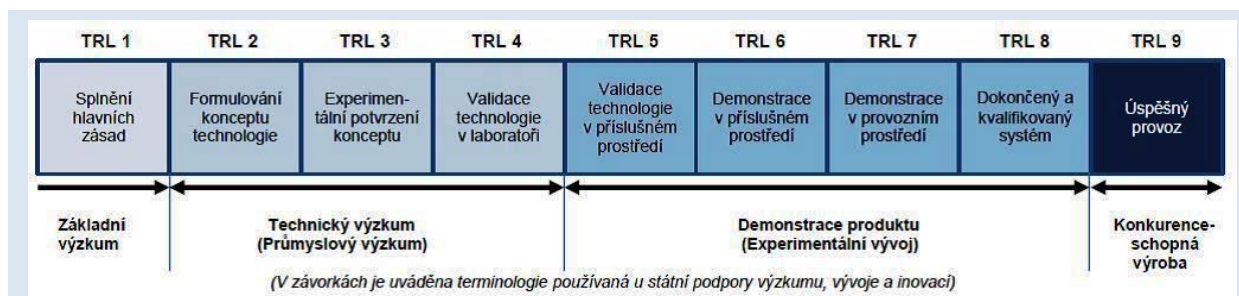
Potvrzuje to skutečnost, kterou prokazují i evropské projekty palivočlánkových autobusů JIVE a JIVE2: Také palivočlánkové autobusy se v posledních letech dostaly na nejvyšší, 9. úroveň připravenosti technologie TRL (viz obrázek č. 1). U bateriových elektrobusů lze dosažení TRL 9 datovat přibližně do roku 2017, kdy na evropském trhu nastává jejich „velký třesk“ s prudkým nárůstem počtu dodavatelů a nabízených typů elektrobusů (80% nárůst oproti roku 2011).

Přechod z tradičních autobusů na elektrobusy zároveň znamená v řadě případů odlišný přístup k využívání vozidel, zvláště v případě velkých vozových parků.

Je stále více třeba přemýšlet nad přidělováním konkrétních vozidel konkrétním linkám. S ohledem na omezenou zásobu energie u bateriových či superkapacitorových elektrobusů je rovněž třeba dbát na jejich co nejplynulejší provoz. V obou případech mohou provozování elektrických autobusů významně napomoci informační a komunikační technologie (ICT).

Elektrické autobusy se tak stávají samostatným dopravním systémem, který s ohledem na své ekologické a klimatické přínosy tvoří důležitou součást **inteligentní městské mobility v konceptu smart city**. K jako takové je pak třeba přistupovat k jejich zavádění v kontextu s ostatní městskou mobilitou, viz obrázek č. 2.

¹ Zdroj: Chatrou CME Solutions: e-busy nad 8 t hrubé hmotnosti, do r. 2020 pouze západní Evropa a Polsko



Obr. 1 Úroveň připravenosti technologie

© Smartcityvpraxi.cz

Dosavadní vysoká míra spolufinancování z evropských zdrojů (85 %) nastartovala v ČR trh s elektrobusey, zároveň však od samého začátku deformovala jeho fungování. Nastavení podmínek financování nijak nebránilo řešením, která se do budoucna mohou ukázat jako neefektivní, a tím komplikovat dlouhodobou udržitelnost dopravy provozované elektrobusey.

To bylo hlavním leitmotivem vzniku tohoto Průvodce. Nejde tu přitom pouze o využití dotačních zdrojů, ale o ekonomickou udržitelnost projektu elektrických autobusů jako takovou. Česko nebude navěky méně rozvinutým regionem Evropské unie, a strategii rozvoje elektrických autobusů tudíž nelze pojímat v horizontu „od dotace k dotaci“.

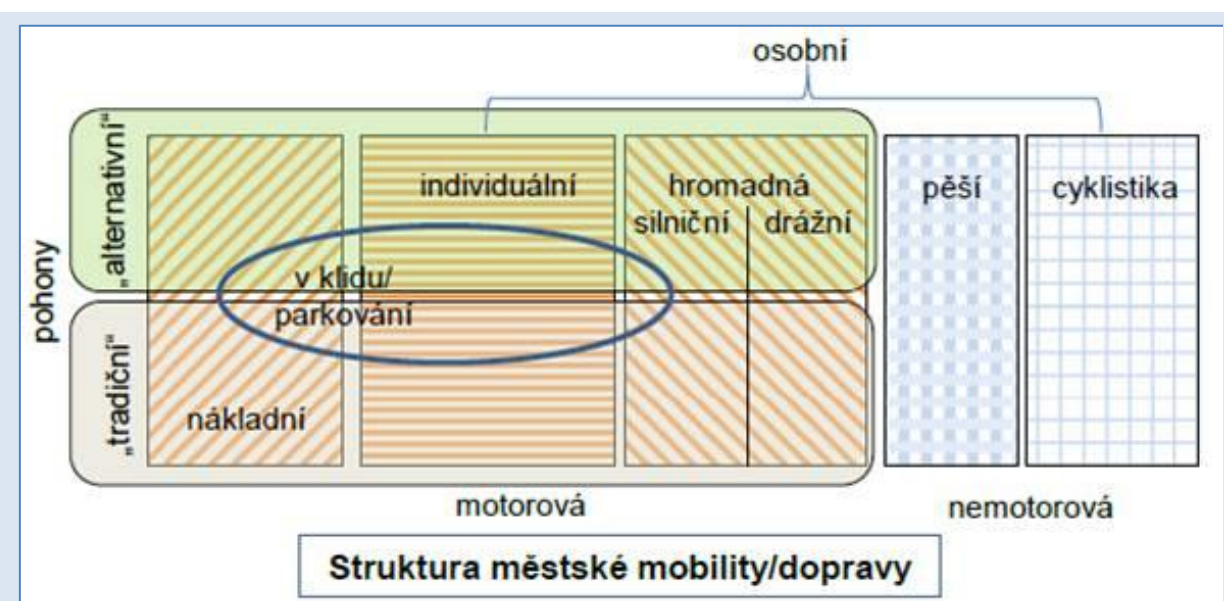
V neposlední řadě znamená elektrifikace autobusových parků přechod na zdroj energie, který není jednoznačně podmíněn

dovozem fosilních paliv ze zahraničí. Také z tohoto pohledu je třeba, aby jejich rozvoj byl dlouhodobě udržitelný.

Obsah a cíl Průvodce

Příprava tohoto Průvodce představuje společnou iniciativu veřejných a soukromých partnerů financovanou ze soukromých zdrojů, která sleduje tři základní cíle:

- ujednotit a šířit zkušenosti a osvědčenou praxi v oblasti elektrických autobusů s nezávislým zdrojem energie (baterie, superkapacitory, vodík) mezi těmi dopravci a zadavateli veřejné dopravy, kteří již elektrifikují své autobusové parky;
- předat tyto zkušenosti a osvědčenou praxi dopravcům a zadavatelům veřejné dopravy, které v oblasti elektrifikace autobusů zatím nemají



Obr. 2 Struktura městské mobility

© Smartcityvpraxi.cz

žádné nebo mají jen velmi malé zkušenosti;

- ukázat sled kroků při přípravě investičního projektu elektrických autobusů.

Obsah Průvodce se zaměřuje na **elektrické autobusy s nezávislým zdrojem energie provozované v režimu silniční dopravy**, nikoli tedy na trolejbusy včetně parciálních. V příslušné kapitole nicméně popisuje i zásadní rozhodnutí, zda v první volbě sledovat spíše drážní dopravu nebo spíše silniční elektrické autobusy.

Důraz je přitom kladen především na trvale udržitelný rozvoj systému elektrických autobusů z pohledu postupného rozšiřování jejich parků (viz příklad na obrázku č. 3), které se neobejde bez standardizace použitých technických řešení.

Obsah tohoto Průvodce tvoří báze potřebných znalostí a popis postupu přípravy.

Kapitoly

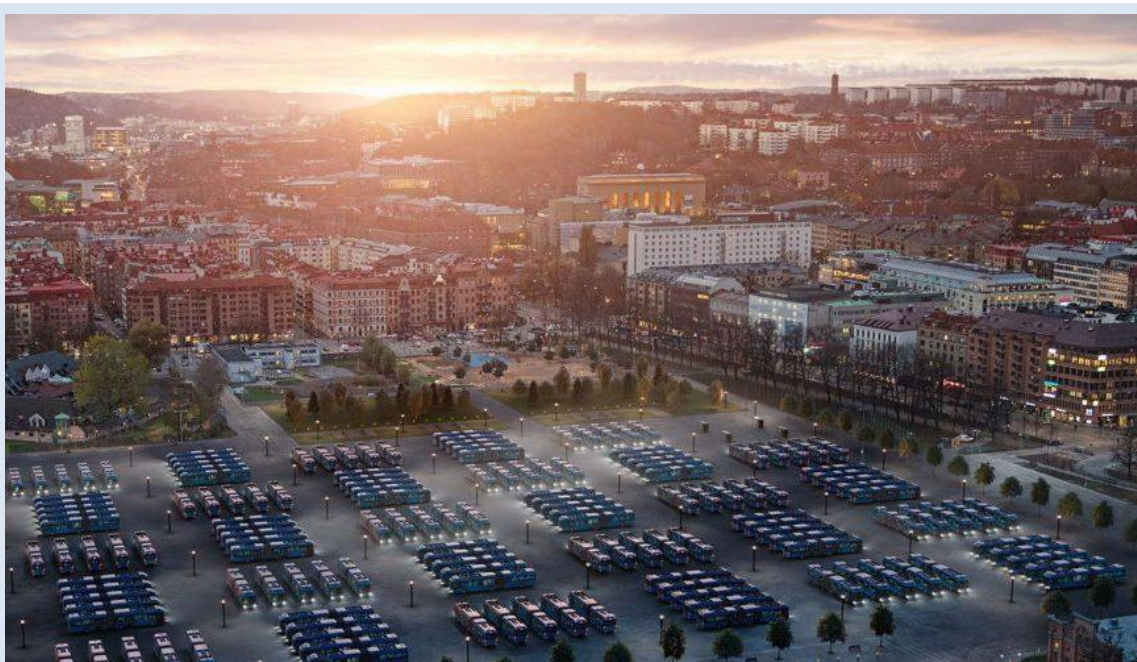
1. Základní charakteristiky elektrických autobusů;

2. Technologie elektrických autobusů a jejich trendy;
3. Ekonomika a financování elektrických autobusů;

uvádějí čtenáře souhrnně do problematiky elektrických autobusů s nezávislým zdrojem energie, jejich jednotlivých technologických koncepcí, potřebné technické infrastruktury a základní ekonomiky.

Kapitola 4 vymezuje a popisuje dvanáct základních kroků nutných k přípravě úspěšného a udržitelného projektu elektrických autobusů ve výše uvedeném vymezení, od první představy zadavatele po výsledné definování projektu tak, aby na jeho základě šlo vypsát výběrové řízení na dodavatele.

Závěrečná kapitola 5 pak shrnuje rozdíl mezi investičními projekty, kterých se týká tento Průvodce, a vývojovými či demonstračními projekty, jejichž hlavním smyslem je ozkoušení nových technických řešení. Dále ukazuje na další informační zdroje, které je vhodné sledovat pro aktuální poznatky z prostředí elektrických autobusů.



Obr. 3 Park 145 kloubových elektrobusů v Göteborgu

© AB Volvo

Z historie elektrobusů v zahraničí: Projekt 100 Bus Electriques

Jedním z nejstarších příkladů rozsáhlejšího nasazení elektrobusů do přepravy osob ve městech je francouzský projekt „100 elektrických autobusů“ (ve skutečnosti bylo elektrobusů „jen“ sedmdesát, ale i to představuje na svoji dobu velmi rozsáhlý projekt). Projekt byl vyhlášen v roce 2002, tedy plných dvacet let před vydáním tohoto Průvodce. Zapojilo se do něj 18 francouzských měst. Provoz elektrobusů byl zahájen v roce 2005.

Projekt 100 Bus Electriques byl iniciován organizacemi ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie – Environment and Energy Efficiency Agency), EDF (Electricité de France), GART (Groupement des Autorités Responsables de Transport) a UTP (Union des Transports Publics).

Typickými vozidly v tomto projektu byly:

- **OREOS 22** (výrobce Gépébus), viz foto: 5m elektrobus o kapacitě 22 sedících, motor o výkonu 22 kW, olověné baterie o kapacitě 42 kWh, dojezd 55 km;
- **OREOS 55** (výrobce Gépébus): 8m elektrobus o kapacitě 55 sedících, motor o výkonu 120 kW, nikl-kadmiové baterie o kapacitě 73 kWh, dojezd 130 km s dobíáním na trase;
- **Europolis** (výrobce Irisbus): 7,5m elektrobus o kapacitě 44 sedících, motor o výkonu 140 kW, baterie ZEBRA (nikl-chlorid, provozní teplota cca 300 °C) o kapacitě 160 kWh, dojezd 130 km.

Provoz zahrnoval převážně okružní linky v historických centrech měst, kyvadlovou dopravu (především ze záchytných parkovišť do center) a v omezeném rozsahu i standardní linkový provoz MHD. Průměrná délka linky činila cca 3 až 6 km.

Malá kapacita olověných baterií u elektrobusů OREOS 22 byla řešena jejich výměnou během dne v uzavřených prostorách. Doba výměny činila cca 5 až 6 minut.

Pro elektrobusy Europolis s bateriemi ZEBRA a OREOS 55 s nikl-kadmiovými bateriemi bylo používáno noční dobíjení v garáži třífázovou zásuvkou 63 A. Pro elektrobusy OREOS 55 bylo navíc používáno dobíjení ve 120kW rychlonabíjecí stanici na trase.

Baterie a nakládání s nimi byly zpravidla zajištěny dodavatelským způsobem (leasing) kvůli nedostatku potřebných dovedností u dopravců a rizikům poruch. Lithium-iontové baterie, dnes nejběžnější, nebyly v době projektu dostatečně vyvinuté pro použití u elektrických pohonů, ale byly vnímány jako perspektivní směr.

Disponibilita parku činila i při těchto technologiích úctyhodných 95 %. Elektrobusy přitom byly v provozu 10 až 12 hodin denně s průběhem cca 100 km.

Malé elektrobusy se velmi osvědčily ve specifických podmínkách historických center, kde jejich provozní omezení nebránila jejich užitku. Projekt však také potvrdil potřebnost dalšího vývoje elektrobusů o větší přepravní kapacitě a delším dojezdu pro běžný městský provoz.



Projekt zároveň inspiroval využití elektrobusů v areálech velkých institucí nebo v lyžařských resortech.

Foto © EDF

Z historie elektrobusů v ČR: Elektrobusy SOR v Ostravě

Dopravní podnik Ostrava je průkopníkem elektrobusů v České republice. Čtyři elektrobusy SOR EBN10,5 pro 18 sedících a 66 stojících cestujících zde slouží již od roku 2010 – tři stále v linkovém provozu, jeden se stal historickým vozidlem ostravského muzea MHD.

Koncept a montáž navrhly a provedly dílny DPO, nyní Škoda Ekova. K pohonu slouží 120kW asynchronní elektromotor. Lithium-železo-fosfátové trakční baterie o kapacitě 170 kWh vystačí s potřebnou rezervou na průměrný denní dojezd s cestujícími cca 140 – 160 km (podle míry vybití baterií). Maximální dojezd prázdného vozidla je 250 km.

Elektrobusy jsou proto využívány v provozu na dělených směnách mezi dopravními špičkami, dobíjení probíhá během polední přestávky. Ranní proběh je 85 km, odpolední proběh 100 km. Mezi ranním a odpoledním proběhem jsou trakční baterie vybity ze 100 % na 60 až 70 % kapacity.

Elektrobusy nejsou klimatizované a pro topení v zimních měsících využívají naftový přímotop (cca 3 l nafty/hod). Jejich celková spotřeba elektrické energie je tak téměř shodná s trakční spotřebou, tedy spotřebou pro pohon, a činí cca 0,85 kWh/km.

Disponibilita těchto elektrobusů je stále srovnatelná s ostatním parkem DPO, i když vlivem přirozeného opotřebení pochopitelně poruchovost roste. I po jedenácti letech života jsou stále nejčastějšími příčinami poruch mechanické závady. S léty jsou patrné zejména problémy na karoserii způsobené korozí.

Některé zdroje závad byly fakticky „dětskými nemocemi“ na vozidlech, které vznikaly jako prototypy v průkopnickém období. Jednalo se například o poddimenzování některých elektrických součástí nebo vozidlových sběrnic (CAN), přenášejících informace se senzorů na vozidle do řídicí jednotky (dnešní elektrobusy mají i čtyři tyto sběrnice, zatímco zde je pouze jedna na vozidlo).

Trakční baterie byly během dosavadního života elektrobusů jednou vyměněny. Stalo se tak po sedmi letech při kapacitě baterií 70 % původní hodnoty.

Lze shrnout, že navzdory svému stáří tyto elektrobusy dále přiměřeně slouží. Kromě toho významně přispěly k zájmu o elektrobusy v ČR a k související osvětě na všech úrovních.



Foto © Smartcityvpraxi.cz

1. Základní charakteristiky elektrických autobusů

1.1 Elektrické autobusy podle zdroje energie

1.1.1 Bateriové elektrobusy

Elektrobusy s bateriovými zásobníky energie jsou v současné době ve světě nejrozšířenějším druhem elektrických autobusů – jejich počty se pohybují ve stovkách tisíc, z toho nejvíce v Číně. Evropská města v důsledku svých klimatických závazků nyní postupně elektrifikují své autobusové parky MHD ve velkých sériích čítajících desítky i stovky těchto vozidel.

Vyprofilovaly se jako technicky **rozvinutý produkt vyráběný ve středních i velkých sériích ve všech základních velikostech**: midibus (8 – 9 m), standardní autobus (12 m) a kloubový autobus (18 m). Přitom dochází k jejich technické standardizaci a komercializaci.

Elektrobusy využívají v současné době dva základní koncepty podle dojezdu na jedno nabití baterií:

- „**noční elektrobus**“, dobíjený jednou denně po dobu několika hodin ze zásuvky, s kapacitou baterií do-

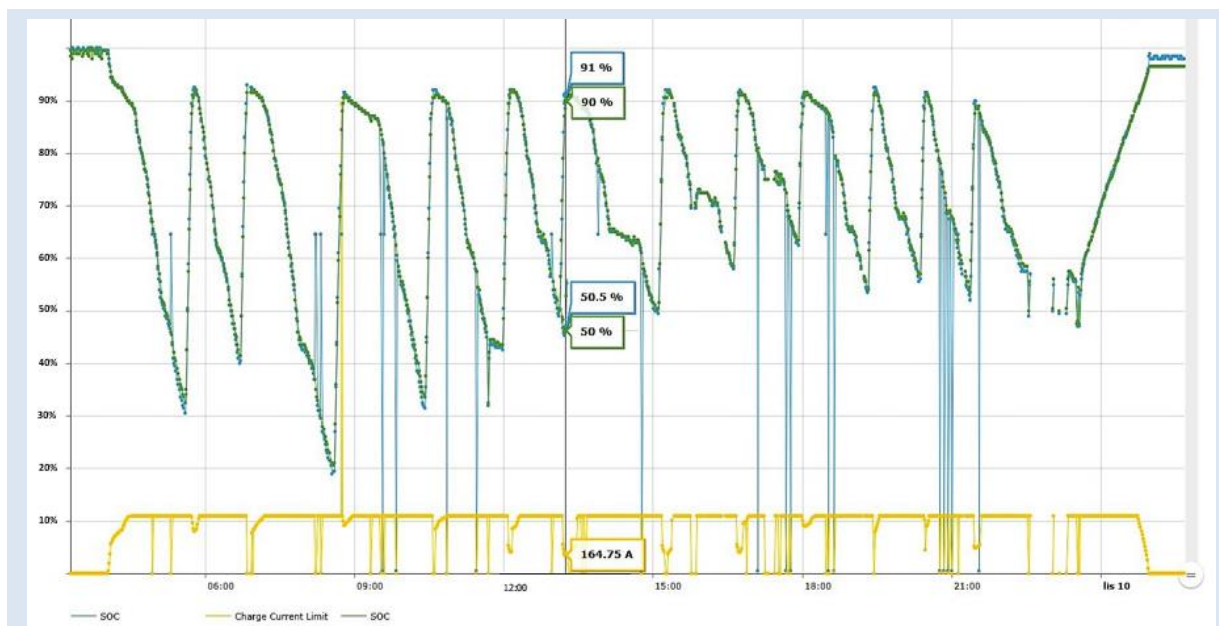
stačující na jednu směnu, s reálným dojezdem (podle místních podmínek a netrakovní spotřeby) cca 160 – 200 km,

- **průběžně dobíjený elektrobus**, zpravidla kombinující noční pomalé dobíjení (nejčastěji, ale nejen ze zásuvky) po dobu kratší, než u „nočního“ elektrobusu, a automatizované rychlé dobíjení na trase vysokými nabíjecími výkony, obvykle ze standardizované nabíjecí konzole po dobu několika jednotek minut; reálný dojezd na jedno rychlé nabití zpravidla činí řádově několik desítek km, denní provoz tímto systémem je prakticky neomezený.

Příklad denního průběh nabíjení a vybití baterií průběžně dobíjeného elektrobusu ukazuje křivka na obrázku č. 4.

Většina výrobců (ne však všichni) nabízí obě tyto koncepce.

Oproti trolejbusům s bateriovými zásobníky energie – tzv. parciálním trolejbusům – nabízejí staticky dobíjené elektrobusy zejména větší míru nezávislosti na trolejo-



Obr. 4 Denní průběh nabíjení a vybití baterií u průběžně dobíjeného elektrobusu (příklad elektrobusu v Ostravě)

© DPO

vé infrastrukturu a menší podíl fixních nákladů spojený s jejím vybudováním a provozem. Hodí se tedy i pro trasy/linky/skupiny linek se slabšími přepravními proudy. Jako takové mají své pevné místo v portfoliu elektrických dopravních prostředků i u měst provozujících trolejbusy.

1.1.2 Superkapacitorové e-busy

Na evropském trhu se rovněž začínají uplatňovat průběžně dobíjené elektrobusy využívající jako zásobník energie superkapacitory a nabízející rovněž standardizované nabíjecí rozhraní. Představitelem této technologie je izraelsko-bulharský dodavatel Chariot Bus.

Výhodou superkapacitorů oproti bateriím je zejména větší provozní odolnost (provozní živostnost srovnatelná s technickou životností vozidla při velkém rozpětí provozních teplot) a absence pomalého nabíjení v garážích. K běžným jízdám z garáží a zpět totiž stačí pouze poslední průběžné dobíjení na trase. Rovněž jejich recyklace je méně náročná, protože neobsahují škodlivé látky.

Nevýhodou je menší kapacita těchto zásobníků energie, a tím jejich omezení – v rámci konstrukčních parametrů elektrobusu – pouze na režim průběžného dobíjení.

1.1.3 Palivočlánkové elektrické autobusy

Palivočlánkové elektrické autobusy používají jako zdroj energie vodíkový palivový článěk v kombinaci s trakční baterií, vyrovnávající výkyvy v okamžité spotřebě energie.

Tyto autobusy rovněž prožívají prudký vývoj směrem k technické standardizaci a komercializaci samotných vozidel i palivočlánkových energetických zdrojů. Oproti bateriovým elektrobusům je však tento proces pomalejší mj. s ohledem na historický vývoj, složitost používaných technologií, nutnost vodíkové plnicí infrastruktury a vyšší související pořizovací i provozní výdaje.

Ekonomickými silami ženoucími vývoj palivočlánkových autobusů rychle kupředu jsou zejména

- dojezd na jedno naplnění nádrže vodíkem srovnatelný s dojezdem dieselů a zároveň lokálně bezemisní a nehlukný provoz stejně jako u bateriových elektrobusů;
- tedy ideální řešení pro dopravce s dlouhými linkami, kteří nemají možnost nebo zájem měnit provozní režim autobusů při konverzi jejich parku na elektrický pohon;
- tržní příležitost pro plynárenský, petrochemický a těžební průmysl, kterou představuje zejména existující síť čerpacích stanic, zkušenosti s nakládáním s plynnými palivy, vodík jako odpadní produkt z chemické výroby a platina jako katalyzátor v palivových článcích.

Pro úplnost, vodík lze spalovat rovněž v zážehových motorech, podobně jako například CNG. Takovýto provoz je lokálně bezemisní, ale velmi neefektivní (např. v rámci evropského projektu CHIC činila průměrná spotřeba vodíku u berlínských vodíkových autobusů s plynovým spalovacím motorem 22,8 kg/km, což byl více než 2,5násobek průměrné spotřeby testovaných 12m palivočlánkových autobusů).

1.1.4 Diesel-hybridní pohony

Hybridní řešení pohonu významně snižuje spotřebu nafty i produkované emise a to o cca 25 – 30 %. Zároveň omezuje hlučnost vozidla – elektrický pohon totiž přichází ke slovu při rozjezdech, kde je podíl spalovacího motoru na celkovém hluku vozidla nejvýraznější.

Hybridní autobusy tak mohou být užitečným mezičlánkem mezi klasickými autobusy s naftovými motory a připravovanými projekty zcela bezemisních vozidel.

Existují dvě základní koncepce diesel-hybridního pohonu:

- sériový hybrid;
- paralelní hybrid.



Obr. 5 Diesel-hybridní autobus Volvo v MHD Kroměříž
© Město Kroměříž

spolufinancování z evropských zdrojů. Z hybridních sestav tuto podmínku splňuje pouze plug-in hybridní pohon. Některá česká města (viz příklad na obrázku č. 5) přesto diesel-hybridy úspěšně provozují.

1.2 Základní přínosy a omezení elektrických autobusů

1.2.1 Technické a provozní vlastnosti

U **sériového hybridu** vznětový motor pohání generátor, který zároveň slouží k jeho startování. Kola autobusu roztáčí elektromotor napájený právě z generátoru či ze zásobníku energie. Mezi vznětovým motorem a koly tedy není žádná mechanická vazba.

U **paralelního hybridu** je do pohonu zapojován jak elektromotor, tak spalovací motor s mechanickým převodem. Krouticí moment je přitom automaticky rozdělován převodovkou mezi elektromotor a diesellový motor podle aktuálních provozních podmínek.

Jako zásobník energie slouží u hybridních pohonů baterie nebo superkapacitory. **Zásobníky energie se dobíjejí při brzdění vozidla nebo spalovacím motorem.**

Kombinace plně elektrického a hybridního pohonu je nazývána **plug-in hybridem** nebo též **elektrickým hybridem**. Takto koncipovaný elektrický autobus je vybaven trakčními bateriemi dobíjenými z vnějšího zdroje, vystačujícími na plně elektrický provoz na kratší vzdálenost, obvykle cca 5 až 10 km. Poté autobus přechází na hybridní pohon, tak jak je definován výše.

Jak patrně, plug-in hybridní pohon nalezne své uplatnění zvláště tam, kde je třeba projet plně elektricky bezemisní zónou města a dále lze využít hybridní pohon.

Podle aktuálního stanoviska Evropské komise není hybridní pohon s bateriemi dobíjenými pouze rekuperací uznáván za „čistý“, a **není tedy ani předmětem**

Elektrický pohon je oproti pístovému spalovacímu motoru mnohem **energeticky účinnější**.

Výrazně účinnější je především vlastní **pohonná jednotka vozidla**. Účinnost spalovacího motoru je cca 25 – 40 %, přičemž při spodní hranici se pohybují zážehové motory (včetně plynových), při horní hranici přepřínované vznětové motory. Naproti tomu účinnost elektromotoru pro pohon vozidel se zpravidla pohybuje v rozmezí 90 – 95 %.

Moderní elektrická vozidla, tedy i elektrobusey, nadto dokáží **rekuperovat** do baterie pohybovou energii tím, že elektromotor při brzdění funguje jako generátor. Teprve okamžitý přebytek elektrické energie, který nelze rekuperovat, se přeměňuje na teplo v brzdových odpornících. V praxi lze tak rekuperovat více než 30 % energie.

Elektrický pohon obsahuje oproti pístovému spalovacímu motoru méně pohyblivých částí, a je tedy méně náročný na údržbu.

Zde je třeba zdůraznit, že **hlavním potenciálním zdrojem poruch elektrického autobusu je mechanická část vozidla, nikoli sám elektrický pohon**. Při výběru dodavatele a jeho produktu je proto užitečné zohlednit požadavek na spolehlivost vozidla jako celku.

Jako každé elektrické vozidlo se i elektrické autobusy vyznačují pružnou akcelerací. To je dáno především povahou elektromotoru, kdy není třeba vytvářet otáčivý pohyb kol z přímočarého pohybu pístů.

145 elektrobusů v Göteborgu: elektrický pohon šetří životní prostředí, kvalitní mechanická část je zárukou spokojenosti řidičů a cestujících

Dopravce Transdev provozuje v Göteborgu od prosince 2020, jménem organizátora dopravy v regionu západního Švédska Västtrafik, park 145 elektrobusů [Volvo](#). Jde o 18,55m kloubové elektrobusy Volvo 7900 Electric pro 150 cestujících s pohonem o výkonu 2× 200 kW. Jako zásobník energie slouží 396kWh baterie, které se dobíjejí ze zásuvky standardem CCS a průběžným systémem OppCharge (viz foto). Ke konci roku 2021 se tak na dopravní obsluhu regionu podílelo dohromady 210 elektrických autobusů.

Nové kloubové elektrobusy jsou provozovány na 34 linkách v Göteborgu a na jeho předměstích. K nabíjení slouží celkem 19 nabíjecích stanic ABB o nabíjecím výkonu až 450 kW, rozmístěných ve 13 lokalitách.

Po roce provozu uvádí Västtrafik významný vliv elektrobusů na snížení smrtelně škodlivých emisí pevných částic o 19 % a oxidů dusíku, druhého nejrizikovějšího polutantu, o 46 %. Emise CO₂ zároveň poklesly o 10 %.

Přechod na elektrické autobusy znamená pro obyvatele i město mnoho dalších výhod. Vedle bezemisní a klidné veřejné dopravy vzniká více příležitostí, jak umožnit Göteborgu růst v místech, kde dosud nebylo možné stavět kvůli hluku a znečištění ovzduší.

Cílem Västtrafik je do roku 2030 plně elektrifikovat všech svých 700 městských autobusů.

Úspěšnost projektu byla v první řadě podmíněna pečlivou přípravou, za niž zodpovídal dopravce Transdev.

Ta zahrnovala mimo jiné výběr správné technologie, školení zaměstnanců, hledání a přizpůsobení dep pro autobusy a zajištění dostupnosti nabíjecí infrastruktury i potřebné kapacity energetických sítí. Součástí přípravy byly také pečlivé analýzy všech tras v úzké spolupráci dopravce Transdev s dodavatelem elektrobusů a nabíjecí technologie.

Pro celkový úspěch projektu se osvědčilo využívání standardizovaných technologií a volba dodavatele známého velkou spolehlivostí svých produktů.

Největším zdrojem poruch u elektrických autobusů totiž nebývá elektrický pohon sám, nýbrž mechanická část vozidla. Již více projektů elektrobusů, české nevyjímaje, skončilo z tohoto důvodu rozčarováním. A právě tomu Göteborgský projekt pečlivým výběrem dodavatele a jeho produktu předešel.

Úspěšnost tak velkého počtu naráz zprovozněných elektrobusů v Göteborgu byla podmíněna i úzkou spoluprací mezi několika různými aktéry, soukromými a veřejnými. Městská energetická společnost Göteborg Energi zajistila, aby byl pro autobusy dostatek elektřiny. Při posílení kapacity elektrické sítě instalovala nové podzemní kabely a postavila nové transformátory. Souběžně s tím město Göteborg poskytlo pozemky pro depa a upravilo konečné zastávky, aby uvolnilo místo pro nabíjecí stanice.



Foto © AB Volvo

Elektrický pohon však musí být volen tak, aby mohl plně uplatnit své uvedené provozní výhody. Problém může nastat, pokud je například nasazen na kopcovitou linku elektrický autobus s neadekvátně malým výkonem pohonu.

1.2.2 Lokální emise a vliv na klimatické změny

Pro elektrické autobusy bez rozdílu je charakteristický lokálně bezemisní provoz. Jediným zdrojem lokálních emisí může být nezávislé naftové topení, je-li používáno při nízkých okolních teplotách (viz kapitola o netrakční spotřebě).

Uhlíková stopa bateriových elektrobusů odpovídá energetickému mixu dané země. V českých podmínkách činí dnes přibližně 60 % uhlíkové stopy dieselových autobusů a s plánovaným odklonem od uhlíkové energetiky by její hodnota měla průběžně klesat (Poznámka: Jde o orientační srovnání, hodnoty se mohou lišit podle zdroje dat a použité metodiky).

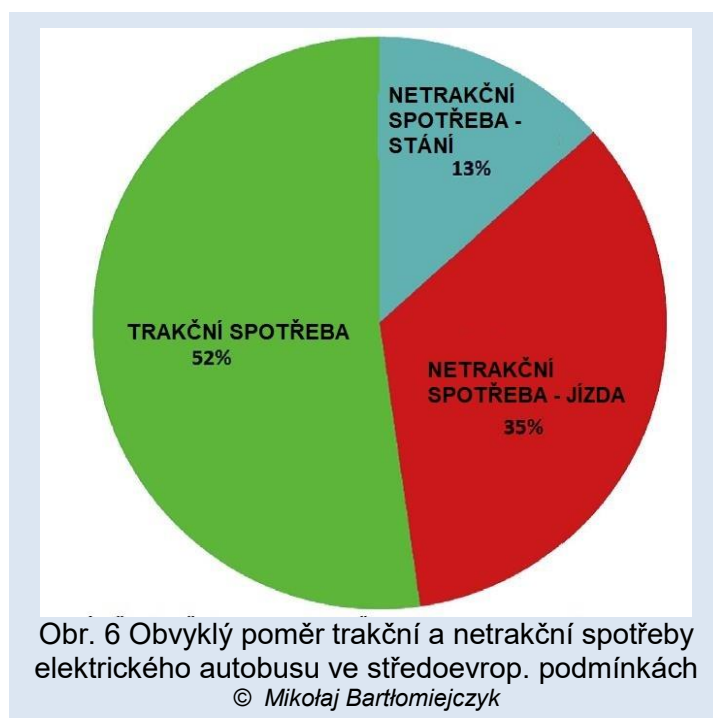
Uhlíková stopa palivočlánkových autobusů závisí na zdroji vodíku a může se pohybovat od téměř nuly u elektrolýzy z obnovitelných zdrojů do vysokých hodnot u výroby vodíku z fosilních paliv.

K uspořeným emisím dieselových autobusů viz též kapitola 4.

1.2.3 Netrakční spotřeba elektrických autobusů a její ekologické aspekty

1.2.3.1 Spotřeba pomocných zařízení

Pomocná zařízení jsou zdrojem netrakční spotřeby², která má významný vliv



na celkovou spotřebu elektrobusů, a následně i na dojezd na jedno nabití a potřebnou kapacitu baterií. Průměrný podíl trakční a netrakční spotřeby ukazuje graf na obrázku č. 6. Podíl netrakční spotřeby se v našich podmínkách nicméně během roku mění od necelých 30 % zkraje léta po více než 60 % v zimním období.

Hlavní zdroje netrakční spotřeby ukazuje tabulka č. 1.

Největším zdrojem netrakční spotřeby je **topení a klimatizace**, jejichž výkon se pohybuje o jeden řád výše než u ostatních

Tabulka č. 1 Obvyklé výkony netrakčních zařízení elektrických autobusů

Systém	Jmenovitý výkon
Osvětlení	1–2 kW
Informační a odbavovací systémy pro cestující	1–3 kW
Nabíjení palubních 24V baterií	0,5 - 2 kW
Vzduchový kompresor	3–6 kW
Čerpadlo hydrauliky	2–4 kW
Klimatizace	10–16 kW
Topení	5–25 kW

© Mikołaj Bartłomiejczyk

² Podrobná analýza problému viz <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619346463>

pomocných zařízení, jako např. osvětlení, vzduchový kompresor, čerpadlo hydrauliky

ky, informační systémy apod. Odtud se odvíjejí i způsoby jejího snižování.

1.2.3.2 Základní způsoby snižování netrakční spotřeby

Základem pro snižování netrakční spotřeby je **optimalizace vnitřní teploty ve vozidle**, tedy zabránění jeho přetopení. Pozornost je třeba věnovat zejména topení při delších zastávkách, kdy je autobus prázdný.

Jiným možným způsobem je **inteligentní řízení netrakční spotřeby**. Tím se rozumí přizpůsobení jejich spotřeby provozu vozidla. Konkrétně jde o využívání rekuperované energie pro netrakční zařízení, tedy zejména vytápění, přednostně během brzdění vozidla.

Využití **tepelných čerpadel** místo elektrických přímotopů může snížit spotřebu elektrické energie pro vytápění o 50 – 70 %, tedy velmi významně, s příznivým dopadem na snížení celkové spotřeby energie, a tím i ekologických a klimatických dopadů, řádově v desítkách procent. Jejich účinnost však s okolní teplotou klesá a podle současných poznatků z průmyslu³ je jejich provoz pod cca –5 °C neefektivní.

Přídavné naftové nebo jiné topení, které výrobci doporučují pro větší mrazy, produkuje místní emise a klimatické dopady. Tento problém osvětluje následující podkapitola.

Prozatím nebylo přídavné topení překážkou spolufinancování z evropských zdrojů v současném ani v následujícím programovém období. Někteří dopravci jdou i s tím cestou „plně bezemisních“ vozidel.

1.2.3.3 Emise z přídavného naftového topení

Stanovení **emisí základních polutantů z přídavného naftového topení a jejich porovnání s elektrickým topením a s provozem dieselových autobusů** je poměrně složité, především s ohledem na různé metodiky stanovení emisí a na různé zdroje vstupních dat. Při porovnávání

emisí je také třeba vzít v potaz relativní škodlivost jednotlivých polutantů, viz též v kapitole 4, Krok 9: Cost benefit analýza, a zde obrázek č. 38.

Závěry je proto vždy nutno interpretovat obezřetně a s vědomím všech nejistot.

Pro potřebu tohoto Průvodce byly jeho autory provedeny orientační srovnávací propočty na základě informací z DPO, korespondence s výrobcem topení a dalších publikovaných zdrojů (viz seznam na konci Průvodce). Závěry jsou následující:

a) Technické aspekty

Přídavné naftové topení se používá pouze v mrazivém počasí, v našich podmínkách zhruba 40 dní v roce.

Přídavná naftová topení pracují s nízkým tlakem vzduchu, a tudíž nemohou filtrovat výfukové plyny. Jde tedy de facto o naftová lokální topeniště.

Tím se jejich emise, zejména lokální, významně liší od emisí dieselových autobusů, které jsou filtrovány a s nároky emisních tříd klesají.

Topení elektřinou je poměrně náročné na primární zdroje, které jsou v současném energetickém mixu ČR plně bezemisní z cca 45 %. To se odráží i ve struktuře souvisejících emisí. Z pohledu výroby elektřiny v ČR jde však o nepatrné objemy.

b) Lokální emise

Elektrické topení je lokálně bezemisní. Z pohledu emisní náročnosti výroby elektřiny v ČR vyprodukuje oproti naftovému topení zhruba dvojnásobek emisí oxidu dusíku a polovinu či méně oxidů síry a pevných částic.

Naftové topení vyprodukuje ve srovnání s provozem dieselových autobusů kategorie Euro 5 a Euro 6 v ročním průměru malé desítky procent emisí oxidů dusíku, cca stejné až trojnásobné emise pevných částic a více než 20násobné emise oxidů síry.

Ve dnech, kdy je naftové topení v provozu, produkuje v porovnání s dieselovým autobusem cca srovnatelné dusíkaté emise (v průměru za Euro 5 a 6), násobky až dese-

³ Např. prezentace elektrobusů Scania v ČR v roce 2021

tinásobky emisí pevných částic a více než stonásobek sirných emisí.

c) Klimatický vliv

Elektrické topení má oproti naftovému cca dvojnásobnou produkci oxidů uhlíku.

Naftové topení vyprodukuje za rok zhruba desetinu uhlíkových emisí dieselového autobusu. Ve dnech, kdy je topení v provozu, jsou jeho uhlíkové emise srovnatelné s emisemi dieselového autobusu.

d) Závěr

Lze tedy shrnout, že přídavné naftové topení je oproti elektrickému poměrně náročné na lokální emise a méně náročné na klimatické dopady.

Elektrické topení zároveň vyžaduje odpovídající kapacitu trakčních baterií dimenzovanou na nejhorší scénář vnějších teplot. To se velmi pravděpodobně odrazí v pořizovacích nákladech vozidel a také v klimatických dopadech životního cyklu baterií, jejichž vyčíslení přesahuje rámec tohoto Průvodce.

Ve výsledku tedy záleží na preferencích a finančních možnostech dopravce a zadavatele veřejné dopravy.

1.2.4 Hluk

Ve městech je hluk z dopravy **druhým**

nejzávažnějším ekologickým problémem, následujícím hned za emisemi.

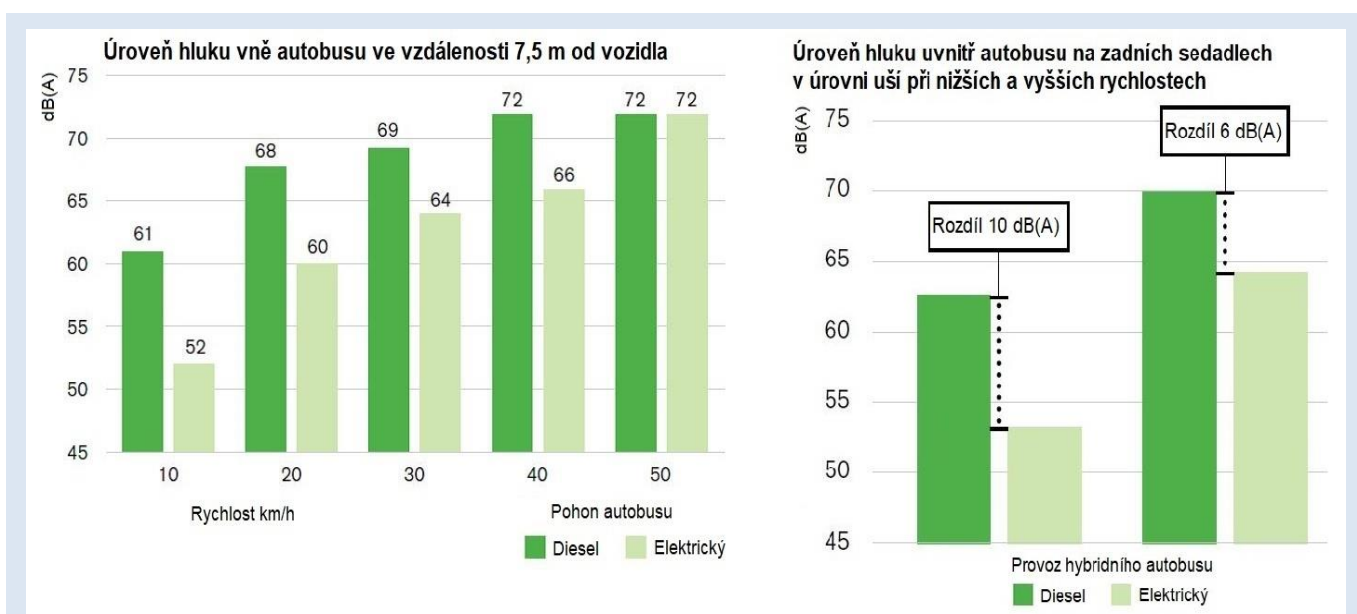
Vystavení nadměrnému hluku totiž může vést ke kardiovaskulárním problémům, které zkracují lidský život. Týká se to zejména hluku v nočních a časně ranních hodinách během spánku.

Důležitým, ale ne jediným zdrojem hluku vozidla je motor. **Hluk motoru je významný při rychlostech do 50 km/h**, při vyšších rychlostech převáží hluk pneumatik. Motor má tedy pro hlukovou zátěž význam právě v městském prostředí.

Nejde přitom pouze o hluk při jízdě. Nepříjemný je i hluk motoru stojících vozidel, který se velmi často týká právě autobusů.

Problém představuje zejména hluk o nízkém kmitočtu, který snadno proniká zdmi a okny. Významně vnímáno je tudíž i malé zvýšení jeho hlasitosti. Právě takovýto hluk vydávají mj. autobusy se spalovacím motorem. Hluk elektrických autobusů, tedy především hluk pneumatik a pomocných elektrických zařízení, naproti tomu patří k těm, které lze snadno odfiltrovat fasádami domů. Hluk pomocných zařízení v elektrickém autobusu lze kromě toho vhodnou konstrukcí dále snižovat nebo tlumit.

Porovnání obou pohonů co do hluku je zřejmé z grafů na obrázku č. 7.



Obr. 7 Vnější a vnitřní hluk autobusu podle pohonu

© AB Volvo

Elektrické autobusy bez ohledu na zdroj energie tak významně přispívají ke snížení zdravotně nebezpečného hluku. Tento fakt prokázala mj. k tomuto účelu provedená studie Göteborgské univerzity⁴ porovnávající míru a dopady hluku autobusů před a po elektrifikaci linky.

1.2.5 Obecná ekonomika pořízení a provozu, personální aspekty

Tato část slouží pro první představu o ekonomice elektrických autobusů. Podrobnostmi se dále zabývá kapitola č. 3.

Pořizovací cena bateriového či superkapacitorového elektrobusu oproti diesellovému autobusu může být dvoj- až trojnásobná. Tento rozdíl je částečně kompenzován **náklady na palivo/energii a údržbu** nižšími o cca 60 % oproti dieselum⁵, což se různým způsobem promítá do celkových provozních nákladů v závislosti na jejich struktuře a podílu ostatních položek.

Významnou skutečností nicméně je, že u elektrického pohonu je relativně nejmenší podíl paliva či energie na celkových provozních nákladech, z čehož plyne, že **elektrický pohon je nejméně zranitelný vůči výkyvům cen paliv a energií**.

Dodatečnou investicí je **vybudování nabíjecích stanic**, a to zejména dobíjecí základny **v garážích**, případně **stanic pro průběžné dobíjení**, je-li zvolena tato koncepce elektrobusů. Zde je třeba počítat s výdaji řádově v miliónech až desítkách miliónů Kč. S rostoucí velikostí elektrobusových parků je při nabíjení v garážích třeba pamatovat na dostatečný příkon a příslušný energetický management.

Samostatným problémem jsou náklady trakčních baterií, jejichž „mobilní“ životnost, tedy doba, kdy kapacita baterie degraduje na nejvýše 80 % původní kapacity, zpravidla nedosahuje životnosti vozidla. Tento problém lze vhodně řešit v rámci dodavatelské smlouvy, pochopitelně za tomu odpovídající cenu.

⁴ Blíže viz <https://www.gu.se/en/news/better-residents-health-after-switch-to-electric-buses>

⁵ Stav před krizí z ukrajinského konfliktu; v jejím průběhu nejsou ceny paliv stabilizované ani předvídatelné.

U superkapacitorů tento problém odpadá, mají však oproti bateriím nižší hustotu energie, a tím i omezenou kapacitu (podrobnosti viz dále v kapitole 2).

Ceny **palivočlánkových autobusů** průběžně klesají a zvolna se přibližují horní hranici cen bateriových elektrobusů.

Provozní náklady těchto autobusů v porovnání s jinými pohony jsou dány hlavně cenou vodíku – u českého demonstračního projektu TriHyBus například činila úspora nákladů na palivo oproti srovnatelnému dieselu cca 30 %.

Samostatnou jednorázovou investicí je vodíková plnicí infrastruktura.

Provozování elektrických autobusů vyžaduje v neposlední řadě příslušně kvalifikovaný personál v oboru elektrických vozidel a elektrotechnických zařízení. Tuto kvalifikaci je třeba dostatečně včas zajistit v rámci přípravy projektu elektrických autobusů.

1.3 Provozní bezpečnost elektrických autobusů

1.3.1 Bateriové elektrické autobusy

Hlavním, ovšem ne jediným, zdrojem požárního rizika u bateriových elektrických vozidel je elektroinstalace i samotné lithiové baterie.

Obecné normy z hlediska požární bezpečnosti elektrobusů jsou uvedeny dále v kapitole 1.4.3.

Dokumentem shrnujícím požární bezpečnost elektrických vozidel je **Metodické doporučení MV-GR HZS ČR**⁶ platné pro projektování staveb, které zahrnují prostory pro výrobu a skladování baterií pro elektromobily a manipulaci s bateriemi nebo prostory pro parkování a dobíjení elektromobilů v budovách.

Mimo jiné se zde doporučuje **instalace elektrické požární signalizace, samočinných stabilních hasicích zařízení**

⁶ Ke stažení na stránkách HZS ČR: <https://www.hzscr.cz/clanek/metodicke-doporučení-elektromobilita-a-pozarni-bezpecnost-staveb.aspx>

a zařízení pro odvod kouře a tepla v objektech typu garáží pro elektrobusesy.

U prostor pro dobíjení baterií, tedy mj. rovněž garáží pro elektrobusesy, se dále doporučuje **vybavení termokamerami s předdefinovanými stupni (teplotami) poplachu** a jejich zapojení jako monitorované zařízení do systému elektrické požární signalizace s možností následného vyhlášení poplachu. Maximální povolená teplota pro detekci je 70 °C.

V případě požárního zásahu u elektrobusesů je pro jednotky hasičů vodítkem bojový řád jednotek požární ochrany Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V⁷.

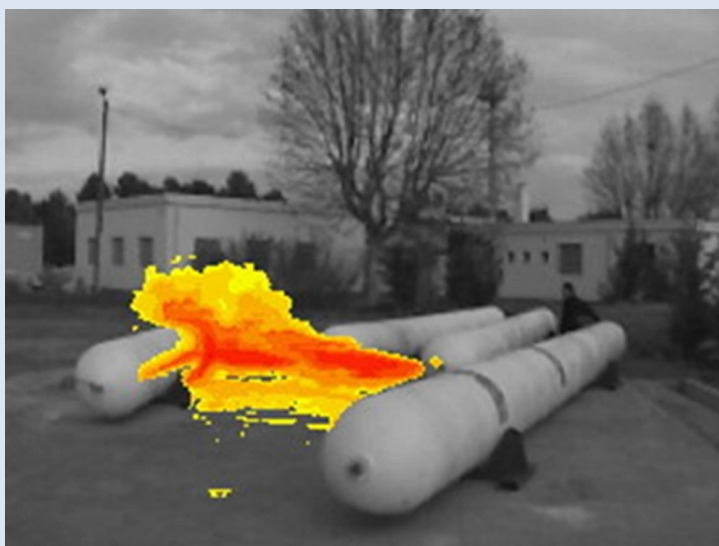
1.3.2 Palivočláňkové elektrické autobusy

Bezpečnost palivočláňkových autobusů (a jiných vozidel používajících vodík) je v ČR relativně nové téma. Po normativní stránce ji upravují technické a právní normy vymezené dále v kapitole 1.4.3.

Bezpečnostní rizika jsou dána povahou vodíku jako nosiče energie ve vozidle.

Jak patrně dále z kapitoly 2.1.2, nádrže s vodíkem jsou u palivočláňkových autobusů umístovány na střeše. Vlastní palivočláňková jednotka může být umístěna rovněž na střeše, ale také jinde, například na zádi autobusu. To je třeba mít na zřeteli při zohledňování bezpečnosti palivočláňkových autobusů, jejich udržovací základny a vodíkového hospodářství.

Vodík sám je **hořlavý** a jeho plamen je bezbarvý, lidským okem téměř neviditelný a je ho proto nutno detekovat senzory teploty (viz obrázek č. 8). Teplota samovznícení vodíku je 500 °C, tedy cca dvojnásobná



Obr. 8 Termosnímek plamene vodíku při cvičném úniku z porušené nádrže
© HyResponse.eu

sobná oproti benzínu a naftě a o málo nižší než u CNG. To může představovat vážné riziko popálenin, například při požárním zásahu a evakuaci cestujících v souvislosti s palivočláňkovým autobusem a vodíkovým hospodářstvím (viz dále v kapitole 2.3).

Vodík se vzduchem tvoří **výbušnou směs** v širokém rozmezí 4 až 77 % objemu vodíku ve vzduchu. Zároveň je vodík extrémně lehký. Hustota vodíku v porovnání se vzduchem činí 7 % (pro srovnání, u CNG je to 60 %)⁸.

Pokud by tedy vodík unikl do otevřeného prostoru mimo vozidlo a budovy, rozptýlí se v ovzduší dřív, než by stačil explodovat. Při uvolňování tlaku se ale vodík zahřívá, a náhlá expanze stlačeného vodíku tak může vést k jeho samovznícení.

Riziko **exploze** představují úniky vodíku, a to i drobné, v uzavřeném prostoru – ať už uvnitř vozidla nebo uvnitř staveb, kde se tyto autobusy nacházejí. Zde mohou úniky vodíku vytvářet nebezpečné „vodíkové kapsy“.

Na to je nutno pamatovat při konstrukci palivočláňkových technologií a projektování příslušných staveb.

⁷ Ke stažení na stránkách HZS ČR zde: <https://www.hzscr.cz/clanek/bojovy-rad-jednotek-pozarni-ochrany-v-dokumentech-491249.aspx>

⁸ Za standardních podmínek pro plyny (STP)

Plyne z toho rovněž, že se **vodíkové plnicí stanice** (na rozdíl od nabíjecích stanic pro elektrobuses) **nesmějí nacházet v uzavřených prostorech**.

Základní poznatky a doporučení v tomto směru shrnují zahraniční zdroje, zejména server fuelcellbuses.eu⁹ a dokumenty ke stažení, na něž se tento zdroj dále odkazuje¹⁰.

Uvádí se zde zejména, že

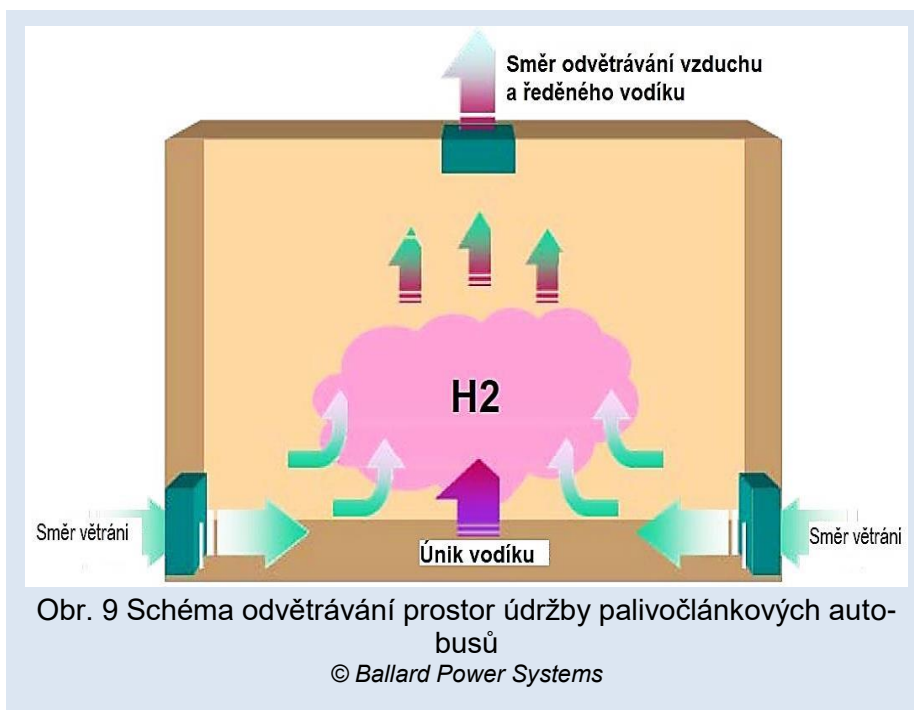
- každý palivový autobus musí být vybaven několika detektory vodíku umístěnými v nejvyšším bodě vodíkového hospodářství vozidla;
- větrání palivového prostoru vozidla musí být zapínáno před zapnutím palivového článku;
- v tomto prostoru musí být rovněž umístěn práškový hasicí přístroj, který se automaticky spouští při teplotě 95 °C;
- řidič musí mít k dispozici ručně ovládaný nouzový vypínač, který ihned vypne veškerá elektrická zařízení pohonu a palivový článek;
- v uzavřených prostorech, kde parkují palivové autobusy (garáže, dílny), musí být instalovány detektory vodíku s vizuální a akustickou signalizací, přičemž řídicí jednotka detektorů se musí nacházet v jiné místnosti, než autobusy;

⁹ Viz

<https://www.fuelcellbuses.eu/category/safety>

¹⁰ Například

https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Safety%20Considerations%20for%20Maintenance%20Facility_0.pdf



- v těchto prostorech nesmí být elektroinstalace nad úrovní vodíkových nádrží autobusů nebo tato instalace musí být vypnuta, přinejmenším v okamžiku, kdy je detekován únik vodíku;
- v těchto prostorech musí být větrání řešeno tak, aby v případě úniku vodíku bylo zajištěno jeho co nejrychlejší odvětrání (viz schéma na obrázku č. 9);
- před vjezdem palivového autobusu do budovy musí být vypnut palivový systém a uzavřen přívod vodíku;
- v místech stání palivových elektrobuses musí být instalováno zařízení pro dobíjení vozidlových baterií, z nichž jsou palivové články udržovány v potřebné teplotě a napájena poplašná zařízení autobusu, tak aby nedošlo k vybití těchto baterií;
- důležitou podmínkou bezpečného provozu je **odpovídající školení veškerého personálu, který přichází do styku s vodíkem**.

V souvislosti s palivovými autobusy je třeba rovněž dbát obecných pravidel bezpečnosti

- pro vysokotlaké nádoby, v nichž je vodík uložen;
- pro elektrická zařízení včetně pohonu a trakčních baterií palivočlánkového autobusu.

Je nutno zdůraznit, že všechna **uvedená bezpečnostní rizika jsou technicky zvládnutá na úrovni aplikací pro rutinní provoz**, o čemž svědčí dosavadní provoz palivočlánkových autobusů v zahraničí. S ohledem na relativní novost této technologie lze nicméně doporučit konzultování projektů staveb určených pro palivočlánkové autobusy a vodíkové hospodářství s HZS ČR.

1.4 Základní technické a právní normy specifické pro elektrické autobusy

1.4.1 Potřebnost norem pro zadávání projektů elektrických autobusů

Všude tam, kde jsou uplatňovány normy, ať už technické, právní, nebo standardy kvality, je žádoucí a praktické, aby se text zadání investičního projektu na ně pouze odkázal, aniž by se snažil výslovně specifikovat detaily technického řešení.

Je to zejména v zájmu časové úspory na přípravu zadání projektu. Přispívá to rovněž k omezení vzniku možných nedorozumění a námitek ze strany neúspěšných uchazečů, i když šikanujícím právním praktikám některých firem v podobných situacích nelze nikdy zcela zabránit.

1.4.2 Obecné normy a předpisy v oblasti „čisté“ energie

ČR se zavázala k naplňování strategických cílů v oblasti snižování emisí CO₂ a zvyšování energetické účinnosti. Mezi hlavní normativy v této oblasti patří:

- **Pařížská klimatická dohoda;**
- **Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu do roku 2030;**
- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva;**

- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1161** ze dne 20. června 2019, kterou se mění směrnice 2009/33/ES o podpoře čistých a energeticky účinných silničních vozidel;
- **Zákon o podpoře nízkoemisních silničních vozidel** prostřednictvím zadávání veřejných zakázek a veřejných služeb v přepravě cestujících, transformující výše uvedenou směrnici do české legislativy (v době uzávěrky tohoto Průvodce jej provizorně nahrazuje Usnesení vlády o zavedení Pravidel podpory nízkoemisních vozidel prostřednictvím zadávání veřejných zakázek a veřejných služeb v přepravě cestujících);
- **Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie** ve smyslu změn uvedených v **zákoně č. 382/2021 Sb.**, který stanoví, že dopravci **neplatí poplatky za elektřinu z obnovitelných zdrojů pro trakční energii při provozování drážní dopravy**, tedy mj. trolejbusů; do budoucna by bylo logické a žádoucí, aby se tento princip vztahoval také na energii pro nabíjení elektrobusesů.

1.4.3 Právní a technické normy v oblasti požární bezpečnosti

Z oblastí požární ochrany jsou důležité zejména **zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně**, ve znění pozdějších předpisů, a prováděcí předpisy k tomuto zákonu, tj. **vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb**, ve znění vyhlášky č. 268/2011 Sb. Relevantní je i norma **ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb. Výrobní objekty**.

K dispozici je rovněž příslušné **metodické doporučení MV-GŘ HZS ČR** uvedené výše v kapitole 1.3.1., které obsahuje doporučující postup pro posuzování požární bezpečnosti staveb ve vztahu k elektromobilitě.

V současnosti je ve schvalovacím procesu **změna výše uvedené vyhlášky č. 23/2008 Sb. a nová norma ČSN 73 0838**

Požární bezpečnost staveb - Garáže, jejichž obsahem je mimo jiné problematika požární bezpečnosti v garážích elektrických vozidel a vozidel na plynná paliva, tedy i palivočlánkových. Zmiňuje se zde např. nutné vybavení garáží detektory úniku plynu a účinným větráním.

1.4.4 Jiné související obecné zákony a standardy

Personál oprav a údržby elektrických autobusů musí mj. splňovat požadavky **zákona č. 250/2021 Sb. o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení** a o změně souvisejících zákonů a jeho příslušné části věnované elektrotechnickým zařízením, platného od 1. 7. 2022. Tento zákon mj. **ruší vyhlášku č. 50/1978 Sb.**, platnou do této doby.

Elektrické autobusy bez ohledu na zdroj pohonu musí dále například splňovat základní podmínky provozu na pozemních komunikacích a disponovat řádnou homologací i pro přepravu osob, např. dle **Směrnice 2007/46/ES**.

Další velmi užitečnou oblastí standardizace platné všeobecně je **stanovení standardů kvality dopravce či zadavatele veřejné dopravy**. Lze doporučit, aby takovéto standardy zahrnovaly mimo jiné i základní provozně technické parametry autobusů, na něž se pak zadání projektu elektrických autobusů pouze odkáže.

Příkladem takovýchto standardů mohou být Standardy kvality Pražské integrované dopravy – autobusy¹¹.

Existují mnohé další právní předpisy a technické normy, které mají vztah k elektrickým autobusům a jejich provozu společně nebo zvlášť podle zdroje energie a technické koncepce. Není cílem tohoto Průvodce (a ani to není prakticky možné) podat zde zcela vyčerpávající výčet všech souvisejících právních a technických norem. Je zde proto představen pouze výběr těch nejzákladnějších.

¹¹ Ke stažení zde: https://pid.cz/wp-content/uploads/2018/04/Standardy_kvality_autobusy_2019.pdf

1.4.5 Bateriové elektrické autobusy

Základním normativem upravujícím budování nabíjecí infrastruktury je **Zákon č. 183/2006 Sb.** (Stavební zákon), případně další relevantní právní předpisy.

Základní normu v otázce uzemnění nebo galvanického oddělení při nabíjení elektrických vozidel představuje **Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) č. 100 Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska zvláštních požadavků na elektrické výkonové propojení**.

Další všeobecné požadavky na nabíjení elektrických vozidel upravuje norma **ČSN EN 61851 Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením** a její dílčí části.

Nabíjecí rozhraní pro zásuvkové nabíjení v depu specifikuje technická norma **ČSN EN 62196** a její části.

Od února 2021 platí evropská norma **EN 50696 Contact Interface for Automated Connection Device (Kontaktní rozhraní pro automatizovaná propojovací zařízení)**. Tato norma upravuje nabíjecí rozhraní pro

- čtyřpólové uzemněné nabíjení reverzním pantografem průmyslového standardu panto-down (známý též pod průmyslovým označením **OppCharge**);
- čtyřpólové střešní konzole **bus-up**;
- **spodní kontaktní nabíjecí systém**;
- **boční střešní nabíjecí systém**.

Norma k nim upravuje základní elektrické, mechanické, bezpečnostní a ekologické požadavky.

Ještě předtím, od počátku roku 2020, upravila nabíjecí konzole pro rychlé čtyřpólové nabíjení elektrobusesů norma **SAE J3105**, s bližší specifikací SAE J3105/1 pro průmyslový standard OppCharge a SAE J3105/2 pro střešní konzoli bus-up.

Indukční dobíjení elektrických vozidel je od roku 2020 standardizováno normou **SAE J2954**.

Bliže k těmto technologiím viz v kapitole 2.

Komunikaci vozidla s energetickou sítí během nabíjecího procesu upravuje

- **ČSN EN ISO 15118** „Silniční vozidla - Komunikační rozhraní vozidla s rozvodnou sítí“ a její dílčí části;
- **standard IEEE 802.11a** pro Wi-Fi s dalšími doplňky pro lokální bezdrátové sítě.

Dalšími relevantními technickými normami jsou zejména

- **ČSN EN 62262** „Stupně ochrany poskytované kryty elektrických zařízení proti vnějším mechanickým nárazům“;
- **ČSN EN 50122-1** „Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Elektrická bezpečnost, uzemňování a zpětný obvod - Část 1: Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem“;
- **ČSN EN IEC 61439-7** „Rozváděče nízkého napětí - Část 7: Rozváděče pro použití ve zvláštních podmínkách jako jsou mariny, kempy, tržiště, nabíjecí stanice pro elektrická vozidla“.

1.4.6 Palivočlánkové elektrické autobusy a vodíkové hospodářství

Standardizace **vodíkových palivočlánkových modulů** mj. pro elektrobusy je v době vzniku tohoto dokumentu v procesu. Jeho nositelem je průmyslové a výzkumně-vývojové **Konsorcium StashH**¹², jehož cílem je standardizace fyzických rozměrů, tokových a digitálních rozhraní, zkušebních protokolů a bezpečnostních požadavků pro palivočlánkové moduly. Ty pak bude možné spojovat do sestav a integrovat v těžkých palivočlánkových vozidlech, např. právě v autobusech. V době redakční uzávěrky tohoto Průvodce jsou k dispozici **návrhy standardů upravujících rozměry, technické rozhraní a rozhraní pro programování aplikací (API)**¹³.

Pro vodíkovou plnicí infrastrukturu palivočlánkových autobusů je základní nor-

mu **ČSN ISO 19880-1 (656525) Plynný vodík - Čerpací stanice - Část 1: Obecné požadavky**. Tento dokument stanovuje minimální požadavky na návrh, instalaci, uvedení do provozu, provoz, kontrolu a údržbu pro zajištění bezpečnosti a tam, kde je to vhodné, pro zajištění provozu veřejných i neveřejných čerpacích stanic, které vydávají plyný vodík do lehkých silničních vozidel (např. elektrických vozidel s palivovými články).

Další mezinárodní normy jsou v přípravě¹⁴.

Na vodík a nakládání s ním obecně se dále vztahují zejména následující české právní předpisy (nejde o vyčerpávající výčet):

V prvé řadě jsou to následující **právní předpisy EU**: Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1272/2008/ ES v platném znění o klasifikaci a označování látek a směsí a Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1907/2006/ ES v platném znění o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek.

Této problematice se dále týká následující česká legislativa:

- **zákon č. 350/2011 Sb. o chemických látkách a chemických směsích** v platném znění včetně platných vyhlášek a nařízení, zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v platném znění včetně platných vyhlášek a nařízení;
- **zákon č. 111/1994 Sb. o silniční dopravě** v platném znění, včetně platných vyhlášek a nařízení;
- **zákon č. 185/2001** o odpadech v platném znění včetně platných vyhlášek a nařízení.

Po stránce **technických norem** pokrývají oblast vodíkového hospodářství zejména **ČSN 66 4435** Vodík plyný stlačený, **ČSN EN 1089-1** Lahve na přepravu plynů – Označování lahví a **ČSN 07 8304** Tlakové nádoby na plyny.

¹² Bliže viz <https://www.stashh.eu/>

¹³ Ke stažení zde <https://www.stashh.eu/stashh-standard>

¹⁴ Viz např. <https://www.fuelcellbuses.eu/wiki/codesstandardsregulations-framework/codesstandardsregulations>

Nakládání s vodíkem se týká rovněž **mezinárodní dohody, vztahující se k přepravě zboží**, tedy Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí (ADR) a Jednotné právní předpisy pro smlouvu o mezinárodní železniční přepravě zboží (CIM) k Úmluvě o mezinárodní železniční přepravě (COTIF).

1.5 Základní rozhodovací kritéria při první volbě vhodné koncepce elektrických autobusů

1.5.1 Tabulka první volby

Tabulka č. 2 na konci této kapitoly uvádí jednoduché vodítko pro první volbu základní koncepce elektrického autobusu. Jejím cílem je usnadnit čtenáři orientaci v mnoha koncepcích elektrických autobusů, tedy **odpovědět na otázku, kde začít**.

První volbou se zde rozumí koncept, který je užitečné sledovat v prvé řadě. Podrobnější analýza potřeb provozovatele a vhodných řešení pak může vést i k jiné vhodné volbě – viz postup v kapitole 4.

Tabulka postupuje systémem kritérií v postupných krocích podle vzoru:

- splněno – jsme u první volby;
- nesplněno – postupujeme k dalšímu rozhodovacímu kroku.

1.5.2 Podíl nezávislé trakce

Jak patrně ze základních charakteristik elektrických autobusů, vzniká při elektrifikaci autobusového parku vedle klasické závislé trakce (drážní doprava) a nezávislé trakce (autobusy) také **polozávislá trakce** v podobě parciálních trolejbusů a průběžně dobíjených elektrobusů. Tato polozá-

vislá trakce je charakteristická omezenou autonomií v dosahu nabíjecích míst pro statické nabíjení nebo části vodící dráhy s trakčním vedením pro dynamické nabíjení.

Z povahy dopravní obsluhy území a dopravní technologie je zřejmé, že nezle nezávislou trakci plně nahradit trakcí závislou a polozávislou. Vždy je třeba zachovat určitý podíl plně nezávislé trakce, který pokryje mimořádnosti v nabíjecí infrastruktuře a příjezdových trasách k ní a rovněž zajistí přiměřeně efektivní rozvoj území, které se teprve rozvíjí a jeho osídlení není stabilizované.

V případě elektrických autobusů představují plně nezávislou trakci **palivočláňkové autobusy, diesel-hybridní autobusy** a případně též „noční“ **elektrobusy** tam, kde místní podmínky nevyklučují jejich nasazení pro omezený dojezd na jedno nabití.

Při stanovení potřebného podílu nezávislé trakce je třeba

- odhadnout změny linkového vedení z důvodu pravidelných i nahodilých výluk, v ročním průměru a v dlouhodobém vývoji, v přepočtu na dopravní výkony vozidel;
- analyzovat vývoj osídlení v rozvojových částech území obsluhovaných dopravcem a odhadnout dopravní výkony autobusů, které bude třeba zajistit do doby stabilizace osídlení.

Počet autobusů pro zajištění takto stanovených výkonů představuje minimální podíl nezávislé trakce, pro nějž by měl dopravce držet potřebný autobusový park.

Na co nezapomenout

Je-li elektrický autobus alespoň část trasy vedený za jízdy trolejemi, jde o drážní vozidlo.

Neexistuje „jedině správná“ koncepce elektrických autobusů.

Rozhodování mezi přídatným topením a plně elektrickým vytápěním elektrobuse může ve výsledku znamenat rozhodování mezi dopady provozu na místní emise a jeho klimatickými dopady.

Elektrifikace autobusů není náhrada „kus za kus“, ale nový dopravní systém s vlastními provozními podmínkami, ekonomikou a socioekonomickými přínosy. I zde je třeba počítat s minimálně nutným podílem plně nezávislé trakce.

Elektrifikace autobusového parku znamená také změny v kvalifikační struktuře personálu, s nimiž je třeba předem počítat.

Elektrický bateriový a palivočlánkový pohon mají specifické požadavky na bezpečnost.

Při zadávání projektů elektrických autobusů je vhodné co nejvíce odkazovat na obecně platné normy.

Tabulka č. 2 Rozhodování první volby pro základní koncepci elektrifikace autobusů

Rozhodovací krok	Podmínka (jedno nebo více kritérií splněných současně)	Podmínka splněna	Podmínka nesplněna	Dopravní systém první volby
		První volba koncepce elektrického autobusu	Výběr zúžen, postup k dalšímu rozhodovacímu kroku nebo konečná volba	
1. Nová dráha nebo el.autobus	Přepavní proud ve špičce > 1000 os./hod./směr a poptávka po přepravě v docházkové vzdálenosti	Nová dráha (tramvaj, trolejbus)	Parciální trolejbus	Drážní doprava – vozidla a drážní infrastruktura
	Prostupnost územím pro novou dráhu		El. autobus s nezávislým zdrojem energie	
2. Elektrický autobus s dynamickým nebo statickým dobíjením	Existuje trolejová síť, případné dobudování má prostupnost územím pro dráhu	Parciální trolejbus s dynamickým dobíjením; podle potřeby dobudování trolejové sítě	Parciální trolejbus s dynamickým a statickým dobíjením	
	Úsek bez troleje ≤ 30 % délky jízdy		Elektrický autobus s nezávislým zdrojem energie	
	Dopravní režim linky (čas strávený na lince vč. obratiště) podporuje provozování trolejbusů			
3. Parciální trolejbus nebo nezávislý elektrický autobus	Existuje trolejová síť, případné dobudování má prostupnost územím pro dráhu	Parciální trolejbus s dynamickým a statickým dobíjením; vybudování místa pro statické dobíjení, podle potřeby dobudování trolejové sítě	Elektrický autobus s nezávislým zdrojem energie (baterie, superkapacitor, palivový článok)	
	Úseky bez troleje delší než 30 % délky jízdy			
	Existuje místo a odpovídající dopravní režim linky pro statické dobíjení			
4. Nezávislý elektrický autobus – vodík nebo jiný zdroj energie	Požadavek na denní proběh > 250 km	Palivočlánkový (vodíkový) autobus	Bateriový nebo superkapacitorový elektrobús	Silniční doprava – vozidla a nabíjecí/plnicí infrastruktura
	Lze zajistit potřebný zdroj vodíku			
	+ alespoň jedno z následujících kritérií:			
	Nelze zaručit dostatek času na průběžné dobíjení (tj. přestávky ≥ 10 minut)			
Požadavek na univerzální nasazení kdekoli v síti MHD				
5. Noční elektrobús nebo průběžně dobíjený elektrobús klasické konstrukce	Denní proběh < cca 140-160 km	Noční elektrobús (bateriový, klasický)	Průběžně dobíjený elektrobús Noční elektrobús se solid state bateriemi	
6. Noční elektrobús se solid state bateriemi nebo průběžně dobíjený elektrobús	Denní proběh cca 200 – 250 km	Noční elektrobús se solid state bateriemi	Průběžně dobíjený bateriový nebo superkapacitorový elektrobús	
	Požadavek na univerzální nasazení kdekoli v síti MHD			
	Podmínky pro zvláštní zacházení se solid state bateriemi u dopravce a vůle k ozkoušení nezavedených řešení			
7. Bateriový nebo superkapacitorový průběžně dobíjený elektrobús	Veškerá spotřeba energie mezi průběžnými dobíjenými včetně rezervy a nájezdu ≤ 30 kWh	Průběžně dobíjený superkapacitorový elektrobús	Průběžně dobíjený bateriový elektrobús	

2. Technologie elektrických autobusů a jejich trendy

2.1 Vozidla

2.1.1 Základní kategorie elektrických autobusů na trhu

Dodavatelský trh v současné době nabízí elektrické **bateriové a superkapacitorové autobusy** v širokém rozpětí délek a kapacit.

Plně konkurenční trh existuje již v kategoriích standardních 12m elektrobusů, 8–9m midibusů a kloubových elektrobusů délky 18–19 m již fungují na plně konkurenčním trhu.

V nabídce některých dodavatelů jsou i 24m dvojitě kloubové elektrobusy nebo příměstské třínápravové 15m elektrobusy.

Palivočlánkové autobusy, donedávna nabízející pouze standardní 12m délku, mají v pokročilém stadiu vývoje také 8–9m midibusy a kloubové autobusy (zde se předpokládá premiéra již v roce 2022).

2.1.2 Základní součásti elektrického pohonu autobusu

Pohon elektrobusů, resp. jejich **elektrickou trakční výzbroj**, tvoří zdroje energie, tedy baterie či superkapacity (včetně jejich klimatizace), elektromotor či elektromotory, trakční měnič a statický měnič.

Zdroje energie elektrického autobusu jsou předmětem samostatných kapitol dále.

Nejčastěji používaným **motorem** je třífázový střídavý elektromotor (asynchronní nebo synchronní).

Trakční měnič je elektrické polovodičové zařízení, které slouží k tzv. pulsní regulaci výkonu motoru tím, že v rychlém sledu zapíná a vypíná proud do elektromotoru. Nejčastěji se používají trakční měniče typu IGBT (Insulated gate bipolar transistor, tj. bipolární tranzistor s izolovaným hradlem).

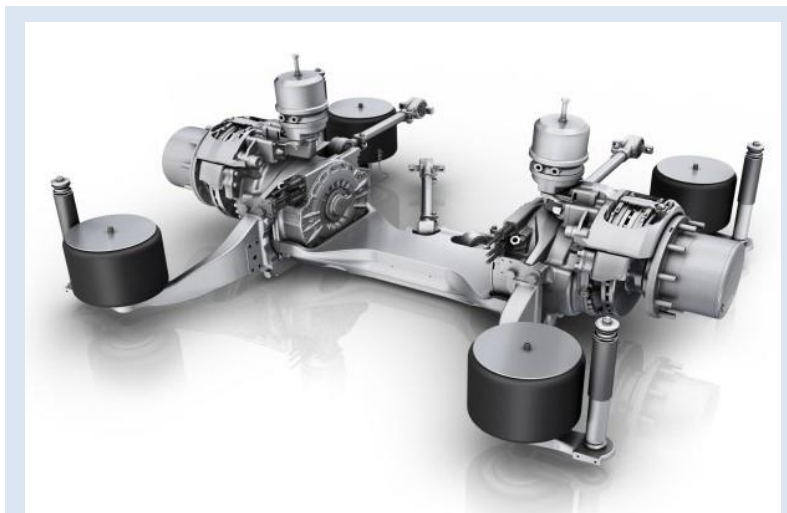
Statický měnič je elektronické zařízení měnící parametry elektrické energie (napětí, proud, kmitočet). U elektrobusu slouží ke změně nabíjecího napětí (stejnoseměrného nebo střídavého) na napětí baterie (z povahy baterie vždy stejnosměrné).

Měniče hrají důležitou roli také při rekuperaci elektrické energie při zpomalování, kdy elektromotor funguje jako generátor dobíjející baterie.

K elektrické výbavě elektrického autobusu patří také **brzdové odporňky**, kde se elektrická energie nevyužítá při brzdění k rekuperaci mění na teplo.

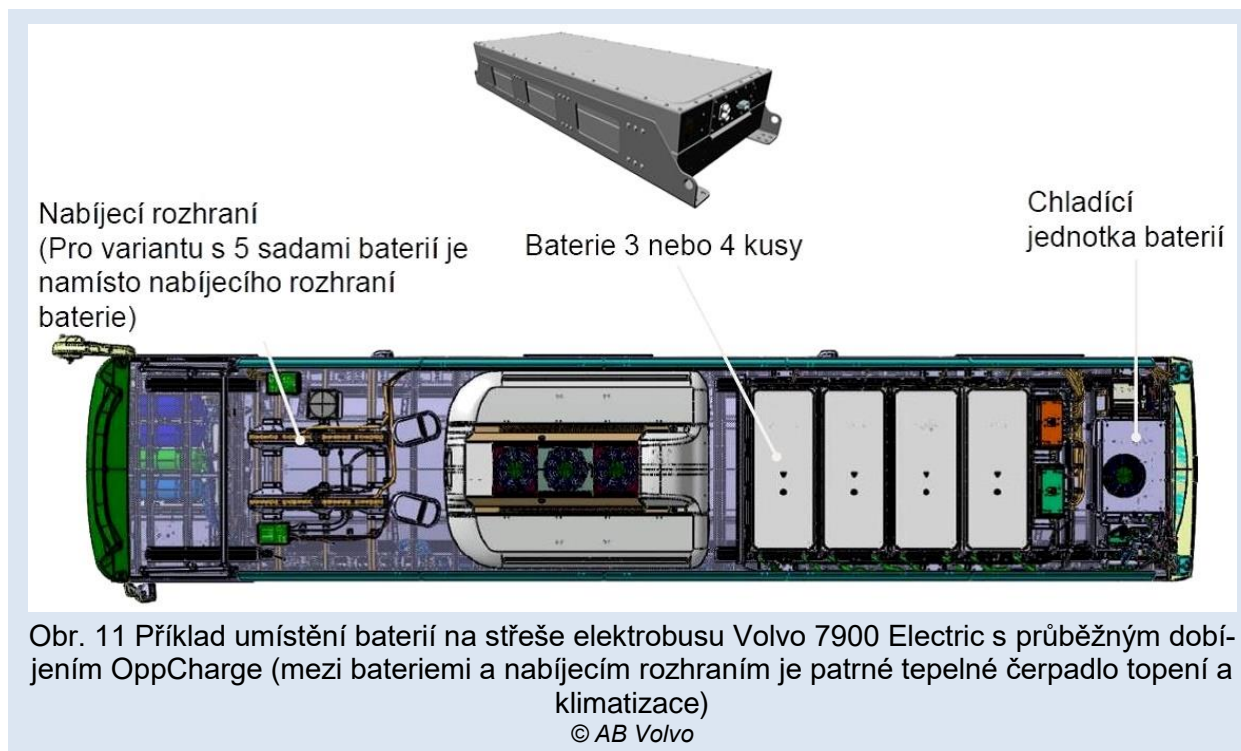
U elektrických autobusů jsou nabízeny dvě základní **koncepce elektrického pohonu**:

- klasický pohon s **centrálním elektromotorem**;
- pohon **s elektromotory umístěnými přímo na kolech**, buďto jako bezpřevodkové nebo s převodkou na každém kole (viz foto na obrázku č. 10).



Obr. 10 Příklad pohonu v nábojích kol – portálová hnací náprava ZF AVE 130
© ZF Friedrichshafen AG

Hlavní předností **pohonu s elektromotory přímo na kolech** je uvolnění prostoru ve vozové skříni pro cestující a trakční baterie. Dále je to lepší rozložení hnací síly,



keré při častých rozjezdech a zastavování v městském provozu hraje významnou roli v celkových jízdních vlastnostech.

Odvrácenou stranou tohoto řešení je větší neodpružená hmota, komplikující jízdu na nerovných silnicích, a také vyšší cena.

Ostatní prvky trakční výzbroje je snaha umístit tak, aby umožňovaly plně nízkopodlažní řešení autobusu – nejčastěji tedy na střechu (viz obrázek č. 11) nebo na zadní vozidlo, případně pod sedadla. Kromě pohodlí cestujících a celkového dojmu z jízdy (k němuž přispívá mj. zadní vozidlo s oknem) ovlivňuje rozmístění těchto zařízení také rozložení hmotnosti a těžiště vozidla, a tím i jeho jízdní vlastnosti.

U **palivočlánkových autobusů** je elektrická trakční výzbroj doplněna palivočlán-

kovou energetickou jednotkou včetně chlazení a nádržemi na vodík. Kvůli bezpečnosti (viz kapitola 1.3.2) jsou nádrže umístěny vždy na střeše a na střechu je rovněž snaha umístit také palivové články (viz schéma palivočlánkového autobusu na obrázku č. 13).

2.2 Zdroje energie

2.2.1 Trakční baterie v provozu

Základem baterie je galvanický článek, což je chemický zdroj elektrického napětí.

Tvoří jej dvě elektrody – záporná anoda a kladná katoda – obklopené elektrolytem vedoucím elektrický proud. Elektrické napětí je dáno rozdílem elektrických potenciálů na elektrodách. Elektrický potenciál na elektrodách vzniká v případě galvanických článků chemickou reakcí mezi elektrodou a elektrolytem.

U trakčních baterií se dnes téměř bez výjim-

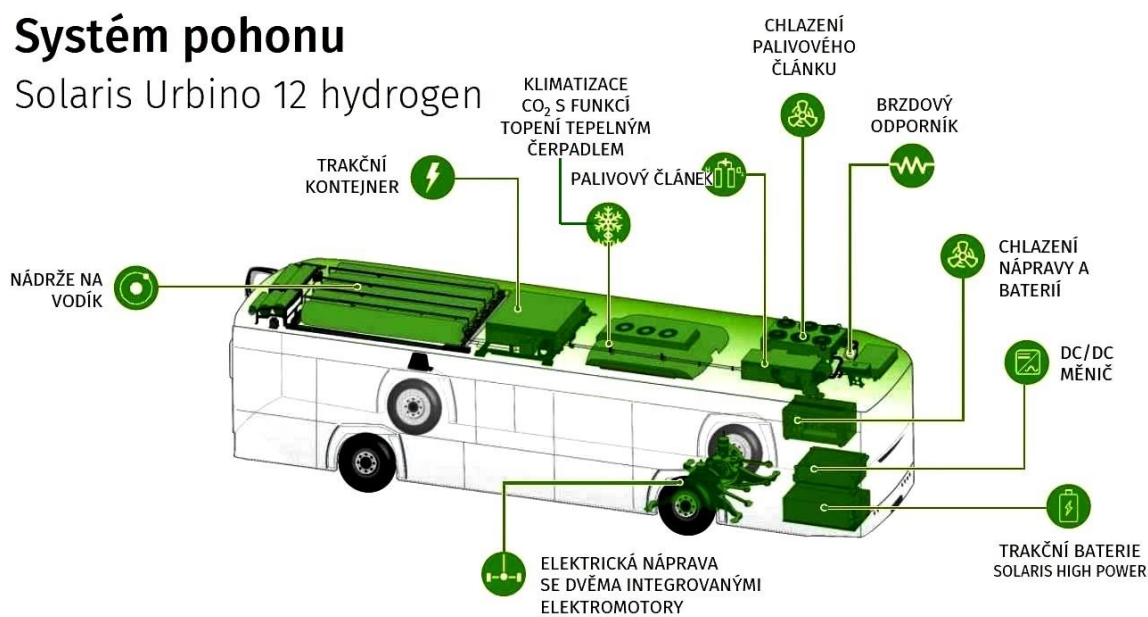


Obr. 12 Články lithium-iontových trakčních baterií o různých velikostech

© Smartcityvpraxi.cz

Systém pohonu

Solaris Urbino 12 hydrogen



Obr. 13 Schéma pohonu palivočlánekového autobusu – příklad

© Solarisbus.com

ky používají baterie lithiové (viz foto na obrázku č. 12). Jiné chemické složení (např. sodíko-niklové baterie) se v provozu neosvědčilo. Různé sloučeniny lithia v katodě těchto baterií jim dávají konkrétní provozní vlastnosti.

Z tohoto pohledu nejčastěji rozeznáváme baterie typu

- **high energy** s větší hustotou energie a menší odolností proti nabíjecím výkonům, tedy vhodnější pro noční elektrobusy;
- **high power** s menší hustotou energie a větší odolností proti nabíjecím výkonům, tedy vhodnější pro průběžně dobíjené elektrobusy.

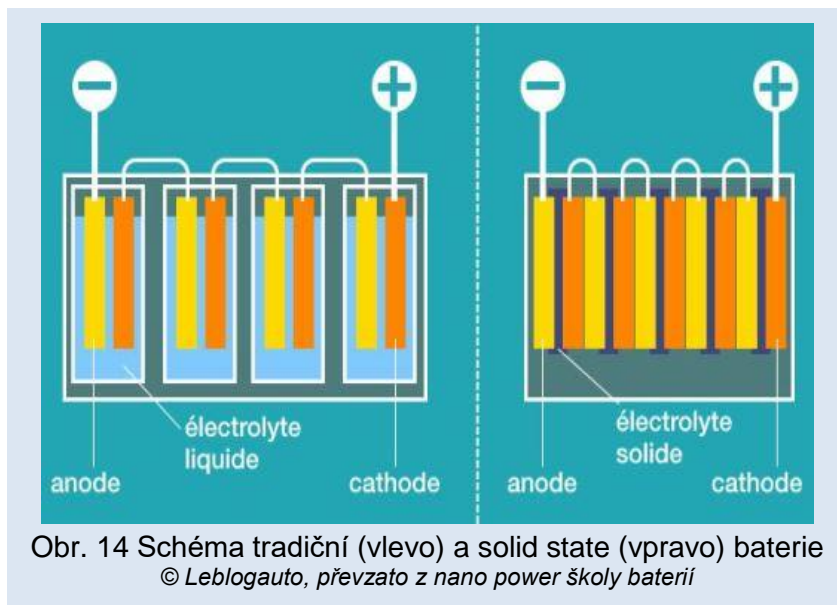
Jako high energy se nejčastěji užívají lithium-nikl-mangan-kobalt oxidové baterie (NMC). Tyto baterie se užívají i v hybridních sestavách s vodíkovými palivovými články (viz kapitola 2.2.4).

Jako high energy se nejčastěji užívají lithium-titanátové baterie (LTO).

Z hlediska charakteru použitého elektrolytu lze rozeznat

- klasické **lithium-iontové baterie**, kde elektrolytem je organický roztok lithiových solí;
- **lithium-polymerové baterie (Li-Pol)**, kde elektrolytem je polymerový gel s lithiovými solemi;
- **solid-state baterie**, kde elektrolytem je tuhý polymer s lithiovými solemi (z hlediska využití na vozidlech relativně mladá a ne zcela odzkoušená technologie).

Vzhledem k tomu, že tuhý elektrolyt u **solid-state baterie** nepotřebuje přiměřeně robustní obal pro články s kapalným nebo gelovým elektrolytem (viz obrázek č. 14), může v dané objemové jednotce obsahovat více uložené energie, a tedy má až dvojnásob větší hustotu energie. Elektrobusy vybavené těmito bateriemi tak umožňují dojezd v rozmezí 200 – 250 km bez újm na přepravní kapacitě a pohodlí cestujících.



Technickými omezeními těchto baterií jsou oproti ostatním typům lithiových baterií, alespoň prozatím, výrazně nižší počet nabíjecích cyklů (a tedy životnost baterie), vyšší vnitřní odpor (a tím i vyšší ztráty při vysokých výkonech a nemožnost rychlého nabíjení) a špatná odolnost vůči nízkým teplotám (což nese mj. příslušné nároky na garážování elektrobuseů).

2.2.2 Trakční baterie v poprovozní fázi

2.2.2.1 Druhý život baterií

S ohledem na ekologické aspekty elektromobility se rozvíjejí i **způsoby využití trakčních baterií po ukončení jejich aktivního života na vozidle** – tedy poté, co jejich kapacita poklesne na cca 80 %.

Vznikají úspěšné projekty využívání použitých baterií ve stacionárním režimu, především jako **vyrovnávací zdroje** pro fotovoltaické panely a jiné obnovitelné zdroje energie pro komerční nebo obytné budovy. Jejich nasazením lze snížit spotřebu z veřejné sítě a zároveň snížit přetoky z obnovitelných zdrojů do ní.

Prozatím jde o individuální vývojové projekty. Do budoucna bude nutno formalizovat předání opotřebovaných baterií od dopravců pro využití v rámci „druhého života“ tak, aby pro ně bylo ekonomicky efektivní a zároveň v souladu s platnou

legislativou. Právní úpravou druhého života baterií se zabývá navrhované evropské Nařízení o bateriích, které je v době uzávěrky tohoto Průvodce v projednávání

2.2.2.2 Recyklace

Kromě toho se zdokonalují **metody recyklace lithiových baterií** tak, aby se odstranila nebezpečnost tohoto procesu a bylo dosaženo maximální výtěžnosti získaných materiálů.

Například při využití plně automatizovaného šrotování použitých baterií místo jejich rozebírání a následném hydrometalurgickém zpracování elektrodové hmoty lze bezpečně a efektivně recyklovat až 95 % materiálu z baterií při velmi nízké zátěži životního prostředí.

2.2.3 Superkapacitory

Superkapacitor, známý také jako ultrakapacitor či superkondenzátor (ve všech případech jde o synonyma, v českém odborném prostředí nejvíce zdomácněl pojem „superkapacitor“), je fakticky kondenzátor, který se od běžného kondenzátoru odlišuje svou velmi vysokou elektrickou kapacitou.



Obr. 15 Superkapacitorová jednotka v ochranném kontejneru (e-bus Chariot)

© Smartcityvpraxi.cz

Superkapacitorové elektrobusy Chariot v Sofii i jinde ve světě

Od roku 2021 je v bulharském hlavním městě Sofii v provozu městského dopravce Stolichen Electrotransport celkem 45 superkapacitorových elektrobusů standardní délky 12 m. 30 bylo dodáno počátkem roku 2020, dalších 15 v roce 2021. Elektrobusy vybavené 40kWh superkapacitory od výrobce Aowei jsou v pravidelném provozu na linkách 6, 60, 11, 73, 74, 84, 123 a 184 o průměrné délce v jednom směru 11 km. Významně přispívají ke zlepšení ovzduší ve městě.



Díky nim klesly ke konci roku 2021 emise CO₂ o 870 320 kg a emise NO_x o 494,5 kg.

Superkapacitorový elektrobus Chariot se v Sofii neobjevily náhodou. V roce 2014 zde proběhl po dobu 18 měsíců, jako vůbec poprvé v zemích EU, úspěšný pilotní projekt těchto elektrobusů. Pro jeho pilotní provoz byla zvolena linka 11 dlouhá v jednom směru celkem 11,2 km. Linka je charakteristická plochým terénem, mírným silničním provozem a cca 14hodinovou denní provozní dobou.

Superkapacitorové elektrobusy Chariot však nejsou v provozu pouze v Sofii. Kupříkladu park 37 těchto elektrobusů již úspěšně slouží v izraelském Tel Avivu. Dalších 5 elektrobusů obsluhuje linky v Bělehradě a dalších 20 přibude do konce roku 2022. 3 elektrobusy jezdí v bulharském městě Gabrovo. Chariot úspěšně předvedl vlastnosti své technologie také v několika pilotních projektech zahrnujících rakouský Graz, Řím, Turín a La Spezii v Itálii, Makedonskou Skopji, dánský Aalborg a švédský projekt bezdrátového dobíjení v Gotlandu.

Superkapacitorové elektrobusy Chariot Motors

Elektrobusy Chariot Motors (viz foto) jsou dodávány ve dvou délkových a kapacitních provedeních: [12m elektrobus](#) je vybaven 40kWh superkapacitory a [kloubový 18m elektrobus](#) je vybaven 108kWh superkapacitory. V obou případech jde o nízkopodlažní, plně klimatizovaná vozidla vyhovující veškerým požadavkům na homologaci v zemích EU.



Foto © Chariot Motors

12m elektrobus se dobíjí po dobu 5 minut a na jedno nabití ujede cca 30 km. 18m elektrobus se dobíjí po dobu 10 minut a na jedno nabití ujede cca 60 km. Pro nabíjení používá čtyřpólový standard OppCharge nebo bus-up (viz kapitola 2.7.2), případně dvoupólový systém vlastní konstrukce.

Superkapacitorový elektrobus nepotřebuje noční nabíjení. Pro nutné manipulační jízdy mimo linkový provoz si vystačí s posledním nabitím na konci směny do prvního nabití na lince.

Na rozdíl od baterie, která využívá elektrochemické reakce (viz výše), kondenzátor ukládá energii pomocí statického náboje.

Elektrody superkapacitoru tvoří práškový uhlík, nanesený na hliníkové fólii. Zrna uhlíkového prášku mají plochu až 2000 m² na 1 gram prášku, což umožňuje uchovávat mnohem větší objem elektrostatického náboje, než u „klasického“ kondenzátoru.

Superkapacity u elektrobusu jsou spolu s příslušenstvím uloženy v ochranné atmosféře ze stlačeného dusíku ve speciálním kontejneru, což brání případnému vzniku požáru při nehodě – viz foto na obrázku č. 15.

Superkapacity jako zdroj trakční energie nabízejí oproti bateriím některé významné provozní přínosy:

Prvním je větší rozpětí stavu nabití (SoC tedy využitelné kapacity zásobníku energie. Zatímco u baterií je to 20 – 90 %, u superkapacitorů je to 10 – 100 %.

Superkapacitorový elektrobus se stejnou spotřebou energie na 1 km a stejnou kapacitou zásobníku energie tak může na jedno nabití ujet větší vzdálenost než srovnatelný bateriový elektrobus.

Dalším přínosem superkapacitorů je delší provozní životnost, která se udává v rozmezí 50 000 – 100 000 nabíjecích cyklů (u baterií je to v praxi nejvýše 40 000 cyklů, v závislosti na hloubce vybití a teplotě baterie).

Lze tak garantovat provozní životnost superkapacitorů plně srovnatelnou s životností vozidla – např. u elektrobusů Chariot je to záruka 10 let.

Superkapacity jsou oproti bateriím také robustnější a odolnější proti vnějším vlivům. Své výkonové parametry si ponechávají v širokém rozmezí vnějších teplot –40 až +60 °C.

Rovněž neobsahují škodlivé nebo toxické látky, tudíž nehrozí poškoze-

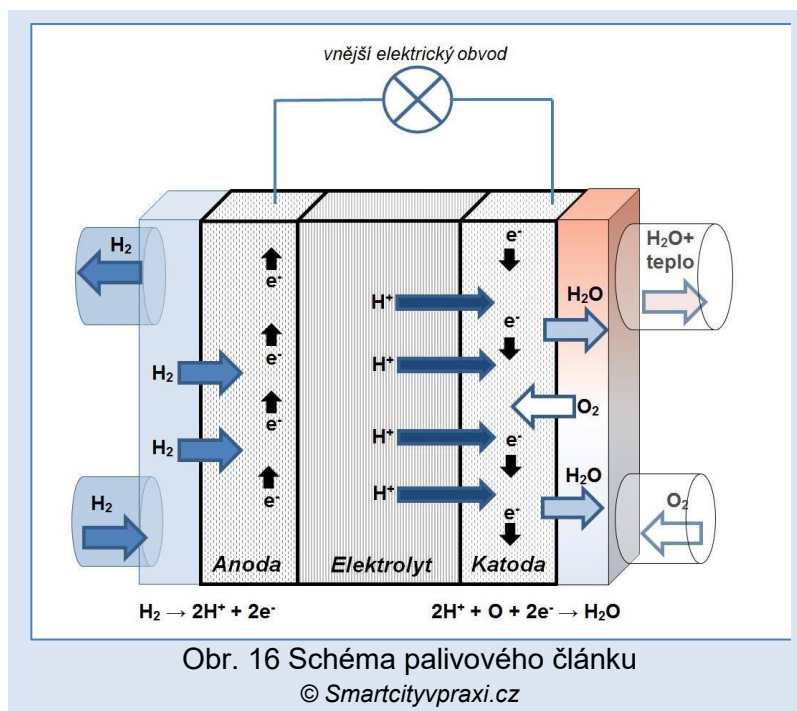
ní životního prostředí a na konci jejich fyzického života nevznikají zvýšené náklady na likvidaci.

Omezující provozní vlastností superkapacitorů je jejich **hustota energie**, která je oproti bateriím nižší. Měrná energie superkapacitorů pro trakční účely se pohybuje v rozmezí cca 25 – 55 Wh/kg¹⁵, zatímco u baterií používaných pro elektrobusy se pohybuje v rozmezí 80 – 200 Wh/kg.

Tato vlastnost limituje praktický dojezd superkapacitorových elektrobusů na jedno nabití. U standardních elektrobusů je to cca 30 km a u kloubových e-busů cca 60 km. Je zřejmé, že své výhody tak mohou superkapacity uplatnit zejména u konceptu průběžně dobíjených elektrobusů.

2.2.4 Palivové články

Vodík má oproti ropným palivům i oproti bateriím významně vyšší hustotu energie, a to v průměru 39,3 kWh/kg oproti cca 12,5 kWh/kg u ropných paliv nebo 0,08 – 0,2 kWh/kg u baterií (viz výše). Tato teoretická hustota energie je ovšem snižována účinností přeměny energie v palivovém článku. Například u palivových článků typu PEM používaných pro elektrická vozidla



¹⁵ Parametry trakčních superkapacitorů od Aowei, zjednodušeno



Obr. 17 Příklad palivočlánkové jednotky pro těžká elektrická vozidla

© Ballard Power Systems

(viz dále) se pohybuje v rozmezí cca 50 až 60 %.

V palivovém článku (viz schéma na obrázku č. 16) se při chemické reakci vstupních látek – paliva a okysličovadla – na elektrodách umístěných v elektrolytu přeměňuje chemická energie na elektrickou energii.

Nejčastějším typem palivových článků jako zdroje pohonu vozidel jsou palivové články s protonvýměnnou membránou (PEM). Palivem je vodík o velmi vysoké čistotě (>99,99 %). Okysličovadlem je vzdušný kyslík, ovšem ve velmi čisté podobě. Elektrody jsou uhlíkové s nanočásticemi platiny fungujícími jako katalyzátor.

Na anodě se z vodíku při katalytické reakci s platinou odštěpují volné elektrony, které při průchodu vnějším obvodem vytvářejí elektrický proud. Kationty vodíku procházejí elektrolytem, zde polymerovou membránou propouštějící pouze protony, tedy kationty vodíku, a na katodě se slučují se vzdušným kyslíkem a s elektrony z vnějšího obvodu za vzniku vodní páry.

Palivočlánkové jednotky jako zdroj energie pro pohon vozidel zaznamenávají prudký vývoj směrem ke kompaktní konstrukci, dlouhé životnosti a odolnosti vůči vnějšímu prostředí. Nejmodernější produkty (viz pro ilustraci např. 100kW palivočlánková jednotka Ballard při instalaci do nákladního

automobilu na obrázku č. 17) fungují při vnějších provozních teplotách -30 °C až +50 °C a jejich životnost do nutné repase se počítá v desítkách tisíc provozních hodin.

Palivočlánkové jednotky jsou také zpravidla tou nejspolehlivější částí celého autobusu – v současných projektech je jejich dostupnost v průměru 99 %.

Palivový článek je v pohonu kombinován s bateriemi (nejčastěji NMC bateriemi „high energy“, viz kapitola 2.2.1), hovoří se tak o **palivočlánkových hybridních vozidlech**.

Z hlediska koncepce pohonu jsou palivočlánkové autobusy pro městský provoz konstruovány jako **sériové hybridy** (viz kapitola 1.1.4), kde vlastní elektrický pohon je napájen z baterie dobíjené z palivového článku nebo rekuperací. U tohoto pohonu může palivový článek běžet po celou dobu provozu na konstantní výkon a pokrývat základní spotřebu energie pro pohon nebo dobíjet baterii, která vykrývá výkyvy v okamžité spotřebě energie.

Oproti palivočlánkovému pohonu bez baterií se touto kombinací ušetří více než polovina spotřebované energie¹⁶.

Spotřeba moderního palivočlánkového hybridního autobusu se, podle výkonu palivového článku a provozních podmínek, pohybuje v rozmezí 8 – 9 kg/km u 12m autobusů, u 18m autobusů až 12 kg/km.

2.3 Infrastruktura

2.3.1 Noční dobíjení elektrobusů

Noční nabíjení probíhá v garážích elektrobusů výkonem 3× 400 V AC. Toto nabíjení je zpravidla napájeno z rozvodny vlastní spotřeby areálu 22 kV/400 V.

Nabíjení větších vozidlových parků je řízeno a dohlíženo energetickým managementem, který zajistí spolehlivé nabití všech vozidel při dodržení omezujících podmínek, zejména nepřekročení čtvrt hodinového maxima.

¹⁶ Výsledky evropského projektu CHIC

Dalšími funkcemi, které jsou od energetického managementu vyžadovány, bývá možnost preference nabíjení vozidel a omezení maximálního celkového odběru parku elektrobusů.

Pro noční dobíjení se nejčastěji užívá standardizovaná zásuvka typu CCS/Combo 2 (viz foto na obrázku č. 18) pro zajištění interoperability různých typů vozidel od různých výrobců.

2.3.2 Průběžné dobíjení elektrobusů

2.3.2.1 Čtyřpólové dobíjení

Pro průběžné dobíjení na lince, probíhající vždy stejnosměrným napětím, se ve světě standardně užívá tzv. **čtyřpólové nabíjení konzolí „shora dolů“ nebo „zdola nahoru“**. Označení čtyřpólové je dáno čtyřmi kontaktními póly vozidlové a infrastrukturní části, které jsou během nabíjení propojeny:

- (+) napájecí pól DC kladný
- (-) napájecí pól DC záporný
- PE (protective earth) zemnicí pól
- CP (control pilot) kontrolní pól během nabíjení

Komunikace mezi vozidlem a nabíjecí stanicí před zahájením nabíjecího procesu probíhá po síti Wi-Fi.

Charakteristickým rysem této technologie je její uzemnění, které umožňuje využívat vysoké nabíjecí výkony (zpravidla 300 až 450 kW, technicky lze i více). Pro nabíjecí rozhraní se ustálily dva typy nabíjecích konzolí:

- Invertovaný pantograf (viz obrázek č. 19), jehož napájecí ližiny se kolmo dotýkají ližinových kontaktů na střeše autobusu;
- vozidlová konzole „zdola nahoru“ (viz obr. č. 20), je-



Obr. 18 Standardizovaná zásuvka CCS/Combo 2
© Smartcityvpraxi.cz

žij kontakty zapadají do kontaktních míst v napájecím žlábkku.

Invertovaný pantograf má standardní neutrální označení **panto-down**, nebo též průmyslové označení **OppCharge**. Obrobně pro nabíjecí konzoli „zdola nahoru“ se v profesní komunitě vžil název **„systém Schunk“** podle původního dodavatele, její neutrální standardizované označení je **„bus-up“**. Zde jsou kvůli srozumitelnosti používána obě označení.

Proces plné standardizace obou rozhraní zastřešené technickými normami EU a USA proběhl v letech 2016 – 2021, přičemž systém bus-up je historicky starší. Od roku 2021 jsou tyto systémy standardizovány evropskou normou EN 50696 (viz kapitola 1.4.4).

K historii těchto systémů a jejich označení viz blíže v případové studii na konci této kapitoly.



Obr. 19 Invertovaný pantograf panto-down (OppCharge)

© Smartcityvpraxi.cz

Volba mezi těmito systémy je ve světě dána spíše historicky, než že by klady některého z nich významně převažovaly.

Obecně lze konstatovat:

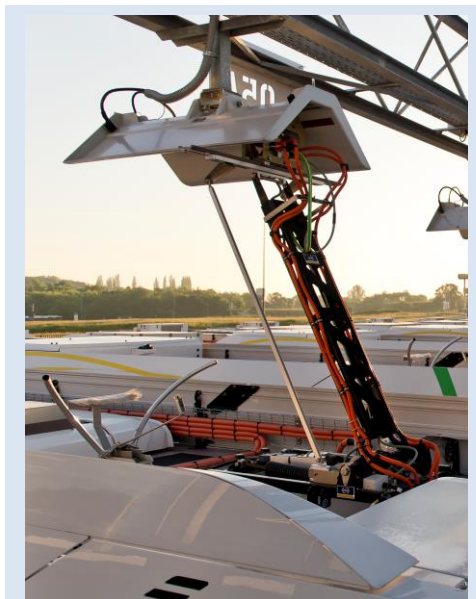
- Panto-down (Opp-Charge) díky tomu, že vozidlo nese menší hmotnost, je vhodnější tam, kde se počítá s rozšiřováním vozového parku dobíjeného u omezeného počtu nabíjecích stanic.
- Bus-up (systém Schunk) je vhodnější u rozvíjejících se parků elektrobuses, kde se buduje nabíjecí infrastruktura, případně se zvažují změny tras.

Technologie panto-down/OppCharge má nicméně výraznější marketing. Uplatňuje se proto častěji u nově budovaných systémů průběžně dobíjených elektrobuses v Evropě. V současné době významně expanduje také v USA.

V obou případech vyžaduje rychlodobíjecí stanice na vstupu stabilní střídavé napětí.

Jako zdroj lze využít také stejnosměrnou trakční síť městských dopravců všude tam, kde je to v místních podmínkách efektivní, a to:

- připojením nabíjecí stanice na střídavou část měřicí sítě (příklad: Ostrava);
- napájením ze stejnosměrné části trakční sítě přes **galvanické oddělení**, tzn.



Obr. 20 Vozidlová konzole bus-up („systém Schunk“)
© Schunk Carbon Technology

přerušení vodivého propojení zdroje a vozidla vložím elektromagnetické indukce střídavého napětí kvůli bezpečnosti:

DC → DC/AC → AC/AC → AC/DC (příklad: Krakov, Drážďany, Hannover).

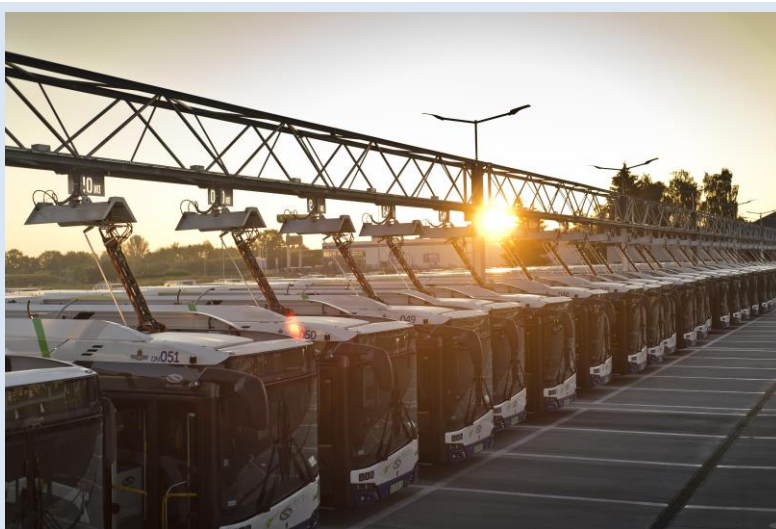
Systém čtyřpólového dobíjení může sloužit také k pomalému nočnímu nabíjení velkých vozových parků, viz příklad z Krakova na obrázku č. 21.

2.3.2.2 Dvoupólové dobíjení

Někteří dopravci disponující trolejovou infrastrukturou preferují dobíjení elektrobuses pomocí **dvoupólového pantografu přímo z troleje trolejbusového typu** (viz

obrázek č. 22). Jedná se vždy o individuální řešení podle charakteru trolejové infrastruktury v daném městě. Také zde je kromě jiného nutno kvůli bezpečnosti vložit galvanické oddělení (viz výše). Tato technologie může být využita pro průběžné dobíjení během dne i pro noční nabíjení tam, kde jsou k tomu vhodné podmínky.

Toto řešení má oproti čtyřpólovému dobíjení jednodušší, a tedy i levnější infrastrukturu.



Obr. 21 Čtyřpólové noční dobíjení 50 elektrobuses systémem bus-up (systém Schunk) v garážích v Krakově
© Schunk Carbon Technology



Obr. 22 Dvoupólové dobíjení elektrických midibusů v Č. Budějovicích

© Smartcityvpraxi.cz

туру. Je však méně obvyklé, což se zpravidla promítne do vyšší pořizovací ceny vozidla.

Jeho dalším úskalím je nižší přípustný nabíjecí výkon, zpravidla do 150 kW, což se promítá do delší doby pobytu při nabíjení oproti možnostem, které nabízí čtyřpólové řešení. Tohoto nabíjecího výkonu lze kromě toho dosáhnout i pomocí zásuvkového dobíjení (viz případová studie z Trutnova v kapitole 3).

Obecně lze shrnout, že zatímco čtyřpólové dobíjení trvá řádově v minutách, pak dvoupólové dobíjení pantografem trvá řádově v desítkách minut. Tím je časově srovnatelné s dobíjením ze zásuvky, které ovšem nabízí jednodušší a standardizované (a tedy levnější) vybavení vozidla.

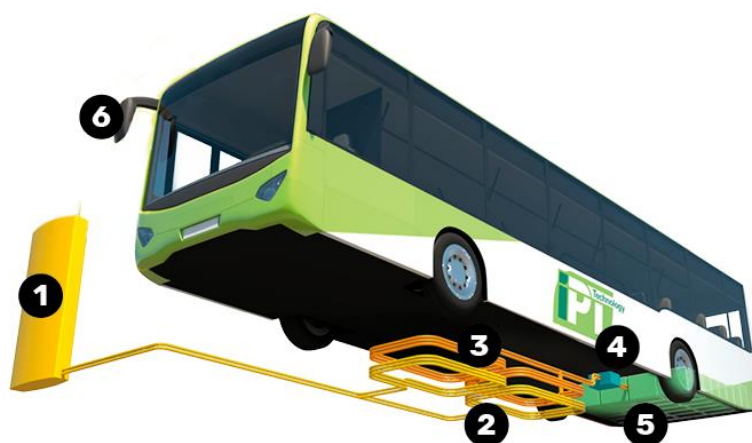
Jak patrně, efektivní uplatnění tohoto

systému musí mít **jiný přesvědčivý důvod, než je minimalizace pobytu při průběžném dobíjení.** Takovým důvodem může být např. využití naddimenzované trolejové infrastruktury dopravce a/nebo lepší organizace práce při dobíjení více vozidel současně.

2.3.2.3 Indukční dobíjení elektrobusesů

Indukční dobíjení (viz schéma na obrázku č. 23) elektrobusesů funguje na bázi elektromagnetické indukce mezi pevnou částí, zcela ukrytou pod povrchem vozovky ve stanici, a vozidlovou částí – deskou s indukční cívkou, která se při nabíjení vysune z podvozku a přiblíží k povrchu vozovky na vzdálenost několika centimetrů.

Indukční dobíjení těžkých elektrických vozidel výkony až 500 kW bude standardizováno normou SAE J2954/2, která je v době vydání tohoto Průvodce v přípravě.



- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| 1 Zdroj el. energie | 4 Usměrnovač |
| 2 Primární cívka | 5 Baterie |
| 3 Sekundární cívka (přijímací) | 6 Komunikační systém |

Obr. 23 Schéma indukčního dobíjení elektrobuse

© IPT Technology

Tato technologie má desítky let trvající provozní historii, včetně nasazení na elektrobusích již v roce 2003 (Turín). Její hlavní doménou je však stále především průmyslová vnitrozávodová doprava s různým stupněm automatizace. Jako hlavní překážka jeho masivního rozšíření u elektrobusů se nakonec ukázala komplikovaná údržba (viz případová studie v kapitole 5).

2.3.2.4 Další standardizovaná čtyřpólová nabíjecí rozhraní

Evropská norma EN 50696 (viz kapitola 1.4) a částečně i normy SAE upravují také další nabíjecí rozhraní automatizované pro čtyřpólové dobíjení elektrických vozidel:

- a) **Spodní kontaktní dobíjení** nabíjecí konzolí, která se spouští z podvozku vozidla do automaticky odkrytých kontaktů ve vozovce. Základem je technologie společnosti Alstom s produktovým označením SRS (viz obrázek č. 24). Od roku 2018 se testuje u tramvají a elektrobusů a v době vydání tohoto Průvodce se připravuje rozsáhlý projekt jejího nasazení na elektrobusové dráze typu BRT v pařížské aglomeraci.
- b) **Boční dobíjení kuželovitou konzolí** do kuželovité zásuvky na vozidle. Základem je technologie společnosti Stäubli s produktovým označením QCC (viz obrázek č. 25). České odborné veřejnosti byla představena již v roce 2016, prozatím se uplatňuje převážně v přístavní nákladní dopravě.

Jak patrně, možnosti širšího využití těchto systémů v provozní praxi autobusových dopravců ukáží teprve výsledky testovacích provozů, případně se tyto technologie mohou orientovat na vnitrozávodovou elektrickou dopravu



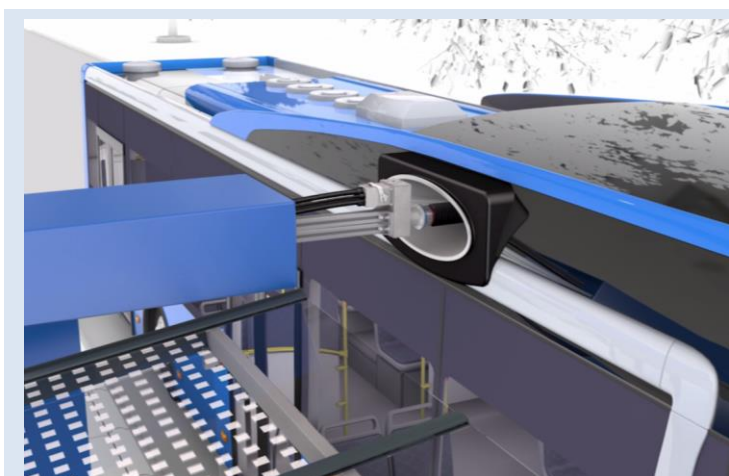
Obr. 24 Standardizované spodní čtyřpólové kontaktní dobíjení
© Alstom

nebo na jiné tržní segmenty mimo elektrobusy. Kromě jejich provozně technických a provozně ekonomických vlastností přitom může sehrát roli i aktuální situace na příslušných trzích.

2.3.2.5 Jiná nabíjecí rozhraní

Lze se setkat i s jinými, nestandardními a celoevropsky nerozšířenými systémy nabíjení. Jako příklady lze uvést nestandardní zásuvky, uzemněné nabíjení automatickou pětipólovou střešní konzolí nebo dvoupólové nabíjení automatickou střešní konzolí do kolejnicových ližin na pylonu.

Takovéto nabíjecí systémy se vyskytují zpravidla v zakázkách zahrnujících vozidlo a infrastrukturu jako jeden celek a explicitně nepožadujících budoucí interoperabilitu, případně u některých testovacích pro-



Obr. 25 Standardizované boční čtyřpólové nabíjecí rozhraní
© Stäubli

jektů. Pro jejich nasazení, zejména ve velkém měřítku, nicméně platí všechna rizika spojená s nestandardními nebo obecně nezavedenými technologiemi, popsána dále v kapitole 2.6.

2.3.3 Vodíková plnicí infrastruktura

Vodíkovou plnicí infrastrukturu (viz příklad na obrázku č. 26) zpravidla tvoří

- zásobník vodíku;
- kompresory;
- vysokotlaká vodíková nádrž čerpací stanice;
- výdejní stojan.



Obr. 26 Vodíková plnicí stanice projektu TriHyBus v Neratovicích
© Smartcityvpraxi.cz

Vodík je v zásobníku skladován při tlaku cca 200 – 250 bar.

Existují dva způsoby jeho následného výdeje do vozidlových nádrží:

Obvyklejší systém spočívá v tom, že vodík je kompresory stlačen do vysokotlaké nádrže čerpací stanice při tlaku zhruba 480 bar (48 MPa). Tento vodík pod vysokým tlakem je následně dodáván do nádrží autobusu s tlakem 350 bar (35 MPa), s nímž pracuje většina těžkých palivočlánkových vozidel.

Kompresor u tohoto systému tedy pouze doplňuje vodík do vysokotlaké nádrže čerpací stanice a samotného plnění vozidla se neúčastní.

Plnění nádrže autobusu vodíkem následně probíhá, stejně jako u jakéhokoli plynového pohonu, na principu postupného vyrovnávání tlaku mezi prázdnou nádrží vozidla a nádrží čerpací stanice.

Při druhém způsobu je vodík v nádrži čerpací stanice uchováván při nízkém tlaku a do nádrže vozidla je pak přímo vháněn pomocí kompresoru.

Plnění nádrží standardního palivočlánkového autobusu trvá zpravidla 5 – 10 minut, ovšem při správně dimenzované plnicí infrastruktuře.

Pro naplnění nádrží palivočlánkového autobusu je totiž vždy nutno **průběžně zajistit potřebný tlak v plnicích stanicích, aby byl do autobusů načerpán vodík v potřebném množství.**

Tento požadavek může být náročné splnit při větším parku palivočlánkových vozidel a je potřeba s ním počítat při projektování technické základny palivočlánkových autobusů.

2.3.4 Výroba a doprava vodíku

Vodík je do zásobníku přepravován ve formě plynu nebo jako zkapalněný, případně je vyráběn na místě.

Celosvětově se dnes většina vodíku vyrábí z fosilních paliv, například **parním reformingem zemního plynu**, kdy metan obsažený v zemním plynu reaguje s vodní párou na oxid uhelnatý a vodík. Tento způsob výroby je ve světě nejzavedenější, hromadný a nejméně nákladný. Vzniká však při něm značné množství uhlíkových emisí.

Současným trendem jsou ekologicky méně náročné postupy, zvláště **elektrolýza vody** za využití „zelené“ elektřiny z obnovitelných zdrojů energie.

Elektrolýzér (viz obrázek č. 27) funguje jako „obrácený palivový článek“: Průchodem elektrického proudu na elektrodách umístěných v elektrolytu se voda rozkládá na kyslík a vodík. Nejčastěji se používají **alkalické elektrolýzéry**, kde elektrolytem je hydroxid sodný nebo draselný, nebo **polymerové elektrolýzéry**, kde elektrolytem je protonvýměnná membrána (viz kapitola 2.2.4).

Účinnost elektrolýzy vody se v průměru pohybuje mezi 70 a 80 %.

Elektrolýzér musí být dále doplněn zařízeními na úpravu (čištění) vody, čištění a sušení vodíku.

Ať už je vodík vyráběn elektrolýzou v místě nebo je do místa spotřeby dopravován, musí být elektrolýzér zpravidla doplněn také kompresorem, protože vodík z elek-

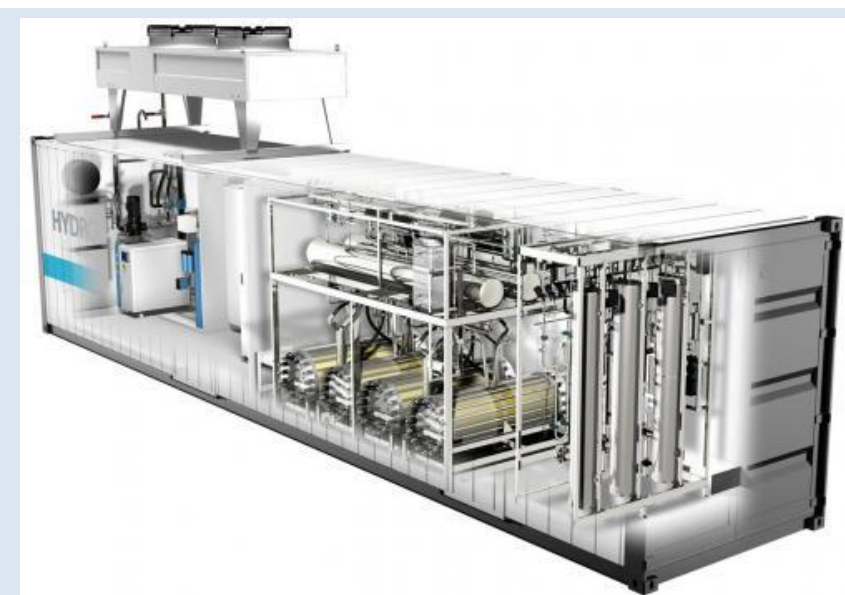


Obr. 28 Doprava stlačeného vodíku v trubkových nádržích na návěsu

© Fuelcellbuses.eu

trolyzéro má většinou tlak 10 – 25 bar. To je mnohem méně než tlak v zásobníku čerpací stanice nebo při přepravě v plynné formě (200 – 250 bar). Stlačení vodíku spotřebuje řádově malé jednotky procent v něm obsažené energie.

Vodík je také **vedlejším produktem v některé chemické výrobě**, například při výrobě chlóru. Jde tedy vlastně o využití odpadu či druhotných surovin pro energetické účely.



Obr. 27 Průřez elektrolýzérem zabudovaným v standardizovaném přepravním kontejneru

© Fuelcellbuses.eu

Vodík lze **přepřavovat buď ve stlačené plynné formě**, nebo v kapalně formě.

V plynné formě je vodík typicky přepravován v nádržích o tlaku 200 – 250 bar a do zásobníku vodíku u čerpací stanice je přečerpáván pomocí kompresoru (viz příklad na obrázku č. 28).

Kapalný vodík nabízí oproti plynné formě výhodu v podobě mnohem větší hustoty.

Zatímco plynný vodík stlačený na zmíněných 350 bar má hustotu 23,351 kg/m³ (při teplotě

25 °C), pak kapalný vodík má hustotu 70,85 kg/m³, tedy více než trojnásobnou. To může hrát významnou roli při jeho přepravě na dlouhé vzdálenosti.

Kapalný vodík má však také některá závažná úskalí:

- Samo zkapalňování je poměrně složitý proces, který spotřebuje více než třetinu energie obsažené ve vodíku.
- Dalším úskalím kapalného vodíku je jeho extrémně nízká teplota, a to -253 °C, která klade velké nároky na nádrže, v nichž je kapalný vodík skladován.
- Kapalný vodík je dále na místě nutno nechat řízeně odpařit ve speciálním zařízení.

Podrobnosti uvažovaných technologií pro výrobu a dopravu vodíku v českém prostředí uvádí Vodíková strategie ČR¹⁷.

2.4 Energetika nabíjení elektrobusů a její optimalizace

2.4.1 Nutnost komplexního přístupu

Očekávaný rozvoj bateriových elektrobusů s sebou přináší i nutnost řešení dodávky elektrické energie pro dobíjení. Požadavky na dobíjení je potřeba pečlivě plánovat od fáze projektové přípravy. Tyto požadavky se odvíjejí od způsobu využívání elektrobusů (nájezdy vozidel), požadovaných výkonů, typů dobíjecích stanic a možnostech připojení z hlediska distribuční soustavy.

Ve fázi přípravy projektu je zároveň užitečné zvážit možnosti energetické optimalizace a úsporných řešení spojených s dodávkou elektřiny pro dobíjení.

2.4.2 Způsoby energetické optimalizace u dobíjecí infrastruktury

Při návrhu dobíjecí infrastruktury je nutné vzít v potaz hledisko soudobosti dobíjení, tzn. **dimenzovat odběrné místo a rez-**

vovanou kapacitu v distribuční síti vzhledem k reálným potřebám dobíjecích cyklů. Klíčové je posouzení souběhu nočního dobíjení, resp. denního průběžného dobíjení případně s využitím rychlodobíjecích stanic.

Možnosti optimalizace jsou

- na straně **připojení k distribuční síti** (tzn. regulace tzv. ¼h maxima v trafostanici);
- na **straně samotných dobíjecích stanic** (regulace odběru jednotlivých dobíjecích stanic).

U většího počtu dobíjecích stanic lze nastavit i postupné spínání dobíjení

- podle předem určeného **času nabíjení** (do budoucna se může odvíjet i od okamžitých cen energie);
- podle zvolené **kapacity nabití** jednotlivých baterií u elektrobusů.

Výkonové špičky nejsou důležité pouze pro stabilitu sítě, ale jsou také klíčové pro náklady na elektrickou energii. Poplatky za používání sítě, jako součást nákladů na energii, jsou určeny nejvyšším výkonem odebraným v zúčtovacím období (cenou elektřiny). Snížením celkového potřebného výkonu pro dobíjení elektrobusů se lze vyhnout nutnosti navýšení příkonu, které je spojeno s vysokými ekonomickými náklady a technickou náročností.

Další možností optimalizace rezervované kapacity je **využití bateriového úložiště ke snížení (odstranění) nežádoucích výkonových špiček při rychlodobíjení.** V tomto případě je nutné správně dimenzovat úložiště s přihlédnutím k poměrně vysokým pořizovacím nákladům baterií.

Možnosti energetické optimalizace jsou často i ve **využití obnovitelných zdrojů energie** (například fotovoltaických) na volných plochách nebo na vhodných střechách budov dopravce. Tímto způsobem lze snížit celkový rezervovaný příkon i odebrané množství elektrické energie, a snížit tak celkové náklady v rámci uvažovaného provozu bateriových elektrobusů.

¹⁷ Ke stažení zde:

https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/strategie-projekty/2021/8/Vodikova-strategie_CZ_G_2021-26-07.pdf

Bateriové úložiště EVC Group a Siemens pro optimalizaci nabíjení v garážích s využitím druhého života baterií

Vybavení depa bateriovým úložištěm představuje výhodné řešení, které zajistí vyšší dostupnost elektrické energie pro nabíjení.

Pro bateriová úložiště je možno využít nové baterie, případně „second life baterie“, tj. například baterie z elektrobuseů, u kterých došlo ke snížení kapacity baterií pod požadovanou minimální mez (viz kapitola 2.2.2.1).

Tento přístup využívá česká společnost EVC Group, která od první dekády dvoutisících let působí na středoevropském trhu jako integrátor lithiových článků do trakčních baterií elektrobuseů a parciálních trolejbusů renomovaných výrobců.

Výjimečností bateriových řešení EVC Group na trhu je specializace firmy na lithiové články, do nichž spadá vlastní laboratorní zkušebna, stejně jako interní vývoj hardwaru pro jejich řízení (BMS). Na základě takto nabytých zkušeností EVC Group rozšiřuje v roce 2022 své výrobní portfolio také o průmyslová bateriová úložiště (bateriový systém akumulované energie „BSAE“). I v jejich případě mají zákazníci EVC možnost výroby baterie na míru: velikost, kapacita i výkon, nově pak i nasazení použitých trakčních baterií „2nd life“ aneb „druhý život“.

Neméně důležitou přidanou hodnotou je spolupráce BSAE EVC s vysokonapěťovými prvky a řízením společnosti Siemens. Výsledkem je BSAE zajišťující dlouhou životnost a současně rychlou návratnost investic.



Foto © EVC Group

Příklad konkrétních technologie pro optimalizaci energetiky nabíjení je uveden dále v kapitole č. 2.5.2.

Obdobně lze optimalizovat i energetické hospodářství dopravce bezprostředně nesusouvisející s nabíjecí infrastrukturou, (vytápění, osvětlení, apod.). Ekonomická návratnost těchto opatření je obvykle v jednotkách let.

To, co zde bylo řečeno o energii pro nabíjecí infrastrukturu bateriových či palivočlánkových autobusů, **platí obdobně i při nasazení palivočlánkových (vodíkových) autobusů.**

Jak vyplývá z kapitoly 2.3.4, ve všech případech jsou v procesu od výroby vodíku k jeho načerpání do nádrže palivočlánkového autobusu zapojena další zařízení, především kompresory, které samy elektrickou energii spotřebovávají. To se pak projeví v celkové energetické efektivnosti palivočlánkového pohonu „well-to-wheel“, tedy „od jámy po kolo“. Stejně tak jsou ovšem podobná zařízení zapojena i v procesu využívání fosilních paliv, ať už nafty nebo CNG.

I zde je proto vždy nutno dbát na **efektivnost celého řetězce od výroby vodíku k jeho využití v palivočlánkovém autobusu** a pečlivě vybírat optimální řešení pro konkrétní zamýšlený park autobusů a jejich nasazení v provozu.

2.5 Podpůrné digitální technologie

2.5.1 Základní typy podpůrných technologií

Velké parky elektrobusů vyžadují i potřebné technologie optimalizující jejich provoz, zejména pak nabíjení v garážích.

Evropský trh těchto technologií je postupně obsazován

- dodavateli elektrobusů;
- dodavateli nabíjecích stanic, kteří dodávají kompletní řešení nabíjecí infra-

struktury včetně energetického managementu a jeho software;

- specializovanými technologickými firmami.

Základním cílem v prvním případě je zpravidla optimalizovat celkovou spotřebu energie a další náklady během provozu elektrobusu. V tomto smyslu může být systém navázán na dispečerské řízení dopravce.

Ve druhém případě je základním cílem optimalizovat nabíjecí proces v garážích. Dodavatelé přitom zpravidla stavějí na svých zkušenostech z průmyslové automatizace. Takovýto vestavěný systém nabíjecích stanic se nejčastěji skládá z front-end systému, který se stará o dostatečné množství nabíjecí energie (regulátor energie) a back-end systému, který se stará o bezpečnou komunikaci s vyšší úrovní řídicích systémů u provozovatele, na něž je napojený.

Specializované technologické firmy se

Příklad podpůrné digitální technologie: systém eSConnect

Systém eSConnect od Solaris Bus & Coach je příkladem podpůrné digitální technologie od výrobce elektrobusů.

eSConnect sbírá data z provozu, jako je poloha vozidla v místě a čase, aktuální stav trakčních baterií, ujeté kilometry daným vozidlem za danou dobu, spotřeba energie i upozornění na to, že baterie jsou plně nabitý.



Na základě těchto dat pomáhá eSConnect identifikovat potenciální problémy s vozidlem, což se zobrazí na panelu u řidiče. Zároveň umožňuje dálkové sledování provozních parametrů systému elektrických vozidel a vytváření statistik, například počet nabíjecích cyklů a dobu potřebnou pro nabití baterií. Výstupy jsou ztvárněny v podobě obrázků a grafů.

Systém eSConnect umožňuje také řídit tepelné hospodářství vozidla včetně předtápění, a tím minimalizovat jeho netrakovní spotřebu.

Foto © Solarisbus.com

zaměřují na provoz vozidel i na nabíjecí proces. Obvykle přitom hledají svoji konkurenční výhodu oproti produktům od dodavatelů vozidel a infrastruktury v přidané hodnotě řídicího softwaru. Nezřídka se tyto specializované firmy časem stávají součástí velkých výrobních skupin, jimž zvyšují užitnou hodnotu jejich produktů.

Existují i jiné oblasti, kde se testuje využití zkušeností z průmyslové automatizace. Provozní rizika spojená s lidským faktorem při zásuvkovém dobíjení velkých parků elektrobusů v depech se například snaží řešit testovaná technologie tzv. kolaborativních průmyslových robotů opatřených strojovým viděním.

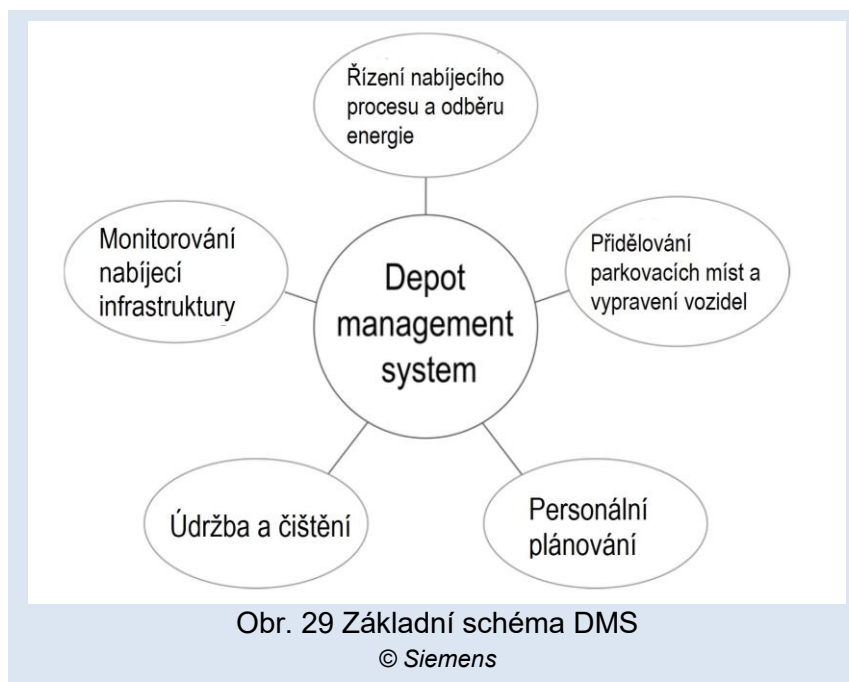
2.5.2 Systém řízení v garážích elektrobusů (DMS)

Nejčastějším příkladem využití moderních digitálních technologií v provozu elektrických autobusů je systém řízení v garážích, pro nějž se užívá anglický pojem „depot management system“ (DMS). Tento systém propojuje několik subsystémů (viz obrázek č. 29), které komunikují mezi sebou a s vozovým parkem. Výměna dat o vozidle (např. stav nabití baterie, předpokládaný dojezd, poloha, interval údržby) umožňuje nejefektivnější návrh provozních procesů.

Konkrétním příkladem takového systému je SICAM od společnosti Siemens.

DMS funguje následujícím způsobem:

Když vozidla vjedou do depa, DMS **koordinuje procesy** a podle toho **přidělí správné parkovací místo**. V závislosti na tom, zda je třeba provést další činnosti, jako je **čištění nebo údržba**, jsou směřovány na příslušné servisní stanice. Manévrování se tak udržuje na minimum. Dalším důležitým úkolem DMS pro provozovatele autobusů je **přiřazení vhodného vozidla do oběhu**.



Obr. 29 Základní schéma DMS

© Siemens

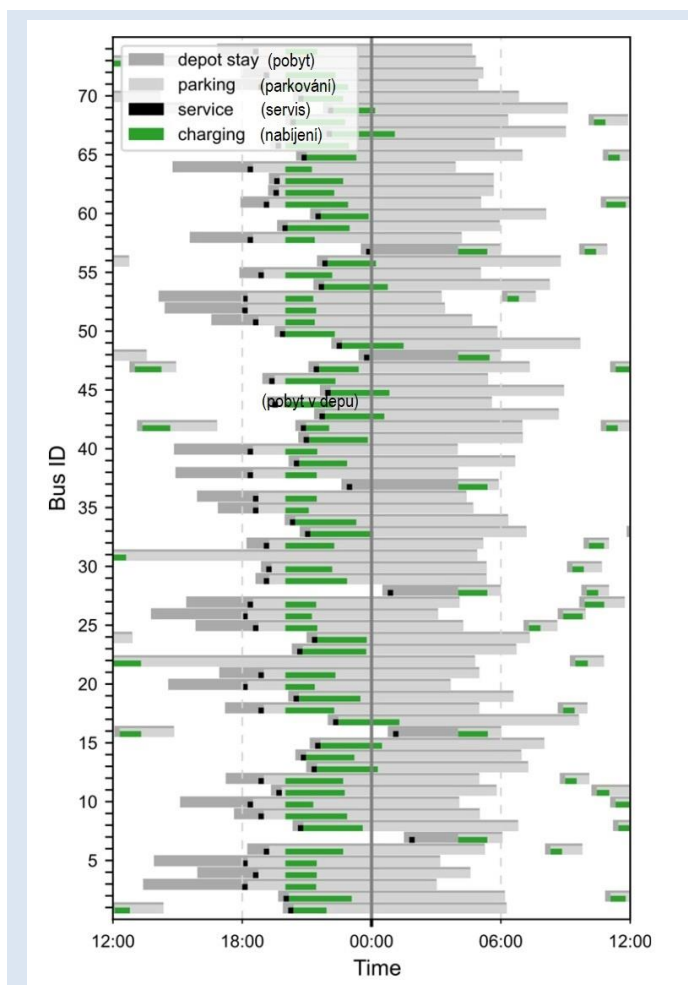
vatele autobusů je **přiřazení vhodného vozidla do oběhu**.

Vozidla se **nabíjejí** podle aktuální poptávky, stavu baterie a zároveň DMS zajišťuje, že nedochází například k překročení čtvrt-hodinových maxim, přetížení lokální elektrické soustavy.

Vypravování vozidel z garáží řízené tímto systémem probíhá tak, aby stav nabití a velikost baterie vozidla odpovídaly jízdovému řádu. Znalost času odjezdu navíc umožňuje snížit nabíjecí výkon, a tím prodloužit životnost baterie. Pokud je ke stejné nabíjecí stanici připojeno několik vozidel současně, ale mohou se nabíjet v různé době, odpadá potřeba manévrování a připojování a počet potřebných nabíjecích stanic je snížen. Tímto způsobem lze nabíjet přednostně i určitá vozidla, např. pokud mají v depu pouze krátkodobý pobyt a potřebují upřednostnit.

Management zatížení, tedy řízení odběru energie (viz výše v kapitole 2.4.2), se používá především k zamezení výkonových špiček (vyhlazení profilu zatížení depa), ke kterým může dojít při současném nabíjení několika vozidel.

Obrázek č. 30 ukazuje technologický graf pobytu elektrobusu v garážích řízený výše uvedeným systémem SICAM.



Obr. 30 Technologický graf pobytu elektrobusů v garážích řízených systémem Siemens SICAM
© Siemens

2.6 Interoperabilita elektrobusů

2.6.1 Interoperabilita a kompatibilita

Interoperabilita v obecném slova smyslu je schopnost různých systémů vzájemně spolupracovat, poskytovat si služby, dosáhnout vzájemné součinnosti.

Interoperabilita na technické úrovni je dosahována pomocí kompatibility, která je obecně definována jako slučitelnost dvou nebo více technologických zařízení. V praxi se tím rozumí například to, že spotřebič může být zapojen do elektrické zásuvky, televize zpracuje audio i video signál apod.

Interoperabilita je základním technickým předpokladem rozvoje trhu. Prosazování technických řešení nekompatibilních se

zavedenými standardy na daném trhu představuje technické překážky obchodu, která brání působení tržních mechanismů včetně volné hospodářské soutěže a fungování ekonomie z rozsahu.

Individuální, nestandardizované řešení je kromě toho vždy náchylnější k „dětským nemocem“ než zavedený standard.

2.6.2 Standardizace nabíjení elektrobusů

Problém interoperability u elektrobusů se týká zejména **nabíjecího rozhraní pro zásuvkové nabíjení a pro rychlé průběžné dobíjení vysokými výkony, viz kapitoly 2.3.1 a 2.3.2.**

Tak jako kdekoli jinde, i zde v uplynulých letech docházelo k procesu rozvoje mezi dodavatelským průmyslem a dopravci včetně vzájemných dohod s cílem stanovit některá z dodávaných řešení jako standard, od něhož se může odvíjet interoperabilita. Názorně to ukazuje případová studie o historii čtyřpólového dobíjení a jeho standardizace na konci této kapitoly.

V rámci EU je uznáván jako základ interoperability elektrických vozidel se **zásuvkovým dobíjením** vysokými výkony **nabíjecí standard Combo2/CCS**. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva uvádí: „*Vysoce výkonné dobíjecí stanice na stejnosměrný proud pro elektrická vozidla musí být pro účely interoperability vybaveny alespoň zásuvkovými přípojkami kombinovaného nabíjecího systému typu Combo 2, jak je popsáno v normě EN 62196-3.*“ Jde o technickou normu ČSN EN 62196-3 (viz kapitola 1.4.2).

U rychlého průběžného dobíjení se většina dodavatelů elektrobusů drží **čtyřpólového standardu**, na němž staví i svoji ekonomii z rozsahu.

Standardizace nabíjení elektrobusů se může týkat nejen vlastního nabíjecího roz-

hraní, ale má dopady např. i do vozidlového software. Pro světové výrobce se pak v případě nestandardních požadavků nevyplatí změna technického řešení pouze kvůli některým zákazníkům na relativně malém českém trhu.

Z popsanych důvodů vede volba jakéhokoli nestandardního řešení zákonitě k uzamčení zákazníka, a následně k omezování fungování volného trhu s elektrobusem v ČR.

Dopravci, kteří na nestandardní řešení přistupují, se zpravidla řídí pouze nejnižší na-

bídkovou cenou dané konkrétní zakázky bez ohledu na její důsledky pro další vývoj při zavádění elektrobusem. Tento přístup je pak zdrojem budoucích problémů v případě rozšiřování vozidlových parků nebo nabíjecí infrastruktury, od technických přes obchodní až po právní.

(Poznámka: Jak uvedeno výše, v případě plnění palivočlánkových autobusů vodičem je rozhraní vozidlo-infrastruktura, tedy parametry čerpacích stanic, určeno normami ČSN, viz kapitoly 2.3.3 a 1.4.5.)

Na co nezapomenout

Komplexní přístup: Vhodnou technickou koncepcí vozidla i vybavení nabíjecí či plnicí infrastruktury je třeba volit s ohledem na celkovou strategii dopravce či zadavatele dopravy v oblasti provozování elektrických autobusů a budoucího rozsahu jejich parku.

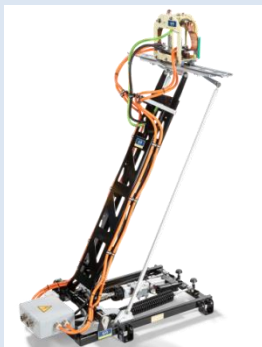
Standardizace: Nestandardizované řešení, byť nabízené levně k pořízení, vede v důsledku k uzamčení zákazníka, a následně ke komplikacím při dalším rozvoji parku elektrických autobusů a jejich nabíjecí infrastruktury i ke zvýšenému riziku souvisejících právních problémů.

Technický vývoj: Technologie vozidel, jejich energetických zásobníků a infrastruktury se stále rychle vyvíjí. Je žádoucí tento vývoj průběžně sledovat a zohledňovat při přípravě projektů elektrických autobusů a jejich zadávací dokumentace.

Historie standardizace čtyřpólového nabíjecího rozhraní psaná společností Schunk Carbon Technology

Historie standardizace čtyřpólového nabíjecího rozhraní se začala psát v letech 2011–12. Společnost Schunk patří ke světovým lídrům v oblasti přenosu proudu, má 50 let zkušeností ve vývoji a výrobě pantografových sběračů pro vlaky, tramvaje a metro. Významný německý výzkumný ústav Fraunhofer Institute si proto Schunk vybral pro spolupráci na projektu vývoje střešního pantografu (nabíjecí konzole) pro nabíjení elektrobuses. Výstupem z tohoto projektu byly základní technické aspekty nabíjecího rozhraní respektující bezpečnostní principy zkušebního ústavu TÜV, které se později staly standardem:

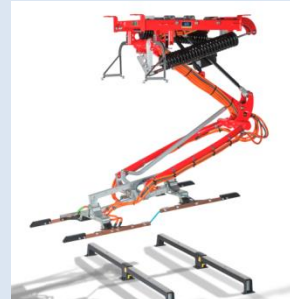
- čtyřpólové nabíjení (+, –, uzemnění, kontrolní pól);
- bezpečná sekvence připojení pólů v definovaném pořadí (uzemnění – silové kontakty – kontrolní pól);
- oblast pracovní výšky;
- zdvižení pantografu pomocí pružiny;
- doba zdvihu nebo stažení pantografu;
- tolerance přesnosti zaparkování vozidla pod nabíjecím stojanem;
- připojení pantografu k nabíjecí stanici možné pouze s aktivovanou parkovací brzdou.



Schunk SLS 102, základ standardu bus-up

Provozní testování nově vyvinutého systému proběhlo v Drážďanech v roce 2014 jako vůbec první pantografové dobíjení v Evropě. Trvalo 6 měsíců a díky dobrým zkušenostem byly testy prodlouženy o 3 měsíce na dalších linkách. Prvními uživateli této technologie se stali autobusoví výrobci Solaris, VDL a Irizar společně s dodavatelem infrastruktury Heliox a Ekoenergetyka. Bylo pak přirozené, že se pro tuto nabíjecí technologii v profesní komunitě vžilo označení „systém Schunk“, s postupem standardizace nahrazené neutrálním označením „bus-up“.

Paralelně k tomuto řešení vznikala ve spolupráci firem Stemmann, Siemens a Volvo systém OppCharge, který se později stal také otevřeným standardem s označením „panto-down“. Schunk pro toto řešení vyvinul v roce 2015 vlastní invertovaný pantograf, který jako první uplatnění našel ve spolupráci s ABB v nabíjení přístavních manipulátorů Kalmar.



Schunk SLS 201, základ standardu panto-down

Schunk je dnes jediný dodavatel, který vyrábí oba kontaktní systémy nabíjení a právě díky tomu může nabídnout relevantní srovnání technických i provozně-ekonomických parametrů zohledňující specifika flotily bateriových vozidel. Díky tomu se stal Schunk světovým lídrem v oblasti rozhraní pro automatizované nabíjení bateriových autobusů.

V roce 2016 vznikla při německé DKE pracovní skupina pro standardizaci obou těchto nabíjecích systémů podle evropských předpisů (norma zavedena pod označením EN 50696, v platnosti od roku 2021). Pro americké prostředí vznikala paralelně standard SAEJ3105, uvedený v platnost v roce 2020. Společnost Schunk se jako průkopník čtyřpólového nabíjení účastnila obou těchto normotvorných procesů. Souběžně vznikala také evropská norma IEC / ČSN EN 61851-23 stanovující požadavky na řídicí komunikaci mezi stejnosměrnou nabíjecí stanicí a elektrickým vozidlem. (Blíže o normách viz v kapitole 1.)

Zde je vidět klasický příklad procesu standardizace technického řešení, který začal spoluprací specialistů od různých výrobců. Nepostradatelnou podmínkou úspěchu přitom byla léty prověřená odbornost společnosti Schunk v oboru pantografových systémů.

Foto © Schunk Carbon Technology

Dopravní podnik Ostrava provozuje od roku 2022 první interoperabilní systém průběžně dobíjených elektrobusů v ČR

Dopravní podnik Ostrava (DPO) provozuje od roku 2018 dva průběžně dobíjené elektrobusy Ekova Electron s nabíjecími stanicemi od nizozemského výrobce Heliox. Dodavatelem celého projektu byl výrobce elektrobusů – domácí firma Ekova Electric (nyní Škoda Ekova), s výrobcem nabíjecích stanic Heliox jako subdodavatelem. K nabíjení je používán invertovaný pantograf pro čtyřpólové dobíjení (tj. dva silové póly, zemnicí pól a řídicí pól) evropského standardu panto-down, známého též jako OppCharge.

Od května 2022 se tento systém průběžně dobíjených elektrobusů rozšířil o dodávku: 24 elektrobusů od Solaris Bus & Coach a o další nabíjecí infrastrukturu od společnosti Siemens. Poprvé v České republice tak provozuje dopravce systém průběžně dobíjených elektrobusů s technologiemi od různých výrobců vozidel a nabíjecí infrastruktury.

12m elektrobusy Solaris Urbino 12 electric o celkové přepravní kapacitě 85 cestujících jsou vybaveny bateriemi Solaris High Power s celkovou kapacitou 91,4 kWh.

Dodávka Siemens zahrnuje čtyři dobíjecí body, každý o špičkovém dobíjecím výkonu 400 kW schopným řádově v jednotkách minut dobít elektrobus pro další pokračování v jízdě, dále 28 mobilních dobíjecích stanic a vysokonapěťovou infrastrukturu. Jedna dobíjecí stanice SICHARGE UC standardu OppCharge, je umístěna v areálu MHD terminálu Hranečník (viz foto) a tři ve Valchařské ulici v centru Ostravy.

Veškeré parametry stavu technologie dobíjecí infrastruktury zaznamenává lokální řídicí systém. Ten je přenáší do energetického dispečinku DPO, kde je možné informace o provozních stavech sledovat v reálném čase.



Foto ©Smartcityvpraxi.cz

3. Ekonomika a financování elektrických autobusů

3.1 Pořizovací a provozní náklady elektrických autobusů

3.1.1 Úvodní komentář k uváděným pojmům a hodnotám

V této kapitole jsou pro úvodní představu čtenářů uváděny hodnoty či rozpětí hodnot nákladů, zjištěných autory tohoto Průvodce během jejich spolupráce jako konzultantů na projektech elektrických autobusů. **Tyto hodnoty jsou pouze orientační a nikdy nemohou nahradit aktuální informace z dodavatelského trhu.**

Platí to zejména pro **palivočláňkové autobusy a související vodíkové technologie**, které prozatím nejsou natolik masově rozšířené, aby bylo možné jednoznačně stanovit „obvyklé“ či „nejčastější“ hodnoty. Při porovnávání provozních nákladů mohou hrát významnou roli také aktuální ceny nafty a vodíku, konkrétní spotřeba paliva v daných provozních podmínkách a směnné kursy Kč a Eura. Tyto technologie a jejich ekonomika se kromě toho velmi rychle vyvíjejí. Čtenář tedy v jiných zdrojích vztahujících se ke konkrétním projektům může narazit i na jiné, nežádoucí velmi odlišné hodnoty ekonomických ukazatelů.

Pro čtenářskou srozumitelnost se zde rovněž užívá pojmu náklady i ve významu ekonomicky nesprávném:

Investice není ze své povahy nákladem, nýbrž výdajem. Podobně mezi provozními náklady by bylo nutno uvažovat i odpisy, tedy přenesenou hodnotu části investice, nejen peněžní výdaje.

Tyto pojmy jsou však, zejména mezi technickou veřejností, natolik zaužívané, že bylo rozhodnuto se jich držet i zde.

3.1.2 Investiční náklady vozidel

Zjištěné ceny bateriových elektrobusů se pohybují v následujícím rozmezí:

- **12m bateriové elektrobusy:** 12 až 15 mil. Kč, v průměru 13 mil. Kč;
- **18m bateriové elektrobusy:** 16 až 23 mil. Kč, v průměru 18 mil. Kč.

Jak patrně, zatímco u standardních elektrobusů se ceny podle výrobců příliš výrazně neliší, u kloubových elektrobusů je třeba počítat s větším cenovým rozpětím.

Ceny **superkapacitorových elektrobusů** se pohybují při spodní hranici uváděných cenových rozpětí, případně i mírně pod touto hranicí.

Ceny **palivočláňkových autobusů** se v současné době pohybují v rozmezí cca 15 – 20 mil. Kč a mají klesající tendenci. U některých projektů se již těsně přiblížily horní hranici cenového rozpětí bateriových elektrobusů 15 mil. Kč. Veřejně dostupné zdroje např. uvádějí cenu 12m elektrobusu s dvoupólovým průběžným dobíjením 14,8 mil. Kč a 12m palivočláňkového autobusu 15,2 mil. Kč, v obou případech jde o projekty v ČR.

Významnou část nákladů na elektrobusy tvoří trakční baterie (viz dále v kapitole 3.1.3). Poznatky zpracovatelů tohoto Průvodce nicméně **nepotvrzují jednoznačnou závislost mezi kapacitou baterií a celkovou cenou vozidla.**

Ceny elektrických autobusů totiž závisí i na konkrétní konfiguraci autobusu, zejména ve smyslu sériovosti či individualnosti požadovaného řešení, na jeho vnitřním vybavení a na dalších faktorech. Ty nemusí bezprostředně souviset s výrobními náklady – například obchodní strategie dodavatele na daném trhu.

3.1.3 Ošetření výměny/repase trakčních baterií a palivových článků v investici

Problémem stanovení investičních nákladů je započítání ceny náhradních trakčních baterií, protože životnost trakčních baterií je kratší než životnost vozidla – nejčastěji se udává 8 let. Cena nových baterií může v některých případech přesáhnout 40 % ceny vozidla.

Pro potřebu propočtu efektivnosti projektu elektrobusů lze tento problém nejlépe řešit uvažováním tzv. bateriového kontraktu, zaručujícího plně funkční baterie po celou

dobu životnosti vozidla, který řada výrobců nabízí.

Podle aktuálních poznatků zpracovatelů tohoto Průvodce se tímto způsobem navýší investice do vozidel o

- cca 1,5 až 2 mil. Kč u standardních elektrobusů;
- cca 2 až 2,5 mil. Kč u 18m elektrobusů.

Podobným způsobem lze zajistit i soulad životnosti palivočlánkového autobusu a palivočlánkové jednotky, jejíž garantovaná životnost se udává v provozních hodinách a v přepočtu na kalendářní roky bude pravděpodobně nižší než životnost autobusu.

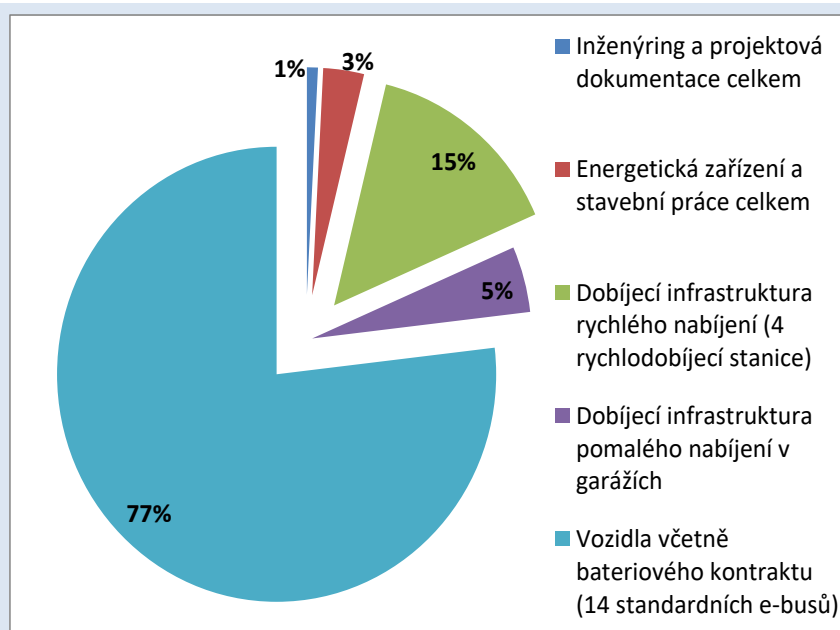
Dosavadní zkušenosti z českého trhu nejsou na takové úrovni, aby šlo takovéto řešení kvantifikovat finančně. Zpravidla půjde o individuální dohodu mezi dopravcem a dodavatelem, jejíž podrobnosti budou důvěrné.

3.1.4 Investiční náklady infrastruktury

Ceny **nabíjecích stanic pro pomalé nabíjení** se pohybují ve velmi širokém rozmezí cca 0,25 – 1 mil. Kč na jedno nabíjecí místo, přičemž vhodné je počítat spíše s horní hranicí tohoto rozpětí.

Dodavatelské ceny **stanic rychlého čtyřpólového dobíjení** se rovněž pohybují ve velmi širokém rozmezí, přibližně 5 až 10 mil. Kč.

Pro přesné určení ceny při průzkumu dodavatelského trhu je třeba v obou případech **věnovat pozornost vymezení položek, které uváděná cena zahrnuje, resp. nezahrnuje.**



Obr. 31 Struktura investičních nákladů pro projekt průběžně dobíjených elektrobusů a jejich infrastruktury – příklad z praxe
© Smartcityvpraxi.cz

K nim je třeba počítat s **náklady na inženýring projektu, vysokonapětovou část nabíjecí infrastruktury a související stavební práce.** Podle místních podmínek se tyto jednorázové náklady mohou pohybovat řádově

- v jednotkách milionů Kč u stanic rychlého dobíjení;
- ve stovkách tisíc Kč u technické základny pomalého dobíjení v garážích.

Cena vlastní **vodíkové plnicí stanice** se podle dostupných zdrojů pohybuje v rozmezí cca 25 – 30 mil. Kč. K ní je potřeba přiměřeně uvažovat i další související investice do vodíkového hospodářství (viz výše), které se mohou pohybovat řádově v desítkách milionů Kč.

Graf na obrázku č. 31 ukazuje příklad struktury investic u projektu průběžně dobíjených elektrobusů se čtyřpólovou technologií, založený na studii proveditelnosti konkrétního projektu. Investice zahrnovala 14 průběžně dobíjených 12m e-busů včetně bateriového kontraktu, 4 rychlodobíjecí stanice standardu OppCharge, infrastrukturu pro pomalé nabíjení v garážích včetně

energetického managementu a související projektové, stavební a inženýrské práce.

Jak z příkladu patrné, převažující položkou investic zůstávají vozidla, a to i při technicky složitě a zároveň poměrně konzervativně plánované (a tudíž nákladné) infrastruktuře rychlého dobíjení. S rostoucím parkem elektrobuses by podíl ostatních položek klesal, protože jejich případný nárůst nebude přímo úměrný počtu vozidel.

3.1.5 Provozní náklady

Úspora provozních nákladů elektrických autobusů oproti autobusům s dieselovým motorem je dána především nižšími náklady na palivo/energii a na údržbu.

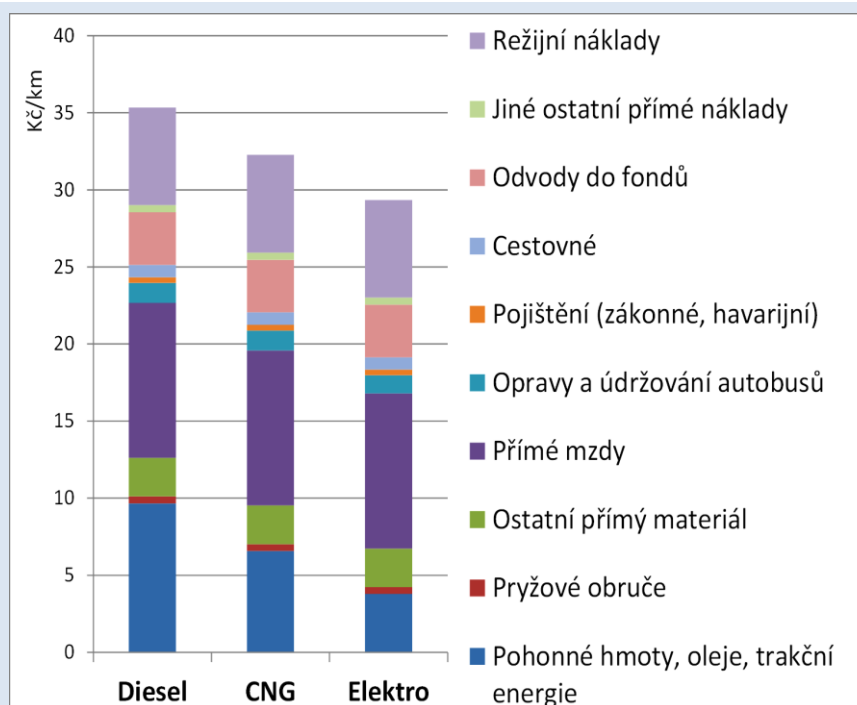
Úspora nákladů na palivo/energii je dána nejen konstrukcí autobusu a jeho jízdními vlastnostmi, ale také aktuálními cenami nafty, elektřiny a vodíku¹⁸. Pro první představu lze předpokládat oproti dieselovým autobusům úsporu

- u bateriových elektrobuses cca 60 %;
- u palivočlánkových autobusů cca 15 – 30 % (podle měrné spotřeby paliva daného pohonu, aktuálních cen vodíku a aktuálních cen nafty).

Pohonná jednotka je u bateriových, resp. superkapacitorových elektrobuses i palivočlánkových autobusů relativně nejméně zranitelnou částí vozidla. **Většina nákladů na údržbu a opravy jde na vrub mechanických částí**, které mají podobné prvky

¹⁸ Zde uváděná orientační srovnání vycházejí z cen paliv a energie před krizí z ukrajinského konfliktu; v jejím průběhu nejsou ceny stabilizované ani předvídatelné.

bez ohledu na pohon. **Úspora nákladů na opravy a údržbu** oproti dieselovým auto-



Obr. 32 Porovnání struktury provozních nákladů (bez odpisů) – příklad z praxe © Smartcityvpraxi.cz

busům se proto u bateriových elektrobuses zpravidla pohybuje na úrovni cca 10 %.

V souvislosti s opravami a údržbou i celkovou dostupností vozidel je žádoucí si ohlídat právě mechanickou část autobusů jako hlavní potenciální zdroj poruch. **Nequalitní dílenské zpracování elektrobuse může nejen značně zkomplikovat činnost dopravce, ale způsobit špatnou image elektromobility jako takové.** Nehraje přitom roli, že opravy jsou předmětem záruky.

Promítnutí uvedených úspor do kalkulace provozních nákladů celkem pak záleží na poměrné výši ostatních nákladových položek, zejména přímých mezd a režie.

Ukazuje to obrázek č. 32 s příkladem kalkulace provozních nákladů (bez odpisů) pro různé pohony, založený na studii proveditelnosti konkrétního projektu. V tomto případě je zřejmé, že největší nákladovou položkou tvoří přímé mzdy následované režijními náklady. Náklady na palivo, resp. energii jsou největší u dieselů a nejmenší

u elektrobusů, náklady na CNG se pohybují uprostřed.

Z toho je mj. patrné, že elektrický pohon je **nejméně zranitelný vůči výkyvům cen paliv a energií**.

Celkové úspory kalkulovaných provozních výdajů (tedy nákladů bez odpisů) tak mohou dosáhnout u bateriových elektrobusů cca 10 – 20 %.

Ceny **full service elektrobusů** zjištěné autory tohoto Průvodce se pohybují zhruba v rozmezí 20 000 – 25 000 Kč za vozidlo/měsíc. Platí to pro 12m i 18m elektrobusy, přičemž ceny 12m elektrobusů se pohybují spíše při spodní hranici tohoto rozpětí.

U **palivočláčkových autobusů** s poměrně krátkou historií sériové výroby a malými sériemi zatím nelze seriózně dát průměrnou či obvyklou hodnotu provozních nákladů oproti srovnatelným nákladům sériových dieselů. U probíhajících demonstračních zahraničních projektů¹⁹ se tyto hodnoty pohybují ve velmi širokém rozmezí od 25 % úspor po čtyřnásobek provozních nákladů dieselů.

3.2 Základní zdroje a způsoby financování elektrických autobusů v zahraničí

Pro srovnání domácích podmínek se zahraničními lze shrnout:

Významnou míru spolufinancování elektrických autobusů pro rutinní provoz v MHD nabízejí z grantových nástrojů prakticky pouze Fond soudržnosti a Evropský fond regionálního rozvoje, určené pro méně rozvinuté země EU (viz též dále v této kapitole). Zvýhodněné úvěry méně rozvinutým zemím EU nabízí také Evropská investiční banka.

Další spolufinancování probíhá na národních, regionálních a municipálních úrovních. Na sledovaných národních úrovních se rovněž vyskytují zvýhodněné půjčky, převládají však dotace. Struktura a pod-

mínky jednotlivých finančních nástrojů jsou velmi rozmanité.

Dotace se zaměřují především na spolufinancování pilotních projektů a na financování rozdílů mezi investičními náklady bezemisních vozidel včetně infrastruktury a srovnatelných emisních vozidel, případně fixní finanční pobídky pro jejich pořízení.

Toto srovnání je důležité ze dvou důvodů:

- Pomáhá lepšímu porozumění zahraničním zkušenostem a jejich přenesení do domácích podmínek.
- Napovídá na dlouhodobý trend, který lze očekávat ve financování bezemisní MHD (ČR nebude navěky méně rozvinutou zemí).

3.3 Zdroje financování elektrických autobusů v ČR

3.3.1 IROP 2021–2027

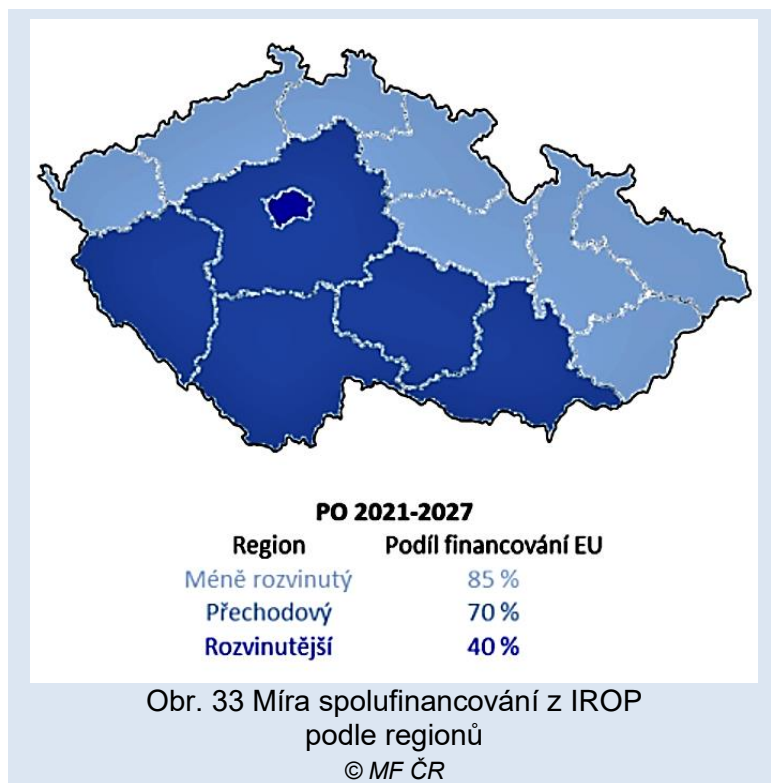
V rámci Integrovaného regionálního operačního programu (IROP), specifického cíle 6.1 Podpora udržitelné multimodální městské mobility, se předpokládá spolufinancování mj. elektrických autobusů v aktivitě Nízkoemisní a bezemisní vozidla pro veřejnou dopravu.

Míra spolufinancování z IROP je přitom odstupňována podle rozvinutosti regionů (viz mapa na obrázku č. 33):

- **85% příspěvek** v tzv. méně rozvinutých regionech (Karlovarský, Ústecký, Liberecký, Královéhradecký, Pardubický, Olomoucký, Zlínský a Moravskoslezský kraj);
- **70% příspěvek** v tzv. přechodových regionech (Středočeský, Jihočeský, Plzeňský, Jihomoravský kraj a Kraj Vysočina);
- **40% příspěvek** v Praze, která na rozdíl od minulého období nemá samostatný program.

Navíc je v jednání s Evropskou komisí podpora výstavby plnicích a dobíjecích stanic pro veřejnou dopravu a její konkrétní podmínky. Vzhledem k různým východiskům a stavu připravenosti dotací pro vozidla a (případně) pro infrastrukturu

¹⁹ Souhrnné údaje z projektů JIVE a JIVE2



bude zapotřebí žádat o příslušné dotace odděleně.

První výzvy z tohoto programu lze očekávat ve druhém až třetím čtvrtletí 2022. Výzvy budou členěny podle výše uvedených kategorií regionů.

Všechna města nad 40 tisíc obyvatel, na jejichž území budou realizovány tyto projekty, budou muset disponovat plnohodnotným plánem udržitelné městské mobility. V menších obcích a městech mají žadatelé možnost své projekty strategicky odůvodňovat nejen plány mobility, ale i plány dopravní obslužnosti nebo jinými strategiemi příslušného dopravního módu.

Aktuální informace jsou průběžně k dispozici na stránkách www.irop.mmr.cz.

3.3.2 Modernizační fond a další nenávratné zdroje

Modernizační fond (MF) má především pomoci ekonomicky slabším zemím Evropské unie k hospodářskému rozvoji prostřednictvím podpory nízkouhlíkových technologií a energetiky. Příjemcem a zároveň poskytovatelem finančních pro-

středků z Modernizačního fondu byl pověřen Státní fond životního prostředí ČR.

Zdrojem financování Modernizačního fondu jsou tzv. emisní povolenky, což je hlavní nástroj Evropského systému pro obchodování s emisemi (European Union Emissions Trading Scheme, EU ETS).

Z celkem předpokládaného rozpočtu cca 150 mld. Kč na desetileté období MF je 5 % alokováno pro program č. 6 Modernizace veřejné dopravy.

Vztah Modernizačního fondu k IROP je založen na předpokladu, že IROP nebude mít dostatek prostředků pro poskytování podpory v průběhu celého programového období. Ve druhé polovině období proto bude financování opatření pokryto

z prostředků Modernizačního fondu.

Okrajově lze do dotačních zdrojů pro elektrické autobusy zahrnout i následující tituly:

- Z Operačního programu Spravedlivá transformace (MŽP) se předpokládá financování komplexních projektů na území uhelných regionů.
- Národní plán obnovy (MPO) doplnkově podpoří nákup bezemisních silničních vozidel pro městskou hromadnou dopravu v Praze.

Předpokládá se, že vzhledem k rozdílným kritériím a časovému nastavení by nemělo docházet k překryvu podpory z různých dotačních zdrojů.

3.3.3 Návratné zdroje – bankovní nástroje

V rámci bankovních nástrojů se nabízí financování elektrických autobusů a souvisejících aktiv zejména formou

- úvěru;
- finančního leasingu;
- operativního leasingu.

Úvěrem se zde rozumí účelový úvěr na nákup nového či ojetého/použitého předmětu. Čerpání úvěru je zahájeno dnem předání předmětu financování klientovi.

Klient úvěr splácí ve splátkách, které obsahují splátku úmoru jistiny a úroků. Tento způsob financování umožňuje okamžitý přechod vlastnictví k předmětu financování na klienta při jeho převzetí. Úroková sazba se fixuje ke dni podpisu smluvní dokumentace.

Finanční leasing je pronájem předmětu s povinností nebo opcí nájemce k jeho koupi po skončení leasingové smlouvy za symbolickou cenu.

Operativní leasing znamená rovněž pronájem, a to na dobu kratší než u finančního leasingu, s navrácením pronajatého předmětu po ukončení leasingu. Často se poskytuje se zajištěnou kalkulovanou zůstatkovou hodnotou a zárukou odkupu, podobně jako u finančního leasingu.

3.4 Základní obchodní modely pro projekt elektrických autobusů

Pro projekty elektrických autobusů následující typové obchodní modely, které lze navzájem vhodně kombinovat:

a) Elektrobuses a/nebo infrastruktura **do vlastnictví**

- veškerá investice z vlastních zdrojů;
- investice s příspěvem dotace;
- investice financována úvěrem.

b) Elektrobuses a/nebo infrastruktura **pronajaté**

- finanční leasing;
- operativní leasing;

Vlastnictví a způsob financování		Vlastní zdroje	Cizí zdroje	
			Nenávratné	Návratné
Majetek ve vlastnictví	Využití investičních dotací	Spolufinancování	Investiční dotace	Dofinancování úvěrem podle potřeby
	Financování úvěrem	Spolufinancování, poplatky aj.	x	Úvěr
	Financování pouze vlastními zdroji	Plné financování	x	x
Majetek pronajatý	Leasing	Spolufinancování, poplatky aj.	x	Finanční leasing
			x	Operativní leasing
	Energetické služby	x	x	Platba za službu

Obr. 34 Jednoduchý přehled způsobů financování investic z pohledu dopravce

© Smartcityvpraxi.cz

- energetické služby (podrobnosti viz kapitola 3.5).

Jednoduchý přehled způsobů financování z pohledu vlastnictví a zdrojů ukazuje obrázek č. 34.

V obou případech (pouze odlišné smluvní aranžmá u vlastněného a u pronajatého majetku) přichází v úvahu

- **údržba a opravy vlastními silami** s možností objednání dílčích servisních prací dodavatelsky za předem vysoutěžených podmínek;
- **údržba a opravy jako full service** od dodavatele.

Každý z těchto typových obchodních modelů má své přednosti a úskalí.

Investice hrazené plně z vlastních zdrojů je nejjednodušším způsobem financování, nezátěžující zadavatele smluvními závazky a nejistotou související s dotacemi a jejich podmínkami. Je to vhodná varianta zvláště v případě, kdy zadavatel disponuje množstvím volných finančních prostředků nebo kde by administrativa spojená s jiným způsobem financování byla neadekvátní investovaným prostředkům.

Investice s příspěvem dotací (IROP nebo jiné zdroje) nabízí možnost uhradit příslušný podíl na investici z vnějších nenávratných zdrojů. Hlavními **úskalími** tohoto řešení jsou

- administrativní spojená se žádostí o dotaci;
- nejistota spojená s datem vypsání a podmínkami příslušné dotační výzvy;
- nemožnost odepisování dotované části aktiv, pro jejíž reprodukci je pak třeba vytvořit potřebné rezervy ve finančním hospodaření vlastníka dotovaného majetku.

Investice financovaná úvěrem představuje budoucí závazek a administrativní zátěž spojenou se sjednáním úvěru. Z pohledu hodnoty peněz v čase však představuje výhodnější alternativu oproti pořízení aktiv souvisejících s projektem z vlastních zdrojů. Rovněž nezatěžuje rozpočet zadavatele jednorázovým výdajem na pořízení majetku. Úvěrem lze dofinancovat i např. dotaci z IROP.

Leasing má, podle zkušeností zpracovatelů tohoto Průvodce, velmi podobné podmínky pro finanční a pro operativní leasing. Důležitým aspektem leasingu v porovnání s úvěrem je skutečnost, **že pořízená aktiva nejsou součástí majetku provozovatele**. To může mít například pozitivní vliv na vrcholové ukazatele efektivnosti podniku, jako je rentabilita aktiv (ROA), jindy to může být překážkou (např. při financování části aktiv dotacemi).

Údržba a opravy vlastními silami představuje nároky na personál provozovatele a jeho kvalifikaci, tedy i nutnost potřebného zácvičení, i na potřebné technické vybavení. Naproti tomu znamená (s výjimkou záručního servisu) nezávislost na službách dodavatele.

Údržba a opravy formou full service nezatěžuje provozovatele personálními a materiálními nároky oprav a údržby. Vytváří nicméně smluvní vztah s dodavatelem po celou dobu provozování elektrobusů nebo nabíjecích stanic. Podmínkou jejich úspěšnosti je vhodně volená **smlouva** mezi dodavatelem a dopravcem, včetně **platebního mechanismu motivujícího k maximální dostupnosti** udržovaného majetku.

Jak patrně, **každý z těchto typových obchodních modelů má své výhody a nevýhody**. Konečné rozhodnutí je proto vždy na dopravci či zadavateli veřejné dopravy, který je nositelem daného projektu elektrických autobusů.

3.5 Energetické služby pro elektrobusy

3.5.1 Předmět energetických služeb

Budování dobíjecí infrastruktury znamená poměrně velké investiční náklady na za-



Obr. 35 Příklad fotovoltaického zdroje na velkoplošné střeše (servisní centrum)

© ČEZ ESCO

částku projektu. Moderní řešení nabízí **financování dodávky infrastruktury formou služby**, kdy dopravce uzavírá smlouvu na dodávku a provozování dobíjecí infrastruktury a smlouvu na dodávku elektrické energie.

Toto řešení v sobě obvykle zahrnuje také dlouhodobou **odpovědnost za servis nejen samotných dobíjecích stanic, ale i odběrného místa nebo trafostanice**.

Také **užití fotovoltaických zdrojů pro vlastní spotřebu** (viz příklad na obrázku č. 35) lze koncipovat jako energetickou službu, kdy dopravce uzavírá dlouhodobou nájemní smlouvu směřující k využití volných ploch (střech) pro fotovoltaiku. Fotovoltaická elektrárna (FVE) je dimenzována v maximální možné míře pro pokrytí vlastní spotřeby odběrného místa, garantována je nižší výkupní cena než standardní obchodní cena.

Díky tomu není dopravce nucen vynakládat vysoké investiční náklady, nemusí řešit samotný provoz FVE a zároveň šetří provozní náklady na elektrickou energii. Cena elektrické energie je na stanovené období (období nájmu) předem známa, nedojde tedy ke skokovému růstu ceny elektrické energie.

3.5.2 Financování energetických služeb

Financování energetických služeb zpravidla probíhá na bázi trojstranného vztahu dodavatel – provozovatel – banka, s využitím postoupení (cese) pohledávky.

Fakticky se jedná o tři smluvní vztahy:

Prvním je **smlouva na službu provozování**. Ta zahrnuje pravidelné měsíční platby za službu, které pokrývají investice. Počáteční investice ze strany dopravce nejsou nutné, typická doba splácení je 5 let. Majetek následně přechází do vlastnictví dopravce za zůstatkovou hodnotu, která je dopravci předem známa. Dodavatel energetických služeb nenesie finanční břemeno investice sám, ale postoupí jej bance, a ta má pak platební vztah s dopravcem (tzv. cese pohledávky).

Dále je to **servisní smlouva**, na jejímž základě provádí dodavatel veškerý servis a správu majetku i po skončení výše uvedené smlouvy na služby provozování.

Třetí smlouvou je **smlouva na dodávku elektrické energie**. Její předmět se odvíjí od konkrétních podmínek daného projektu. Při neobvyklejším připojení do sítě vysokého napětí je to platba za rezervovanou kapacitu, odebrané množství elektrické energie, popř. penalizační platby za nedodržení čtvrt hodinového maxima apod.

3.6 Personální aspekty provozování elektrobuseů

Elektrifikace vozidlového parku klade nároky na **kvalifikační strukturu personálu** dopravce a její změny. Týká se to zvláště oprav a údržby elektrobuseů, pokud si je dopravce nenechá v plném rozsahu provádět dodavatelsky.

Jedná se zejména o **zajištění potřebného elektrotechnického vzdělávání tohoto personálu včetně odborné způsobilosti pro elektrotechnická zařízení**. Ta je upravena **zákonem č. 250/2021 Sb. o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení** a o změně souvisejících zákonů²⁰, platným od 1. 7. 2022. Tento zákon **ruší mimo jiné dosud platnou Vyhlášku č. 50/1978 Sb.**, o odborné způsobilosti v elektrotechnice, která byla tuto oblast po léta zavedenou právní normou.

Je proto třeba včas plánovat potřebný personál a jeho kvalifikační strukturu včetně zajištění potřebného výcviku. V této souvislosti se osvědčuje **spolupráce s příslušně zaměřenými školami v místě působnosti dopravce**.

Profesní výcvik personálu dopravce je také zpravidla součástí dodávky vozidel.

Riziko nedostatku příslušně kvalifikované pracovní síly se bude týkat především dopravců, kteří prozatím s elektrickou dopravou nemají rozsáhlejší zkušenosti a nezvolili dodavatelský způsob údržby.

²⁰ Viz plné znění zde:

https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-250/zneni-20220701#p25_p25-1

Může však hrozit i dopravcům již provozující elektrickou dopravu v případě rychlé konverze autobusových parků na elektrický pohon.

Na co nezapomenout

Ceny bateriových elektrobuseů se pohybují na úrovni cca dvoj- až trojnásobku srovnatelných dieselových autobusů, ceny palivočlánkových autobusů jsou nad horní hranicí tohoto rozpětí, ale postupně se jí přibližují.

Kromě investice do vozidel je potřeba počítat s investicí do nabíjecí a plnicí infrastruktury, která se zpravidla pohybuje v miliónech až desítkách miliónů Kč. U bateriových elektrobuseů je třeba smluvně ošetřit výdaje na výměnu baterií během životnosti vozidla.

Na provozních nákladech mohou elektrické autobusy ušetřit řádově malé desítky procent díky nižším výdajům na palivo/energie a údržbu.

Energetický systém elektrobuseů je vhodné od začátku řešit komplexně a optimalizovat. Napomoci tomu mohou energetické služby specializovaných dodavatelů.

Existují různé zdroje pro financování související investice a různé modely pro opravy a údržbu pořízeného majetku, které lze navzájem kombinovat. Každý z nich má přednosti a úskalí a na jejich správném nastavení záleží úspěšnost celého projektu.

Přechod na elektrické autobusy vyžaduje potřebnou kvalifikaci zaměstnanců, s níž je třeba předem počítat a plánovat ji.

Dobíjení elektrobusesů v Trutnově jako energetická služba ČEZ ESCO

V Trutnově jsou od roku 2020 v náročných podmínkách podhorského města provozovány čtyři 12m elektrobusesy dopravce ARRIVA Autobusy. Denní proběh je cca 300 – 350 km.

Elektrobusesy jsou dobíjené ze 4 nočních stanic normálního dobíjení a 1 rychlodobíjecí stanice. Ve všech případech je použito zásuvkové dobíjení standardem CCS/Combo 2.

Trakční baterie jsou nabíjeny a balancovány v noci, přes den elektrobusesy zajišťují postupně na rychlodobíjení výkonem 150 kW, které trvá obvykle cca 20 – 30 minut. Využití standardizované zásuvky pro tento účel představuje jednoduché řešení schopné bezproblémového rozšiřování v budoucnosti.

Zajímavostí tohoto projektu je, že „bezuhlíková“ elektrická energie napájející nabíjecí infrastrukturu je dodávána z vlastní spotřeby Elektrárny Poříčí, která ročně vyrobí více než 200 milionů kWh ekologické elektřiny z čisté biomasy.

Součástí projektu je vedle rozvodů pro kompletní pětici dobíjecích stanic i servis rychlé dobíjecí stanice a provozování po dobu pěti let, včetně služby 'Next business day', tj. zprovoznění stanice v co nejkratším čase v případě poruchy. Dobíjecí infrastruktura byla profinancována a dodána formou služby, což umožnilo společnosti ARRIVA Autobusy v úvodu projektu snížit nutné investiční náklady na pořízení dobíjecí infrastruktury.

Dodavatel této služby společnost **ČEZ ESCO** realizuje komplexně projekty dobíjecích zázemí pro provoz elektrobusesů. Služby zahrnují projektovou dokumentaci, dodávku dobíjecích stanic, zasíťování a připojení k distribuční soustavě, servisní a revizní služby, regulování dobíjecího výkonu dle potřeb dopravce s důrazem na minimalizaci nákladů a dodávku elektrické energie včetně certifikované zelené energie. V nabídce je také možnost profinancování výstavby formou dlouholeté smlouvy na provozování dobíjecího zázemí.



Foto © ČEZ

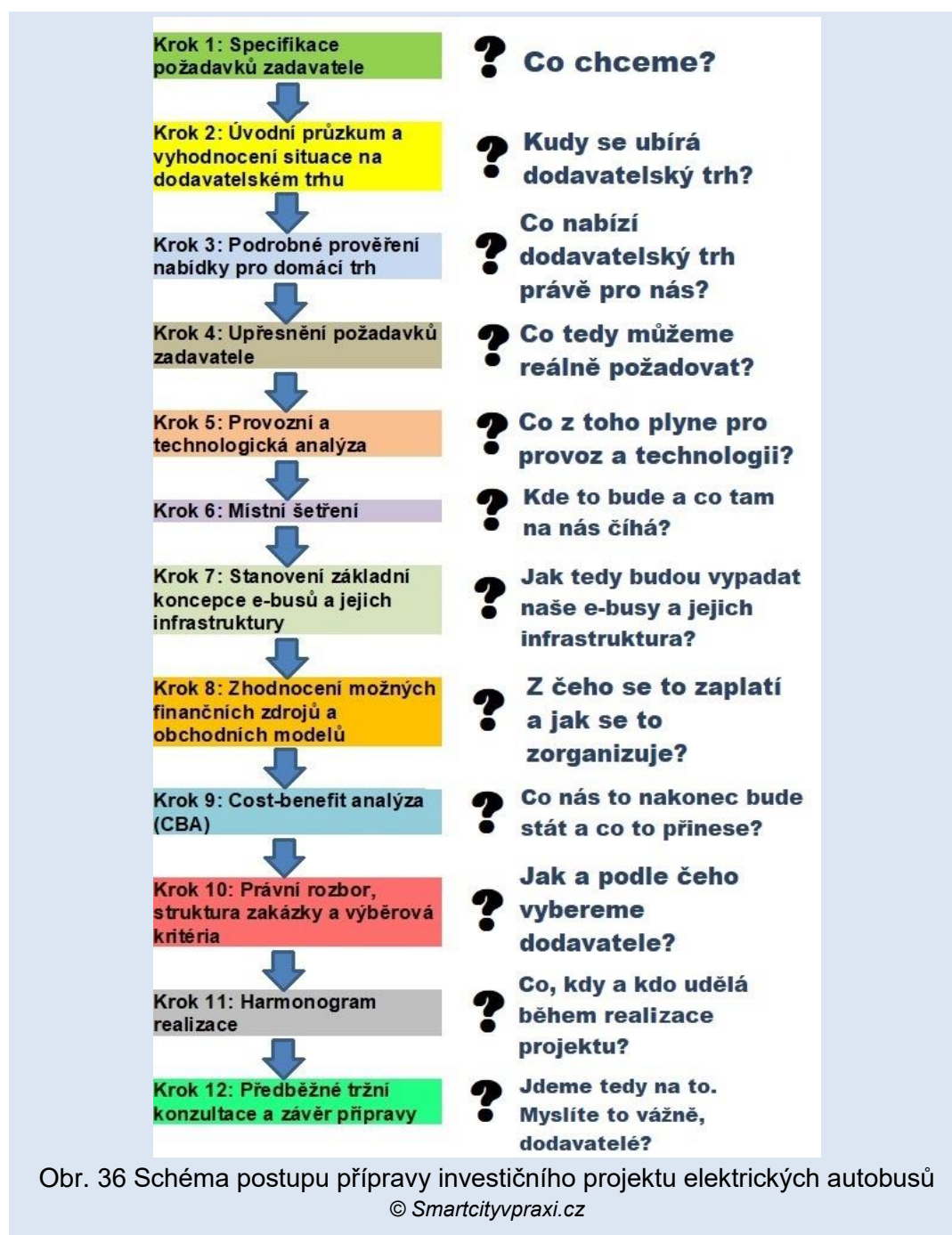
4. Základní kroky při přípravě projektů elektrických autobusů

Úvodem

Následující kroky, schematicky znázorněné na obrázku č. 36, popisují logiku přípravy projektu elektrických autobusů s nezávislým zdrojem energie (bateriových, superkapacitorových nebo palivových článkových) a jejich infrastruktury. Tyto

kroky mohou být formálně součástí **studie proveditelnosti** pro daný projekt (tedy technicko-ekonomické studie) nebo jiného obdobného dokumentu.

Obsah těchto kroků vede k podrobnému definování udržitelného projektu elektrických autobusů, který pak dále bude předmětem výběrového řízení na dodavatele.



Krok 1: Specifikace požadavků zadavatele

Je třeba, aby zadavatel jasně vyspecifikoval zamýšlené nasazení elektrického autobusu a požadavky na jeho vybavení.

Zamýšlené nasazení se týká povahy elektrifikované linky či linek co do sklonových a směrových poměrů, charakteru silničního provozu podél linky, délky linky a počtu zastávek, vzdálenosti mezi garážemi a konečnými stanicemi a přepravních proudů.

V té souvislosti je třeba si ujasnit, nakolik je možné pro efektivní využití elektrického pohonu provádět na dané lince či linkách úpravy v organizaci provozu.

Dále je třeba si ujasnit topologii elektrifikované linky či linek – zda jde o elektrifikaci

- jedné linky;
- několika navzájem izolovaných linek;
- svazku linek stýkajících se v jednom nebo více bodech (viz příklad z Ostravy na obrázku č. 37).

Obecně přitom platí, že

- individuální řešení pro jednu linku lépe využije konkrétní technologické možnosti zvoleného elektrického autobusu, případně jeho nabíjecí infrastruktury;

- skupinové řešení pro svazek linek lépe využije ekonomii z rozsahu.

Výsledkem je první volba koncepce elektrického autobusu (viz kapitola 1.5).

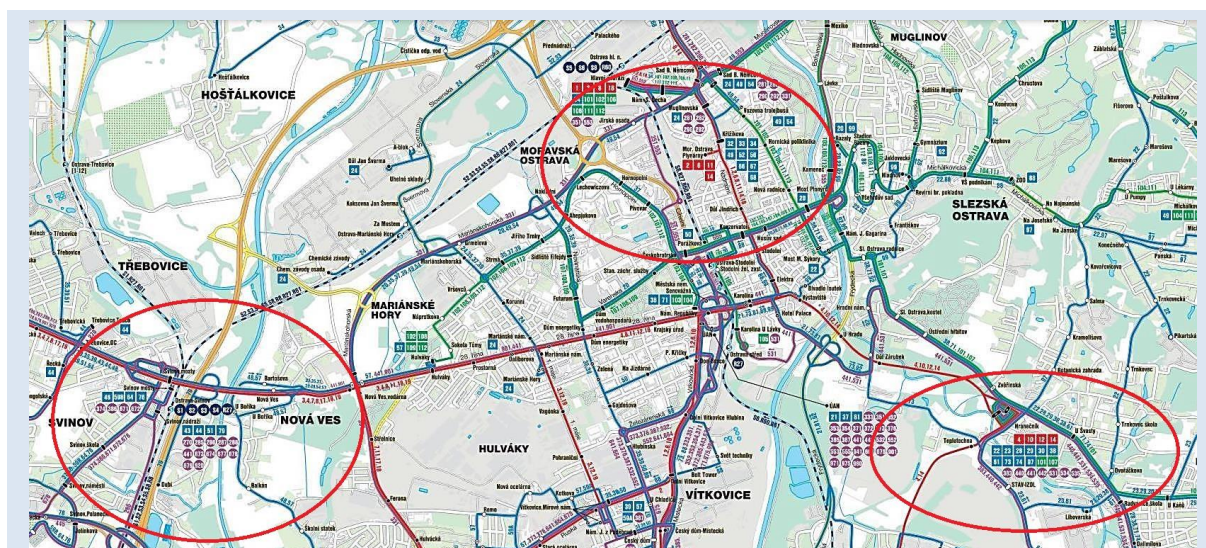
Vybavení autobusu (např. přepravní kapacita, počet dveří apod.) je často dáno standardy kvality dopravce nebo organizátora dopravy (viz příklad standardů Pražské integrované dopravy v kapitole 1.4.3) nebo zvyklostmi daného dopravce. Kromě základních provozních parametrů se mohou tyto požadavky týkat i pomocných zařízení, která mají vliv na netrakovní spotřebu – především topení a klimatizace (viz kapitola 1.2.3).

Tyto požadavky budou v dalších krocích upřesňovány nebo revidovány podle reálných technických možností elektrických autobusů a jejich energetické infrastruktury a modelové ekonomiky provozu.

Krok 2: Úvodní průzkum a vyhodnocení situace na dodavatelském trhu

Vzhledem k prudkému rozvoji elektrobuseů na evropském trhu je zároveň třeba vyhodnotit, resp. aktualizovat, současnou situaci na tomto trhu s technickými, ekonomickými a obchodními trendy.

K tomuto účelu zpravidla poslouží průzkum veřejně dostupných odborných informačních zdrojů.



Obr. 37 Příklad elektrifikace svazků linek s třemi výchozími terminály (Ostrava)

© Smartcityvpraxi.cz, podklad KODIS

V tomto kroku je důležité mj. sledovat postup standardizace v odvětví (viz kapitoly 1.4 a 2.6). Je třeba si uvědomit, že dřívější neformální dohody mezi výrobcí se mohou postupně stát uznávanými standardy. Tak ostatně většina průmyslových standardů vzniká a na trhu nakonec může převážít i technicky méně dokonalé, ale více zavedené řešení.

Tento krok je nutný k tomu, aby otázky k detailnímu průzkumu dodavatelského trhu v následujícím kroku byly dostatečně ambiciózní a zároveň realistické. Stručně řečeno: **Nevíme-li, co nabízí trh, nevyužijeme plně ve svůj prospěch jeho možnosti nebo naopak budeme mít nerealistická očekávání.**

Krok 3: Podrobné prověření nabídky pro domácí trh

Nyní je třeba prověřit aktuální nabídku potenciálních dodavatelů elektrobusů a je-

jich nabíjecí infrastruktury a jejich zájem o český trh. Podle zkušeností autorů tohoto Průvodce totiž někteří dodavatelé, velmi úspěšní a zavedení v zemích západní Evropy, o český trh nejeví žádný, případně jeví jen minimální zájem.

Osvědčeným prostředkem pro tento průzkum je dotazník, obsahující následující části:

- **úvodní část** popisující smysl a cíl dotazníku – zde je užitečné zdůraznit jeho nezávažnost a dále ujistit respondenty, že uváděné údaje slouží pouze pro interní potřebu zadavatele ve fázi přípravy projektu;
- **popis požadavků zadavatele** – předpokládané parametry linky či linek, autobusů a nabíjecí, případně vodíkové plnicí infrastruktury;
- **indikativní technická nabídka** vozidel a/nebo nabíjecí infrastruktury – základní provozně technické pa-

Příběh z praxe: Různé trhy – různé nabídky

Při průzkumu internetových zdrojů bylo zjištěno, že jeden z dodavatelů nabízí **elektrobusy jako službu**, zahrnující pronájem plně disponibilních vozidel za smluvní poplatek, přičemž o jejich provozuschopnost, čistotu a nabití baterie se v plném rozsahu stará výrobce. Součástí služeb může být i nabíjecí infrastruktura a projektové řízení.

Takovýto obchodní model poskytuje některé nesporné výhody, zvláště dopravcům bez zkušeností v oblasti elektrické dopravy, především:

- plné přenesení rizika dostupnosti vozidel a nabíjecí infrastruktury na dodavatele;
- jistota pravidelných výdajů na provoz elektrobusů, a to včetně obměny trakčních baterií, která představuje významný výdaj s nejistým načasováním;
- odpadající nároky na vlastní opravárenské a udržovací kapacity pro zajištění provozu elektrobusů při zajištění těchto služeb výrobcem;
- větší tlak na kvalitu dodávek při kontrahování těchto služeb externímu dodavateli, a to i v případě jejich dalšího subkontrahování dílnám dopravce (co dopravce promine sám sobě, nepromine externímu dodavateli).

Při oslovení zmíněného dodavatele v rámci přípravy českého projektu se však ukázalo, že uvedenou službu s výhradami nabízí pouze na některých západoevropských trzích a s jejím uplatněním v ČR nepočítá. Nemělo by tedy smysl ji u tohoto výrobce formálně poptávat.

Informace, že něco takového je možné, však může být do budoucna užitečná – dostatečně silná poptávka po obdobném obchodním modelu by mohla generovat odpovídající nabídku.

Ilustrační foto © Smartcityvpraxi.cz



- rametry nabízených produktů odpovídající popsaným požadavkům zadavatele, zejména
 - přepravní kapacita autobusu;
 - nabíjecí výkony a vlastní spotřeba nabíjecích stanic;
 - energetický management infrastruktury apod.;
- **indikativní obchodní nabídka** – zejména
 - indikativní ceny či cenová rozpětí nabízených produktů;
 - možné doby záruky na vozidlo, baterie/palivové články a infrastrukturu;
 - indikativní ukazatele pro stanovení nákladů údržby (hodiny/rok);
 - možné smluvní modely a doplňkové služby, například možnost full service údržby;
 - možnost dodání projektu vozidlo-infrastruktura jako celek na klíč, aj.;
- **prostor pro další informace** podle potřeby.

U některých odpovědí se respondenti pravděpodobně odkáží na své produktové katalogy nebo zpracují indikativní nabídky pro tento účel.

Míra detailů, které jsou respondenti ochotni uvést, se může mezi jednotlivými dodavateli značně lišit. Záleží na jejich firemní politice i na vzájemné důvěře mezi konkrétními zástupci zadavatele a osloveného dodavatele.

Průzkum může provádět zadavatel sám nebo s pomocí externích spolupracovníků znalých dodavatelského prostředí. Vždy je přitom vhodné

- směřovat dotazník na konkrétní osoby, ne na skupinovou adresu dodavatele;
- zjistit si, zda postačí dotazník česky nebo je třeba jej poslat v cizím jazyce (zpravidla postačí angličtina) – i v případě, že má dodavatel české zastoupení, nemusí mít v ČR vždy k dispozici všechny potřebné informace;

- v co největší míře využít kolegiální vztahy mezi konkrétními pracovníky zadavatele nebo externisty, kteří provádějí průzkum, a respondenty;
- **zachovat naprostou poctivost**, pokud jde o využití získaných informací pro interní účely – tedy nezveřejňovat to, co si respondent zveřejnit nepřeje.

Výsledkem tohoto kroku je

- upřesněná představa toho, co lze od dodavatelského trhu pro zadavatelův záměr realisticky očekávat;
- základní vstupy pro kalkulaci peněžních toků v cost-benefit analýze (viz dále krok 9);

Základní vstupy do CBA se týkají zejména **průměrných** (či středních) **hodnot pořizovacích nákladů** elektrických autobusů a jejich infrastruktury a dále **kalkulace nákladů na jejich údržbu**. Protože zjištěné ceny se někdy pohybují ve značném rozmezí, je jako střední hodnotu lépe použít **medián**, který si lépe poradí s extrémami na obou stranách, spíše než prostý průměr.

Krok 4: Upřesnění požadavků zadavatele

V tomto kroku je zapotřebí konfrontovat výchozí požadavky včetně koncepce první volby (viz krok 1 a kapitola 1.5) s výsledkem průzkumu, tak **aby požadavky a očekávání zadavatele odpovídaly realitě technického vývoje a obchodní nabídky na českém trhu**.

Jak již řečeno, je nanejvýš žádoucí, aby požadované řešení sledovalo odvětvové standardy (viz kapitola 2.6). Tím se předejde uzamčení zákazníka i případným právním konfliktům v důsledku, třebas i jen domnělého, nadržování některému z dodavatelů.

Krok 5: Provozní a technologická analýza

Obsahem tohoto kroku je zejména

- analýza současného stavu poptávky po přepravě na elektrifikované

lince či linkách a prognóza jejího vývoje;

- zhodnocení možného vlivu elektrifikace na poptávku po přepravě;
- analýza a zhodnocení provozního a technologického řešení projektu a jeho možných variant;
- základní ekonomické zhodnocení uvedených variant.

Vzhledem k tomu, že elektrifikace autobusové linky znamená významnou investici, je třeba dbát, aby vložené prostředky byly co možná nejefektivněji využity.

K tomu je žádoucí zhodnotit, jak elektrifikovaná linka či linky nyní a do budoucna vyhovují požadavkům přepravního trhu. Lze-li reálně očekávat zvýšení poptávky v důsledku elektrifikace, nebo jen zastavení jejího klesajícího trendu, bude to významný finanční přínos pro dopravce.

Dále je, zejména v případě zvolené koncepce průběžně dobíjených elektrobusů, žádoucí namodelovat průběh spotřeby energie během provozu (viz příklad na obrázku č. 38) s ohledem na sklonové a směrové poměry a charakter dopravy podél linky během dne.

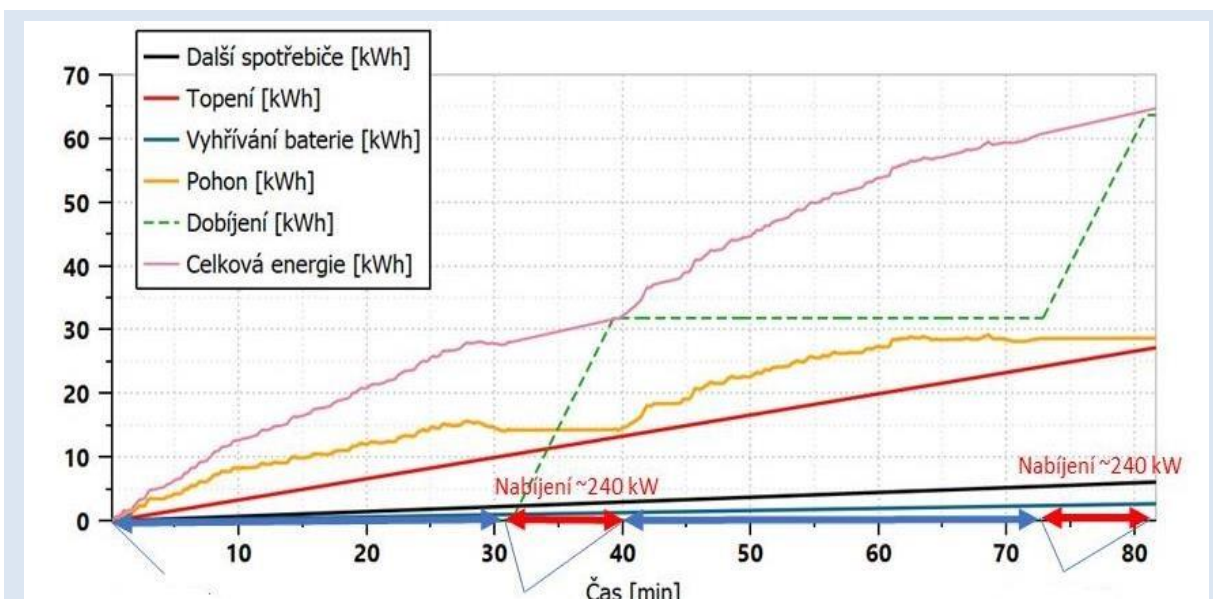
Je třeba rovněž provést detailní analýzu jízdních řádů a oběhů vozidel z hlediska doby provozu a provozních přestávek.

Při této analýze je třeba nezapomenout na přístavné a odstavné jízdy mezi konečnými stanicemi a garážemi.

Získané poznatky jsou dále konfrontovány s reálnými možnostmi elektrických autobusů, například co do spotřeby energie. Z této konfrontace vyplynou mimo jiné následující konkrétní technické parametry:

- požadavky na kapacitu trakčních baterií či jiného zásobníku energie elektrického autobusu zvolené koncepce;
- požadavky a omezení ohledně doby pobytu při nabíjení či plnění vodíkem;
- požadavky na počty nabíjecích míst, jejich umístění a jejich nabíjecí výkon, zejména v případě průběžného dobíjení, případně parametry vodíkových plnicích stanic;
- požadavky na zdroj elektrické energie pro nabíjení z pohledu potřebného příkonu, a to jak v garážích, tak na lince v případě průběžného dobíjení;
- požadavky na zásobování vodíkem v případě palivočlánkových autobusů z hlediska potřebného množství a možných zdrojů vodíku.

V případě dopravce již provozujícího vlastní elektrickou dopravu bude snaha před-



Obr. 38 Příklad modelu spotřeby energie průběžně dobíjeného elektrobusu na trase

© SmartPlan

nostně využít vlastní stejnosměrnou síť. Ne vždy je to však reálně možné nebo ekonomické.

Zhodnocení a výběr optimálního řešení vodíkového hospodářství, tedy způsobu výroby vodíku a jeho dopravy do plnicího stojanu či stojanů (viz kapitoly 2.3.3 a 2.3.4) mohou být náplní samostatné přípravné studie, jejíž výsledky v tomto kroku vstoupí do přípravy projektu elektrických autobusů.

Linkové vedení, jízdní řády a oběhy vozidel je vhodné koncipovat tak, aby vyhovovaly technickým možnostem a omezením elektrobuses. Obecně platí, že **technicky je vždy možné elektrifikovat linku bez jakýchkoli provozních změn, ale ne vždy je takovýto postup ekonomicky efektivní.**

Výsledkem tohoto kroku je provozní model fungování dané linky a související technické požadavky na vozidla a infrastrukturu.

Pokud je výsledkem několik možných, technicky rovnocenných variant, je vhodné provést jejich základní finanční zhodnocení. Tím se vyloučí a priori nerealistické varianty pro detailní hodnocení v rámci cost-benefit analýzy.

Krok 6: Místní šetření

Souběžně s předchozím krokem je třeba provést důkladné místní šetření z hlediska pozemků, staveb a energetických sítí. Místním šetřením se zde rozumí studium mapových a výkresových podkladů s následným průzkumem v terénu.

Smyslem tohoto šetření je

- zajistit, aby bylo možno vybudovat potřebnou nabíjecí infrastrukturu a umožnit jí odpovídající napájení elektrickou energií tím, že se využijí stávající energetické sítě nebo že je tyto sítě reálně možné posílit;

- předejít možným komplikacím a střetům z pohledu vlastnictví pozemků, případně památkové ochrany území, při budování nabíjecí/plnicí infrastruktury nebo odstavných ploch pro vozidla (tj. autobusy nebo cisterny s vodíkem).

Je třeba brát v úvahu, že nabíjecí infrastruktura nezahrnuje pouze vlastní nabíjecí stojan, ale také kabinety se souvisejícím energetickým zařízením, zpravidla koncipované modulárně podle potřebného nabíjecího výkonu (viz příklad na obrázku č. 39).

Výsledky místního šetření se navzájem ovlivňují s výsledky provozní a technologické analýzy popsané v předchozím kroku:

Provozní a technologická analýza stanoví technické požadavky, které pak výsledky místního šetření konkretizují, případně také omezují a vracejí zpět k předdefinované možnosti řešení.

Krok 7: Stanovení základní koncepce e-busů a jejich infrastruktury

S poznatky z předchozích kroků je nyní možné přesně definovat technické požadavky na vozidla a jejich infrastrukturu.



Obr. 39 Nabíjecí stojan OppCharge a kabinety s energetickým zařízením pro nabíjecí výkon 450 kW v Ostravě-Svinově

© Smartcityvpraxi.cz

V případě infrastruktury se to týká nejen samotných výdejních míst pro elektrickou energii nebo vodík, ale také jejich zásobování

- elektrickou energií z veřejné sítě nebo z vlastní sítě dopravce;
- vodíkem dopraveným od dodavatele nebo vyrobeným v místě spotřeby (blíže k této problematice viz v kapitolách 2.3.3 a 2.3.4).

Krok 8: Zhodnocení možných finančních zdrojů a obchodních modelů

Pro zvolenou technickou koncepci vozidel a infrastruktury je nyní třeba určit

- zdroje financování, které v době realizace projektu budou připadat v úvahu;
- optimální obchodní model nebo několik málo jeho variant z hlediska preferencí zadavatele.

Možné **zdroje financování** (vlastní, veřejné nebo soukromé) pro projekty elektrických autobusů jsou vymezeny v kapitole 3.3.

V úvahu přicházející **obchodní modely** jsou popsány v kapitole 3.4.

Zdroje financování a obchodní model se mohou navzájem ovlivňovat – například pro spolufinancování formou dotací je nezbytné vlastnictví dotovaného majetku, a tedy nebude připadat v úvahu leasing.

Preference dopravce co do obchodního modelu se mohou odvíjet od jeho technického vybavení, personálního obsazení a podnikové strategie. Například snaha o využití opravárenských kapacit povede k přednostnímu zajišťování oprav a údržby vlastními silami, naopak strategie soustředění na jádrový byznys, tedy dopravu, a vyčlenění (outsourcing) všech ostatních aktivit povede k preferované údržbě formou full service.

Výsledkem je vymezení jedné

nebo několika mála variant ke zhodnocení pomocí cost-benefit analýzy v dalším kroku.

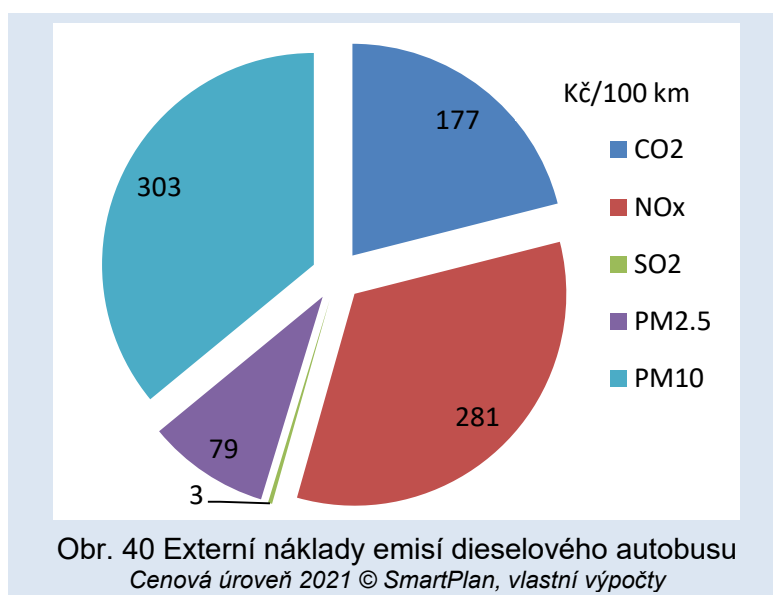
Krok 9: Cost-benefit analýza (CBA)

Se získanými poznatky je již možné provést analýzu nákladů a přínosů, tedy cost-benefit analýzu (CBA) projektu. Na tomto místě je vysvětlena její podstata a užitek – nejde tedy o vyčerpávající popis CBA ani o výklad konkrétní metodiky CBA v gesci některého orgánu či organizace.

Hlavní (ne jedinou) součástí CBA jsou

- **finanční analýza**, která představuje hodnocení efektů přímo vyplývajících z peněžních toků mezi účastníky projektu;
- **ekonomická či socioekonomická analýza**, která zahrnuje
 - rozšíření finančních efektů o efekty celospolečenské (například úspory emisí, hluku a klimatických vlivů), převedené na peněžní jednotky;
 - očištění peněžních toků o tu část, která se vrací zpět do veřejných rozpočtů (nejčastěji DPH, spotřební daň nebo příspěvek na sociální zabezpečení).

Při hodnocení se postupuje zásadně formou **porovnání varianty „bez projektu“**



a jedné nebo několika variant „s projektem“. Varianta „bez projektu“ totiž ve většině případů neznamená totéž, co „nedělat nic“. I bez projektu by bylo třeba vynakládat investiční a provozní výdaje, v tomto případě například investovat do obnovy parku dieselových autobusů.

Investiční výdaje varianty „s projektem“ se zjistí průzkumem dodavatelského trhu v kroku 3. Je třeba nezapomenout i na další související výdaje (viz kapitola 3.1.4), například stavební práce, kde lze zpravidla využít cenové tabulky nebo analogii z minulých obdobných projektů.

Náklady na spotřebu energie a na opravy a údržbu v rámci **provozních výdajů** lze odvodit z výsledků kroku 3.

Vzhledem k tomu, že se pracuje s rozdíly variant, **není třeba jako vstupní hodnoty kalkulovat nebo zjišťovat ty nákladové položky, které jsou shodné pro variantu (či varianty) s projektem a bez projektu.** Týká se to zejména rozmanitých režijních výdajů, ale také například výdajů na pneumatiky apod. (technicky vzato mají elektrobuses větší opotřebení pneumatik kvůli větší hmotnosti, v rovině finanční analýzy jde však o nevýznamné rozdíly).

Jako podklad pro CBA je rovněž třeba **vyčíslit socioekonomické přínosy projektu**, tedy zejména vliv projektu na **hluk, emise a klimatické změny**. Pokud je výsledkem elektrifikace také zkrácení jízdních dob, bude připadat v úvahu rovněž **úspora času** cestujících. Pokud je v důsledku elektrifikace očekáván přechod cestujících z jiných druhů dopravy, je třeba i tento vliv vyčíslit co do celospolečenských efektů.

Graf na obrázku č. 40 ukazuje jako ilustrativní příklad strukturu emisí průměrného dieselového autobusu vyjádřenou v Kč/na 100 km, kalkulovanou pro potřeby konkrétního projektu. Hodnoty těchto externích nákladů jsou dány jednak objemem, v jakém jsou produkovány, a jednak mírou škodlivosti daného polutantu.

CBA pracuje s **hodnotou peněz v čase**. Tou rozumíme skutečnost, že hodnota budoucího příjmu pro investora je de facto snížena o úrok (či o výnos z jiné možné

investice), o který přišel tím, že jej nedostane nyní, ale až v budoucnu. Totéž platí pro hodnotu budoucího výdaje, jehož absolutní výše je snížena o úrok (či o výnos z jiné investice), který investor získal tím, že jej nemusí vynakládat nyní, ale až v budoucnu. Proto je třeba příjmy a výdaje, předpokládané do daleké budoucnosti, o tyto úroky či výnosy z jiných investic upravit – tedy odúročit.

Takto upravená hodnota budoucího příjmu nebo výdaje se nazývá **současnou hodnotou** a procento, o které se snižuje, se nazývá **diskontní mírou** nebo též **diskontní sazbou**.

Součet současných hodnot všech příjmů a výdajů investičního projektu je **čistá současná hodnota** projektu (zkratka **NPV**) jako základní ukazatel hodnocení efektivnosti investice.

Poznámka: S prostým součtem výdajů za období životnosti vozidla se lze setkat u pojmu **TCO** (celkový náklad na vlastnictví – anglicky „total cost of ownership“), který zahrnuje veškeré výdaje skutečně vznikající s pořízením a vlastnictvím používaného majetku (vlastní provoz, související nutné výdaje – poplatky, školení, pojištění apod.). Na rozdíl od NPV pro něj neexistuje jednotná definice.

Modelový příklad na obrázku č. 41 ukazuje, jaký vliv má diskontování, tedy hodnota peněz v čase, na výši peněžních toků (CF) za desetileté období (pro názornost jsou zde uvedeny i s výchozím – nediskontovaným – rokem 0).

Je zde použita diskontní míra 4 %, obvyklá u hodnocení finanční efektivnosti projektů ve veřejných službách a 5 %, obvyklá u hodnocení socioekonomické efektivnosti těchto projektů.

Obdobně se pak na současnou hodnotu převádějí i celospolečenské efekty vyčíslené v peněžních jednotkách (**ekonomická NPV** či **ENPV**). Doplňujícími ukazateli jsou vnitřní výnosové procento finanční a ekonomické (FRR a ERR) a rentabilita

nákladů (benefit-cost ratio B/C; též česky poměr přínosů a nákladů P/N)²¹.

Z pohledu zainteresovaných osob totiž dává odpověď na zásadní otázky:

Má-li tedy být projekt vhodný a přípustný pro dotaci z jakýchkoli veřejných zdrojů, měl by mít minimálně

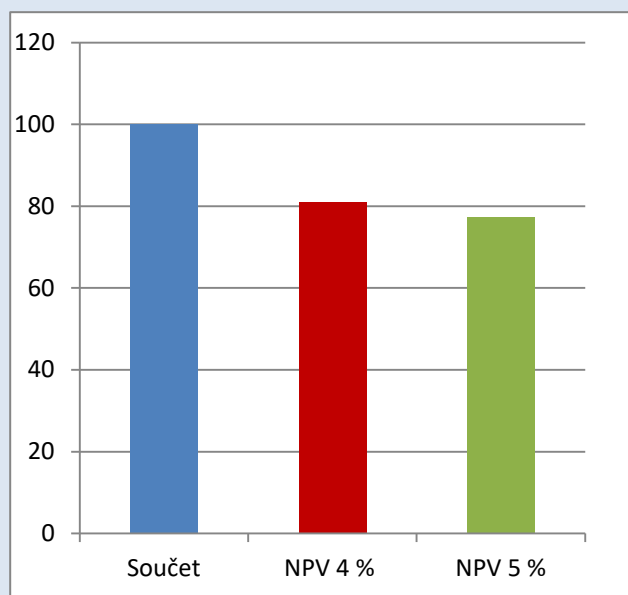
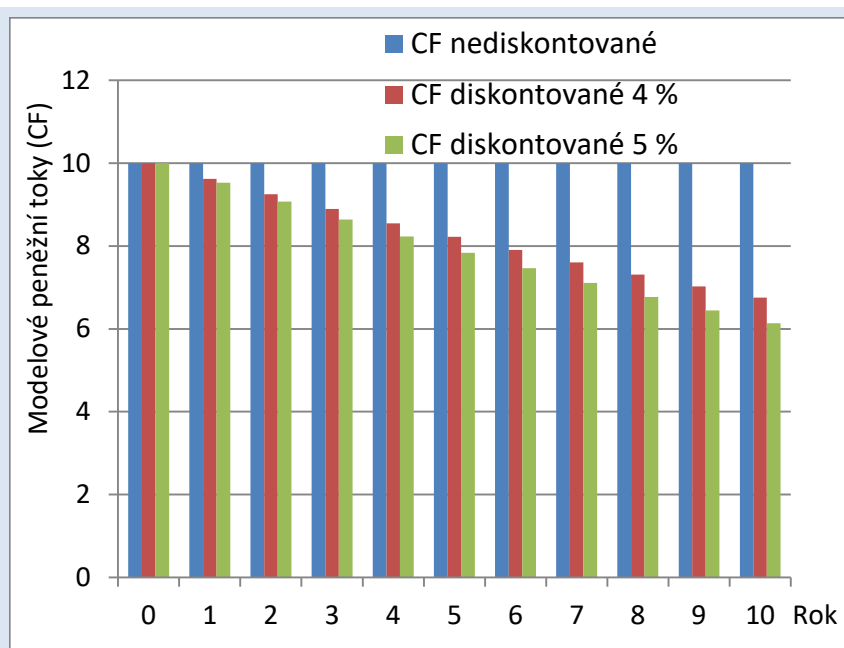
- **finanční NPV zápornou** – jinak je projekt finančně soběstačný a žádnou dotaci nepotřebuje;
- **ekonomickou NPV kladnou** – jinak si projekt z celospolečenského pohledu dotaci nezaslouží.

Současná hodnota projektu se počítá za tzv. **referenční období**, zpravidla dané ekonomickou životností hlavního pořizovaného majetku. V případě elektrobusů je to standardně **10 let**.

Zůstatková hodnota majetku zbývajícího po uplynutí této doby je zpravidla hodnocena jako finanční příjem projektu.

CBA je v obecném povědomí spojována se získáním dotace z evropských zdrojů. Nicméně bez ohledu na to, zda, v jaké formě a do jakých detailů je pro tento účel skutečně vyžadována, **je nanejvýš užitečné ji v rámci přípravy projektu zpracovat.**

²¹ Podrobnosti viz např. v metodice EU zde: http://www.dotaceeu.cz/getmedia/ad1551fc-2a95-4fac-b7f4-3e6caa855be6/Guide-to-Cost-Benefit-Analysis_CZ.pdf?ext=.pdf



Obr. 41 Modelová ukázka vlivu diskontování na peněžní toky při 4% a 5% diskontní míře: Hodnoty v jednotlivých letech, prostý součet a NPV za období 1. až 10. roku, stálé ceny roku 0
© Smartcityvpraxi.cz

- **kolik bude projekt během svého života stát;**
- **co projekt během svého života přinese** na financích a na celospolečenských efektech;

- **nakolik jeho přínosy**, peněžní i nepeněžní, **vyváží vložené prostředky**;
- **jaký obchodní model, případně způsob financování projektu, je za daných podmínek optimální**.

Převedení celospolečenských efektů na peněžní jednotky přitom řeší problém srovnávání obtížně srovnatelného, tedy např. ušopených tun CO₂ a výdajů na nabíjecí či plnicí infrastrukturu. V té souvislosti pomůže se vyvarovat řešení, u nichž by příliš vysokou investici nevyvážily celospolečenské přínosy.

Krok 10: Právní rozbor, struktura zakázky a výběrová kritéria

1. Právní rozbor

Pro navrhované řešení a obchodní model je zapotřebí provést právní rozbor, který stanoví zejména potřebné procedury a jejich pravděpodobné trvání, i další podmínky a omezení plynoucí ze související legislativy.

2. Struktura zakázky

Z hlediska **struktury zakázky** je třeba v principu zhodnotit, zda projekt elektrických autobusů zadávat

- **dohromady vozidla a infrastrukturu** jako projekt na klíč;
- **v rámci samostatných veřejných zakázek** pro vozidla a pro infrastrukturu.

Po právní stránce jsou podle zkušeností autorů tohoto Průvodce oba tyto přístupy právně obhajitelné. Oba nicméně mají své příležitosti i svá úskalí.

Obecně platí, že

- u dopravcem dosud nevyzkoušených systémů vozidlo-infrastruktura je při **první implementaci vhodnější projekt „na klíč“** zastřešený jedním dodavatelem;
- při **dalším rozšiřování** vozidlového parku nebo infrastruktury lze již postupovat cestou **samostatných zakázek**.

Lze využít i **kombinaci těchto přístupů**. I ona má ovšem jak přednosti, tak úskalí.

a) Projekt na klíč při první implementaci

Projektem „na klíč“ při první implementaci se předejde situaci, kde by byl dopravce postaven do role arbitra mezi dodavateli, jejichž technologie odmítají navzájem spolupracovat.

Je zde nicméně třeba **klást důraz na maximální standardizaci dodávaných technologií**, a to jednak s ohledem na budoucí rozšiřování dopravního systému, a jednak pro předcházení právním průtahům ze strany neúspěšných uchazečů.

Po stránce investičních výdajů existuje riziko, že nejnižší cena celého systému bude vyšší, než kdyby byly vozidla a infrastruktura soutěženy zvlášť. Toto riziko je však v úvodní fázi elektrifikace zpravidla vyváжено výše uvedenými přínosy.

b) Oddělené zadávání při rozšiřování systému elektrických autobusů

Hlavní předností odděleného soutěžení je možnost plně uplatnit působení tržních mechanismů zvlášť pro vozidla a zvlášť pro infrastrukturu. Další předností je menší pravděpodobnost právních průtahů ze strany neúspěšných uchazečů oproti projektu na klíč.

V tomto případě nelze zcela vyloučit problém integrace nových vozidel nebo nové infrastruktury do stávajícího dopravního systému. Jestliže je však systém již funkční, lze předpokládat, že odpovědnost bude na straně nového dodavatele. To snižuje pravděpodobnost výše zmíněného postavení dopravce do role arbitra mezi průmyslovými dodavateli.

Stejně jako v předchozím případě je třeba **klást maximální důraz na standardizaci používaných technologií**.

c) Kombinace obou přístupů

Kombinací obou přístupů jsou samostatné zakázky realizované souběžně, s povinností vítězů se následně koordinovat a spolupracovat při implementaci výsledného dopravního systému.

Tento přístup využívá výhod soutěžního procesu a zároveň profesních zkušeností jednotlivých dodavatelů a jejich odvětví. Je však velmi náročný na administrativu i na kvalifikaci a vzájemnou spolupráci profesně odlišných členů zadavatelského týmu. Obecně je doporučován zejména v případě **palivočládkových autobusů a jejich vodíkové infrastruktury**, kde je značná odvětvová, a tím i znalostní, odlišnost mezi dodavateli autobusů a dodavateli vodíkového hospodářství.

Jednoduché shrnutí výhodnosti těchto variant podle čtyř kritérií ukazuje obrázek č. 42. Toto shrnutí je pouze indikativní, vždy záleží na konkrétních podmínkách a okolnostech daného projektu. Střední hodnota u odolnosti vůči právním průtahům i v případě optimálních variant reflektuje praxi některých dodavatelů, kteří, jsou-li neúspěšní, působí problémy bez ohledu na opodstatněnost jejich námitek.

3. Kritéria pro výběr dodavatele

Součástí tohoto kroku je také stanovení základních kritérií pro výběr dodavatele.

Obecně se osvědčuje jako základní soutěžní kritéria stanovit **splnění funkčních požadavků zadání a cenu dodávky**.

Jako **doplňující provozně-technická kritéria** lze doporučit například následující:

- prokázání schopnosti dodat celkový systém (vozidlo-infrastruktura-inženýrské činnosti) dle podmínek zadání;
- přepravní kapacita elektrobusů;
- spotřeba energie trakční a netrakční;

Kritérium	Projekt na klíč při prvním zadávání	Oddělené zadávání při rozšiřování	Kombinovaný přístup (obecně)
Záruka provozní spolehlivosti systému vozidlo-infrastruktura	zelená	žlutá	zelená
Záruka ekonomické efektivity vybraného řešení	žlutá	zelená	zelená
Rychlost a administrativní náročnost zadávacího procesu	zelená	žlutá	červená
Předpokládaná odolnost zadávacího procesu vůči právním průtahům	žlutá	žlutá	žlutá

Význam barev: červená – zpravidla málo výhodná; žlutá – výhodná s výhradami nebo za určitých okolností; zelená – zpravidla výhodná

Obr. 42 Jednoduchý přehled způsobů zadávání projektu elektrických autobusů a jejich hodnocení

© Smartcityvpraxi.cz

- technologická úroveň souvisejícího řídicího systému pro nabíjení a diagnostiku vozidel.

Jako **doplňující finanční a obchodní kritéria** lze doporučit například následující:

- podmínky a cena dodávaného systému;
- termíny dodání;
- doba záruky na vozidla a nabíjecí stanice;
- podmínky a cena bateriového kontraktu;
- podmínky a cena full service (bude-li zvolen tento model jako nejvýhodnější);
- prokázání schopnosti zajistit potřebné vyškolení zaměstnanců dopravce.

Krok 11: Harmonogram realizace

Na základě předchozích kroků je pak třeba sestavit a odsouhlasit si se zadavatelem potřebný harmonogram realizace včetně načasování jednotlivých činností, jejich vzájemných vazeb a odpovědností.

Harmonogram realizace projektu **začíná přípravou výběrového řízení a končí uvedením dopravního systému vozidla – infrastruktura do rutinního provozu**.

#	Položka	délka realizace (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	VŘ + administrace dotace	6																			
2	Inženýring + stavební práce	18 - 30																			
3	Dodání dobíjecí infrastruktury	12																			
4	Dodání e-busů	12																			
5	Testování	1 - 2																			

#	Položka	délka realizace (m)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
1	VŘ + administrace dotace	6																			
2	Inženýring + stavební práce	18 - 30																			
3	Dodání dobíjecí infrastruktury	12																			
4	Dodání e-busů	12																			
5	Testování	1 - 2																			

Obr. 43 Příklad jednoduchého harmonogramu přípravy projektu průběžně dobíjených e-busů

© SmartPlan

Tento harmonogram zahrnuje následující skupiny činností:

- **výběrové řízení a administrace dotace** (obvykle cca 6 měsíců);
- **inženýring a stavební práce** (obvykle cca 18 – 30 měsíců);
- **dodání dobíjecí infrastruktury** (obvykle cca 12 měsíců);
- **dodání autobusů** (obvykle cca 12 měsíců);
- **testování a školení zaměstnanců** (obvykle cca 1 – 2 měsíce).

Pokud je realizace projektu ze strany dopravce nebo jeho vlastníků **podmíněna získáním dotace**, je třeba mít na paměti, že tento krok a délku jeho trvání nemá nositel projektu plně pod kontrolou. Je pak třeba stanovit také alternativní postup pro případ, že se vypsání příslušné dotační výzvy zpozdí nebo že žádost o dotaci nebude úspěšná.

Inženýring sestává především z

- tvorby kompletní projektové dokumentace;
- procesu vyjádření a povolení dotčených orgánů;
- stavebního/územního řízení;
- dalších administrativně věcných činností vedoucích k možnosti realizace projektu.

Paralelně s inženýringem a přípravnými pracemi může probíhat **výroba a dodání autobusů a infrastruktury** tak, aby byl

překryv jednotlivých fází harmonogramu co největší a docházelo tak k optimalizaci délky dodávky.

Důležitou součástí testování je **proškolení zaměstnanců dopravce** k obsluze vozidel a infrastruktury. Jeho úspěšnost může být **kritickou podmínkou úspěchu celého projektu elektrických autobusů**. Platí to pro každý koncept elektrických autobusů, zcela zásadní je to však u **palivočláňkových autobusů a souvisejícího vodíkového hospodářství**, s ohledem na celkovou novost této technologie.

Harmonogram je žádoucí sestavovat jako **realistický** včetně

- respektování potřebných lhůt vyplývajících ze zákona (například v souvislosti s vypsáním výběrového řízení nebo s trváním schvalovacích procesů);
- reálného odhadu vlastních možností zadavatele projektu a jeho projektového týmu;
- reálného odhadu fungování všech ostatních zainteresovaných osob (například vlastníků zadavatele), kteří jsou do projektu přímo či nepřímo zapojeni a na jejichž stanoviscích fakticky závisí postup jeho realizace.

Příklad jednoduše znázorněného harmonogramu realizace projektu průběžně dobíjených elektrobusů ukazuje obrázek č. 43.

Krok 12: Závěr přípravy

1. Obsah závěru přípravy

Souhrnem předchozích kroků je **výsledná zpráva o přípravě projektu** včetně všech souvisejících doporučení.

Na základě této zprávy jsou pak závěry projektové přípravy promítány do **konkrétní zadávací dokumentace** a dalších činností pro vlastní realizaci projektu.

Součástí přípravných prací předcházejících výběrovému řízení na dodavatele zpravidla bývají také **předběžné tržní konzultace**.

V neposlední řadě je třeba v dostatečném předstihu naplánovat a připravit odpovídající **kvalifikační strukturu personálu**, zejména pak v oblasti údržby pořízených vozidel a infrastruktury (viz kapitola 3.6).

2. Předběžné tržní konzultace

Obsahově se mohou předběžné tržní konzultace (PTK) podobat průzkumu dodavatelského trhu v kroku 3, mají však zásadní odlišnosti. Zatímco průzkum dodavatelského trhu teprve mapuje terén, aby stanovil základní vstupy do CBA a možnosti, které dodavatelský trh nabízí, pak předběžné tržní konzultace

- prověřují ochotu oslovených dodavatelů k realizaci konkrétního řešení, které v předchozích krocích vy-

plynulo z přípravy projektu;

- prověřují okolnosti a aspekty, které v době provádění průzkumu dodavatelského trhu nebyly známy.

V rámci předběžných tržních konzultací je prověřována například

- schopnost dodat požadovaná plnění v požadovaných termínech;
- schopnost a ochota garantovat požadované provozně technické parametry vozidel a infrastruktury;
- schopnost zajistit související servisní činnost;
- schopnost zajistit vyškolení zaměstnanců;
- schopnost dodavatele zajistit kromě dodání vlastních produktů také související inženýrskou činnost;
- schopnost a ochota předat konkrétní technickou dokumentaci;
- schopnost vyhovět konkrétním technickým požadavkům specifickým pro místo a způsob provozování elektrických autobusů a jejich nabíjecí infrastruktury;
- indikativní ceny konkrétního zvoleného řešení (nakolik je dodavatelé jsou ochotni poskytnout).

O výsledky předběžných tržních konzultací jsou pak doplněny a upřesněny zadávací podmínky výběrového řízení na dodavatele.

Na co nezapomenout

Úspěch a udržitelnost projektu elektrických autobusů závisí na jeho kvalitní přípravě ve všech krocích.

Průběžná komunikace s dodavatelským trhem zabrání nerealistickým nebo naopak málo ambiciózním požadavkům zadavatele.

Důkladná znalost místního prostředí a uvažovaných technologií včas koriguje příliš optimistická očekávání nebo neadekvátní přenášení cizích zkušeností.

Kvalitní a přesvědčivé finanční a socioekonomické hodnocení projektu pomůže vybrat optimální způsob pořízení a provozování a zároveň obhájí nároky projektu při rozhodování o realizaci i do budoucna.

Vozidla a infrastrukturu lze zadávat zvlášť nebo dohromady jako projekt na klíč. Vždy je přitom žádoucí používat standardizovaná řešení a zároveň nepřipustit, aby byl dopravce arbitrem mezi dodavateli dílčích částí systému vozidlo-infrastruktura.

Při plánování je třeba nezapomínat na podpůrné činnosti při vlastní realizaci projektu, zahrnuté pod jeho inženýringem.

Je třeba předem naplánovat a připravit potřebnou kvalifikaci personálu. Důkladné proškolení zapojeného personálu je také důležitou podmínkou úspěchu v realizační fázi projektu.

Harmonogram projektu musí být realistický, jinak ve výsledku projektu uškodí.

5. Závěrem

5.1 Investiční a vývojové projekty elektrických autobusů

Tento Průvodce je zaměřen na **investiční projekty elektrických autobusů**. Jejich konečným cílem je **rutinní provoz** pořízených vozidel a infrastruktury, přičemž zadavatel má povinnost zaplatit cenu dodaného majetku a služeb a zároveň právo požadovat jeho maximální reálně dosažitelnou spolehlivost. Tento předpoklad přitom platí i v situaci, kdy jsou do provozu nasazovány inovativní technologie.

Naproti tomu v případě **vývojových či demonstračních projektů** jsou technologie teprve testovány a dopravce se svým linkovým provozem slouží pro tento účel jako „živá laboratoř“.

I do těchto projektů se může dopravce zapojit. Zcela jistě půjde o **získání zkušeností**, které bude možno využít v budoucnosti u investičních projektů používajících testované nebo jim podobné technologie. Je však třeba je **důkladně odlišovat od projektů investičních postránců provozně-technické i finanční**.

Po stránce provozně-technické od nich nelze očekávat plnou provozní dostupnost nasazených vozidel a infrastruktury – ta není jejich primárním cílem. **V tomto duchu je pak třeba takovýto projekt průběžně komunikovat na veřejnosti**, aby nedošlo k nedorozuměním s negativními dopady na elektrické autobusy jako takové.

Po stránce finanční je třeba ohlídat, aby dopravce neuložil do projektu více, než odpovídá reálnému přínosu projektu. Zpravidla to bývá zapojení vlastního řidiče a pokrytí nákladů na spotřebovanou energii spolu s dalšími činnostmi souvisejícími s nasazením testovaných elektrických au-

tobusů do linkového provozu.

Další náklady by měly být kryty z prostředků průmyslu nebo k tomu určenými dotacemi, jejichž zdroje jsou většinou odlišné zdrojů spolufinancování investičních projektů popsaných v tomto Průvodci.

5.2 Co dále pro úspěšný projekt elektrických autobusů

Technologie, financování, obchodní modely a provozní zkušenosti s projekty elektrických autobusů se průběžně mění a vyvíjejí. Tento Průvodce zachycuje stav poznání v době svého zpracování, tedy v prvních měsících roku 2022.

Pro zadavatele a účastníky projektu je užitečné průběžně sledovat nové informace, ať už prostřednictvím **sdílení zkušeností s ostatními dopravci nebo k tomu určených informačních zdrojů**. K nim kromě mediálních partnerů tohoto průvodce (viz v partnerské sekci) patří zejména portál www.fuelcellbuses.eu s bází znalostí z oboru palivočlánkových autobusů a jejich vodíkového hospodářství.

Další aktuální užitečné informace mohou přinést internetové stránky průmyslových dodavatelů nebo mediálních partnerů tohoto Průvodce.

Ke spolufinancování z evropských zdrojů je třeba průběžně sledovat internetové stránky programu IROP: www.irop.mmr.cz a později i Modernizačního fondu v gesci Státního fondu životního prostředí ČR: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/>

V neposlední řadě rádi přispějí k úspěšné realizaci projektů elektrických autobusů i autoři tohoto Průvodce v roli poradců zadavatele nebo dodavatelů jiných souvisejících odborných služeb.

Na co nezapomenout

Investiční a vývojové projekty jsou zásadně odlišné co do cíle, způsobu zapojení dopravce a zdrojů financování. To je třeba jasně odlišit a komunikovat, aby nedošlo k nedorozuměním. Prostředí elektrických autobusů se neustále rychle vyvíjí a tento vývoj je třeba sledovat.

Elektrobusy v Berlíně: příběh o mediálním neporozumění rozdílu mezi investičním a výzkumným projektem (s happyendem)

V únoru 2016 se objevil v berlínských novinách článek hlásající doslova, že „berlínské elektrobusy koktají do budoucnosti“.

Ke konci roku 2021 měl berlínský dopravce BVG téměř 150 elektrobusů standardních i kloubových. Většina elektrobusů je délky 12 m „noční“ koncepce s dobíjením v garážích. 17 kloubových elektrobusů je průběžně dobíjeno z infrastruktury standardu OppCharge, tedy reverzním pantografem podle normy EN 50696 a SAE J3105/1.

Do roku 2030 by mělo všech cca 1500 městských autobusů v Berlíně mít elektrický pohon.

Kde se tedy vzalo ono nelichotivé „koktání“ berlínských elektrobusů v roce 2016?

V té době probíhal v Berlíně projekt čtyř elektrobusů dobíjených indukčně bezdrátovou technologií. Kdy přenos nabíjecí energie probíhá mezi cívkami na vozidle a pod povrchem vozovky (viz foto). Projekt byl spolufinancován z rozpočtu Spolkového ministerstva dopravy a digitální infrastruktury a jasně deklarován jako „výzkumný projekt s vyzkoušením v reálných podmínkách“. Navzdory tomu vnímala berlínská média tyto elektrobusy jednoduše jako dopravní prostředek a pozastavovala se nad tím, že mají v průměru zhruba čtyřicetiprocentní dostupnost.



Je ale pochopitelné, že u projektu tohoto typu nelze očekávat dostupnost srovnatelnou s klasickým investičním projektem, kdy se pořídí a nasadí v provozu již hotová a odzkoušená technologie. Jeho smysl je jiný – vyzkoušet fungování zařízení a technických koncepcí vyvíjených a do provozu teprve uváděných. Bylo tedy jen přirozené, že po nějakém čase provozu byly indukčně dobíjené elektrobusy stahovány z linky na dny či týdny, kdy bylo zkoumáno jejich vybavení a vyhodnocován jejich provoz.

V tomto konkrétním případě bylo výsledkem projektu poznání, že rozvoj průběžně dobíjených elektrobusů má perspektivu, ovšem indukční dobíjení je příliš komplikované na údržbu – je tedy technicky možné, ale pro běžný provoz autobusů nepraktické, zvláště u velkých parků vozidel. Další rozvoj systému průběžně dobíjených elektrobusů v Berlíně proto pokračoval, avšak probíhal s využitím uzemněného vodivého dobíjení celosvětově zavedeným standardem OppCharge. Projekt tedy v tomto směru splnil svůj účel.

Na vině mediálního nedorozumění mohla být neobratná komunikace projektu i senzacitvost všeobecných médií. Elektrobusy pak měly na čas problém s publicitou, který měl ohlasy i v ČR.

Je užitečné si tento případ vzít jako poučení o nutnosti vhodně volené komunikace u vývojových či podobně zaměřených projektů, a nemusí jít zdaleka jen o projekty elektrických autobusů. Toto nedorozumění naštěstí nezabránilo zdravému přirozenému vývoji věcí.

(Foto © Solarisbus.com)

Seznam zkratek

AC střídavý proud
 API rozhraní pro programování aplikací (application programming interface)
 BRT rychlá autobusová linka na oddělené jízdni dráze (bus rapid transit)
 BVG Berliner Verkehrsbetriebe
 CCS kombinovaný nabíjecí systém (combined charging system)
 CF peněžní tok (cash flow)
 CNG stlačený zemní plyn
 CO₂ oxid uhličitý
 DC stejnosměrný proud
 DKE Německá komise pro standardizaci v elektrotechnice
 DMS systém řízení v autobusových garážích (depot management system)
 DPO Dopravní podnik Ostrava
 ENPV ekonomická (socioekonomická) čistá současná hodnota
 ERR vnitřní výnosové procento (ekonomické)
 ERÚ Energetický regulační úřad
 ESCO poskytovatel energetických služeb (energy service company)
 FRR vnitřní výnosové procento (finanční)
 FVE fotovoltaická elektrárna
 HZS ČR Hasičský záchranný sbor ČR
 ICT informační a komunikační technologie
 IROP Integrovaný regionální operační program
 IT informační technologie
 Li-Pol lithium-polymer (baterie)
 LTO lithium-titanát (baterie)
 MD ČR Ministerstvo dopravy ČR
 MF Modernizační fond
 MF ČR Ministerstvo financí ČR
 MHD městská hromadná doprava
 MMR ČR Ministerstvo pro místní rozvoj ČR
 MPO ČR Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
 MV – GŘ HSZ ČR Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR
 NMC lithium-nikl-mangan-kobalt oxid (baterie)
 NOx oxidy dusíku

NPV čistá současná hodnota (finanční)

OICT Operátor ICT

PEM protonvýměnná membrána (palivového článku nebo elektrolyzéro)

PM₁₀, PM_{2,5} polétavý prach – pevné částice do velikosti 10, resp. 2,5 mikrometrů (particulate matter)

PO programové období

ROA rentabilita aktiv

SFDI Státní fond dopravní infrastruktury

SFŽP Státní fond životního prostředí

SO₂ oxid siřičitý

TCO celkový náklad na vlastnictví (total cost of ownership)

TRL úroveň připravenosti technologie (technology readiness level)

VŘ výběrové řízení

Poznámka: Dokument obsahuje i některé další zkratky, všeobecně známé nebo vysvětlené přímo v textu.

Seznam informačních zdrojů

Dokumenty

- [1] BARTŁOMIEJCZYK M., KOŁACZ R., The reduction of auxiliaries power demand: The challenge for electromobility in public transportation. Journal of Cleaner Production, Volume 252, 10 April 2020, 119776
- [2] CIVITAS Policy Note. Smart choices for cities – Clean buses for your city, 2015
- [3] DOPRAVNÍ PODNIK OSTRAVA. Definování projektu průběžně dobíjených elektrobusů. Analýza a zhodnocení možností. Studie. Pro DPO zpracoval Ing. Jakub Slavík, MBA, 2016
- [4] ERÚ. Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky za rok 2020
- [5] EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Regional and Urban policy. Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020, European Union 2014
- [6] MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR. Metodika Smart Cities – Metodika pro přípravu a realizaci konceptu Smart Cities na úrovni měst, obcí a regionů, MMR ČR, únor 2019
- [7] OPERÁTOR ICT. Čtyřpólové dobíjení elektrobusů, Technicko-věcná specifikace, Fáze 1.a - autobusová linka 134. Pro OICT zpracoval SmartPlan, Praha 2021
- [8] SDRUŽENÍ DOPRAVNÍCH PODNIKŮ ČR. E-mobilita v MHD. Situace a vývojové trendy v elektrických autobusech pro městskou dopravu. Studie. Pro SDP ČR zpracoval Ing. Jakub Slavík, MBA – Consulting Services, 2013
- [9] SLAVÍK, J. Smart city v praxi. Praha: Profi Press 2017 ISBN 978-80-86726-80-9
- [10] STÁTNÍ FOND DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY. Rezortní metodika pro hodnocení ekonomické efektivity projektů dopravních staveb. Pro SFDI zpracoval kolektiv autorů, Praha 2018

Internetové zdroje

Internetová média: portály www.proelektrotechniky.cz, www.smartcityvpraxi.cz, www.fuelcellbuses.eu, <https://oenergetice.cz/>, www.krizoport.cz, www.busportal.cz, www.sustainable-bus.com/ a www.tzb-info.cz; internetová verze Berliner Zeitung a z ní citující zdroje

Internetové stránky BVG, ERÚ, HZS ČR, KODIS, MD ČR, MMR ČR, MPO ČR, Pražské integrované dopravy a SFŽP

Internetové publikace právních a technických norem ČR, EU a USA nebo popis těchto norem

Tiskové zprávy, produktové informace a e-mailová korespondence od partnerů publikace a výrobců Alstom, Ballard Power Systems, IPT Technology, Solaris Bus & Coach, Stäubli, Webasto Fahrzeugtechnik a ZF Friedrichshafen

Další zdroje

Statistické informace zpracované firmou Chatrou CME Solutions

Archiv zpracovatelů a partnerů publikace

Ostatní zdroje uvedené u obrazového materiálu nebo v poznámkách pod čarou

Upozornění k internetovým odkazům v textu

Odkazy na konkrétní dokumenty ke stažení a další informační zdroje uvedené v textu Průvodce jsou plně funkční v době jeho redakční uzávěrky. Redakce neručí za jejich další funkčnost a obsah po uzávěrce.



Elektrické autobusy efektivně

Průvodce přípravou udržitelného projektu elektrických autobusů s nezávislým zdrojem energie

© Ing. Jakub Slavík, MBA – Consulting Services, 2022