



Koncepce čistých pohonů MHD v Brně

Východiska a technologie

květen 2025

Tato stránka byla záměrně ponechána prázdná.

Mott MacDonald CZ, spol. s
r.o.
Šumavská 525/33
Budova A
Brno - Veveří
602 00
Česká republika

mottmac.com

Statutární město Brno
Dominikánské nám. 196/1
602 00 Brno

Koncepce čistých pohonů MHD v Brně

Východiska a technologie

květen 2025

Záznam o vydání a revizi

Revize	Datum	Autor	Registrace	Schvalovatel	Popis
A	07/24	DŠe, TLi, JDy, EHu	OŠa	OKo	Draft bez kapitoly 9
B	10/24	DŠe, TLi, JDy, EHu	OŠa	OKo	Final draft
C	11/24	DŠe	OŠa	OKo	Final
D	05/25	DŠe	OŠa	OKo	Final – doplněná kapitola 6.5

Odkaz v dokumentu: 211 100 053 | 1 | D |

Tento dokument je vydán pro stranu, která si jej objednala a pouze pro specifické účely spojené s výše uvedeným projektem. Nesmí být využíván jinou stranou ani k jinému účelu.

Nepřijímáme žádnou odpovědnost za důsledky používání tohoto dokumentu jinou stranou nebo jeho používání k jinému účelu. Nepřijímáme žádnou odpovědnost za jakékoli chyby nebo opomenutí způsobená chybami nebo opomenutími v datech, které nám dodaly jiné strany.

Tento dokument obsahuje důvěrné informace a proprietární duševní vlastnictví. Bez našeho svolení a svolení strany, která si jej objednala, nesmí být poskytnut jiným stranám.

Obsah

Shrnutí pro vedoucí pracovníky	1
1 Strategické dokumenty státu	3
1.1 Východiska evropské legislativy	3
1.1.1 Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal)	3
1.1.2 Fit for 55	3
1.2 Státní energetická koncepce ČR	5
1.3 Dopravní politika ČR pro období 2021–2027 s výhledem do roku 2050	6
1.3.1 Východiska a vize	6
1.3.2 Cíle dopravní politiky	7
1.3.3 Dlouhodobý výhled	7
1.4 Politika ochrany klimatu v České republice	7
1.4.1 Cíle Politiky ochrany klimatu v České republice	8
1.4.2 Opatření	8
2 Zákon o podpoře nízkoemisních vozidel	9
2.1 Evropská směrnice 2009/33/ES Clean Vehicle Directive	9
2.2 Zákon č. 360/2022 Sb., o podpoře nízkoemisních vozidel prostřednictvím zadávání veřejných zakázek a veřejných služeb v přepravě cestujících	10
2.3 Další související dokumenty	10
2.3.1 Národní akční plán čisté mobility	11
2.3.2 Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu do roku 2030	11
3 Dotační podpora	12
3.1 Operační programy EU	12
3.1.1 Operační program Doprava	12
3.1.2 Integrovaný regionální operační program	13
3.1.3 Modernizační fond	15
3.2 Národní programy a opatření na úrovni ČR	15
3.2.1 Národní plán obnovy	15
3.2.2 Další možnosti pokrytí zvýšených nákladů	16
4 Strategické cíle města Brna	17
4.1 Vize a strategie Brno 2050 (2017)	17
4.2 Akční plán k územní energetické koncepci Statutárního města Brna (2019)	18
4.3 Akční plán udržitelné energetiky a klimatu (2019)	19
4.4 Akční plán zlepšování kvality ovzduší Statutárního města Brna (2017)	19
4.5 Plán udržitelné městské mobility města Brna (2014)	20

5	Dlouhodobá koncepce MHD v Brně	22
5.1	Plán dopravní obsluhy Statutárního města Brna pro roky 2025–2039 (2023)	22
6	Bezemisní technologie pohonu	24
6.1	Konvenční trolejbusy	24
6.1.1	Trolejbusy v České republice	25
6.1.2	Trolejbusy ve světě	26
6.2	Parciální trolejbusy	27
6.2.1	Parciální trolejbusy v České republice	29
6.2.2	Parciální trolejbusy v zahraničí	32
6.3	Elektrické autobusy	34
6.3.1	Elektrobusy v České republice	36
6.3.2	Elektrobusy v zahraničí	38
6.4	Vodíkové autobusy	39
6.4.1	Projekt JIVE 2	40
6.4.2	Nasazení vodíkových autobusů v běžném provozu v zahraničí	40
6.4.3	Zkušenosti s vodíkovým pohonem v České republice	41
6.4.4	Shrnutí zkušeností s provozem vodíkových autobusů	43
6.5	Lanové dráhy	44
6.5.1	Technologie lanovek	44
6.5.2	Souhrn zkušeností s provozem lanovek	45
7	Nízkoemisní technologie pohonu	46
7.1	Paliva na bázi metanu	46
7.1.1	CNG	46
7.1.2	Bio-CNG	48
7.1.3	LNG	48
7.2	Palivo na bázi ropných produktů	48
7.3	Syntetická nafta	49
7.4	Hybridní pohony	50
8	Technologie nabíjení a plnění vozidel	52
8.1	Dynamické nabíjení	52
8.2	Statické nabíjení	54
8.2.1	Statické nabíjení – dvoupólové	54
8.2.2	Statické nabíjení – čtyřpólové	55
8.2.3	Statické nabíjení – kabelové	57
8.3	Vodíkové plnicí stanice	58
8.4	Plnicí stanice na bioplyn	60
9	Případové studie ve Švýcarsku	61
9.1	Úvodní přehled	61
9.2	Případová studie Curych	62

9.3	Případová studie Winterthur	65
9.4	Případová studie Lucern	66
9.5	Případová studie Bern	69
9.6	Další příklady parciálních trolejbusů	72
9.6.1	Biel/Bienne	72
9.6.2	Fribourg	72
9.6.3	Ženeva	72
9.6.4	La Chaux de Fonds	73
9.6.5	Lausanne	73
9.6.6	Montreux Vevey	73
9.6.7	Neuchâtel	73
9.6.8	St. Gallen	74
9.6.9	Schaffhausen	74
9.7	Souhrn kapitoly	75
10	Srovnávací studie v České republice	77
10.1	Konvenční trolejbusy	77
10.2	Parciální trolejbusy	79
10.3	Elektrické autobusy	82
10.4	Závěry pro Brno	84
11	Seznam zkratk	85

Tabulky

Tabulka 3.1: Finanční prostředky proplacené z OPD na schválené projekty	12
Tabulka 3.2: Výzvy IROP k vhodné k financování udržitelné městské mobility na území města Brna v roce 2024	14
Tabulka 3.3: Naplnění alokace výzev IROP	14
Tabulka 4.1: #Brno 2050, Strategie, Prostředí, Město s efektivní a udržitelnou mobilitou, přehled dílčích cílů, priorit a opatření. Zodpovědnost za plnění má mimo jiných OD MMB a DPMB a.s.	17
Tabulka 4.2: Operativní opatření v oblasti 9	19
Tabulka 4.3: Cíle dle vybraných oblastí	20
Tabulka 5.1: Přehled náplně Plánu dopravní obsluhy Statutárního města Brna pro roky 2025-2039	23
Tabulka 7.1: Průměrné roční ceny CNG a motorové nafty na veřejných stanicích	47
Tabulka 7.2: Přímé srovnání pohonu na motorovou naftu a CNG u stejného typu vozidla	47
Tabulka 9.1: Švýcarské trolejbusové sítě	61
Tabulka 9.2: Tabulka údajů pro linku 83 v Curychu	64
Tabulka 9.3: Tabulka údajů pro linky 5 a 7 ve Winterthuru	66
Tabulka 9.4: Tabulka údajů pro trolejbusové linky 3, 4, 8 a 30 v Luzernu	69
Tabulka 9.5: Tabulka údajů pro linku 10 v Bernu	71

Tabulka 10.1: Konvenční trolejbusy sólo	78
Tabulka 10.2: Konvenční trolejbusy kloubové	78
Tabulka 10.3: Parciální trolejbusy sólo	80
Tabulka 10.4: Parciální trolejbusy kloubové	81
Tabulka 10.5: Elektrické autobusy sólo	83

Obrázky

Obrázek 1.1: Obecná opatření v rámci balíčku Fit for 55	5
Obrázek 1.2: Vývoj dekarbonizace energetického mixu v % vč. min – max rozptylu.	6
Obrázek 2.1: Minimální podíly nízkoemisních a bezemisních vozidel ve veřejné dopravě	9
Obrázek 2.2: Hybridní autobusy IVECO URBANWAY HYBRID v Praze	10
Obrázek 3.1: Prodloužení trolejbusové tratě v Pardubicích spolufinancované z OPD	13
Obrázek 3.2: Trolejbus spolufinancovaný prostřednictvím IROP v Jihlavě	14
Obrázek 3.3: Typy investic způsobilé pro spolufinancování z Národního plánu obnovy	16
Obrázek 6.1: Konvenční trolejbus Škoda 27Tr v Brně na Merhautově	24
Obrázek 6.2: Poválečný vozový park trolejbusů v Praze	26
Obrázek 6.3: Trolejbusové systémy ve světě v roce 2021	27
Obrázek 6.4: Testování bateriových trolejbusů v Plzni	28
Obrázek 6.5: Parciální trolejbus Škoda 26Tr v provozu DPMB	30
Obrázek 6.6: Testovací provoz tříčlánekového trolejbusu Škoda-Solaris 24M na první novodobé pražské trolejbusové trati z Palmovky do Čakovic (prosinec 2023)	31
Obrázek 6.7: Brněnský parciální trolejbus Škoda 32Tr na lince 30 v Soběšicích	32
Obrázek 6.8: Parciální trolejbus Solaris Trollino 18 pro Bergen	33
Obrázek 6.9: Plánovaný podíl jednotlivých typů pohonů vozidel na místových kilometrech v Zürichu	34
Obrázek 6.10: Elektrobus SOR NS 12 electric v Hradci Králové	37
Obrázek 6.11: Elektrobus Škoda-Solaris v centru Českých Budějovic	37
Obrázek 6.12: Kloubový elektrobus MAN v Hamburku, Německo	39
Obrázek 6.13: Vodíkový autobus Solaris v průběhu testování před nasazením v Duisburgu	41
Obrázek 6.14: Vodíkový autobus Škoda H-CITYve zkušebním provozu na lince 170 v Praze	42
Obrázek 6.15: Lanová dráha v Londýně	45
Obrázek 7.1: Hybridní autobusy Iveco Urbanway Hybrid 18M v Praze	51
Obrázek 8.1: Stanoviště pro připojení trolejbusu se stříškou na troleji, Praha Palmovka	53
Obrázek 8.2: Dvoupólové nabíjení elektrického midibusu	55
Obrázek 8.3: Příklad čtyřpólového nabíjení systémem Schunk	56
Obrázek 8.4: Příklad čtyřpólového nabíjení systémem OppCharge	56
Obrázek 8.5: Statické nabíjení kabelem v depu	58
Obrázek 8.6: Vodíková čerpací stanice v Praze na Barrandově	59
Obrázek 8.7: Mobilní plnící stanice vodíku, Salzgitter, Německo	60
Obrázek 9.1: Curyšská trasa 83	62
Obrázek 9.2: Curych: Automatické přepojovací zařízení pro zvedání sběračů na lince 83	63

Obrázek 9.3: Trolejbus na lince 83 na náměstí Albisriederplatz	63
Obrázek 9.4: Situace, Winterthur	65
Obrázek 9.5: Elektrifikace autobusové linky 12	67
Obrázek 9.6: Lucern – návrhy trolejbusových linek	67
Obrázek 9.7: Luzern Hess lightram 25DC	68
Obrázek 9.8: Trolejbus v bateriovém režimu v centru Bernu	70
Obrázek 9.9: Bern – budoucí trolejbusová linka 10	71
Obrázek 9.10: Fribourg: lightram 19DC v provozu	72
Obrázek 9.11: Trasa Lausanne 1	73
Obrázek 9.12: Trolejbus IMC na trase 6 v St. Gallenu	74
Obrázek 9.13: Trolejbus v Schaffhausenu na nádraží v bateriovém režimu	75
Obrázek 9.14: Strategie trolejbusů v Schaffhausenu	75

Shrnutí pro vedoucí pracovníky

Část Východiska a technologie poskytuje klíčové informace a směrnice, které slouží jako základ pro návrhovou část Koncepce čistých pohonů MHD v Brně.

V rámci části Východiska kapitoly popisují především tyto okruhy dokumentů, vizí a politik:

- Strategické dokumenty státu s vazbou na čisté pohony v MHD;
- Dotační podpora státu a fondů Evropské unie;
- Zákon o podpoře nízkoemisních vozidel prostřednictvím zadávání veřejných zakázek a veřejných služeb v přepravě cestujících (Clean Vehicle Directive);
- Strategické cíle Brna v oblasti udržitelné mobility, životního prostředí a klimatu;
- Dlouhodobá koncepce rozvoje MHD v Brně s vazbou na Jihomoravský kraj.

Část Technologie se zabývá především zkušenostmi jiných dopravců z ČR i zahraničí s provozem čistých (bezemisních) vozidel a spolehlivostí nabíjecí infrastruktury. Pozornost je zaměřena především na klasické i parciální trolejbusy, elektrobusy a vodíkové autobusy. V navazujících návrhových částech koncepce budou z těchto typů pohonů tvořeny vhodné kombinace pro obnovu vozového parku a provoz vybraných linek MHD tak, aby bylo možné vyhodnotit jejich environmentální, sociální a ekonomické dopady a zvolit nejvhodnější scénář:

- Trolejbusový scénář – bude sestaven tak, aby 60% podíl bezemisních a nízkoemisních vozidel v obnově vozového parku po roce 2025 bylo možné splnit čistě jen pořízením trolejbusů – konvenčních a parciálních, přičemž zbývajících 40% podíl obnovy bude možné zajistit jakýmkoliv druhem pohonu.
- Kombinovaný scénář – totožný 60% podíl bezemisních a nízkoemisních vozidel v obnově vozového parku bude naplněn kombinací trolejbusů (konvenčních i parciálních) a elektrobusů podle charakteru linek; zbývajících 40% podíl obnovy bude možné zajistit jakýmkoliv druhem pohonu.
- Maximální scénář – bude sestaven tak, aby zcela vyloučil nákup vozidel produkujících emise, tj. v obnově vozového parku bude uvažováno pouze s kombinací všech relevantních čistých pohonů – trolejbusů, elektrobusů a vodíkových autobusů.

Jak je patrné z definic scénářů, koncepce se obejde bez pořízení částečně čistých (nízkoemisních) pohonů (vyjma tzv. scénáře bez projektu, který reflektuje legislativní minimum). Pro úplnost je však v části Technologie k dispozici také přehled částečně čistých pohonů, kam spadají jak současně používané autobusy na CNG (resp. bio-CNG), tak i hybridní vozidla poháněná vznětovým motorem v kombinaci s elektromotorem.

Závěrem tohoto dokumentu je doporučení pro další rozvoj čistých pohonů v Brně:

- Preferovat v nákupu vozidla, která lze nabíjet pomocí **dvoupólové technologie**, využívající současné napájení z tramvajových a trolejbusových měničů. Použití nabíjení přímo z troleje se stejnosměrným proudem o napětí 600 V se pro Brno jeví jako výhodné s ohledem na rozsáhlou tramvajovou a trolejbusovou síť a k ní náležející energetická zařízení.
- Pracovat s **parciálními trolejbusy** s obvyklými hodnotami dojezdu do 12 kilometrů, kde poměr vzdáleností ujetých s/bez možností průběžného nabíjení dosahuje 50:50, avšak současně je k dispozici časový interval alespoň 60:40 ve prospěch času s nabíjením vozidla při jízdě nebo při stání na konečných zastávkách. Parciální trolejbusy jsou vhodné také pro dlouhé, sklonově náročné a zatížené linky, za dodržení podmínek dynamického nabíjení.
- Při vyšších požadavcích na autonomní jízdu v trasách, kde se nevyplatí výstavba trolejového vedení, pracovat s **elektrickými autobusy**. Alespoň na jedné konečné zastávce je vhodné

nabíjet vozidlo při každém obratu na lince, alespoň v délce 20–30 minut při dvoupólovém nabíjení. Proto jsou taková vozidla vhodná především pro méně frekventované linky, často s charakterem napájecích linek pro páteřní síť MHD (tramvaje, trolejbusy).

- Rozšiřovat **síť trakčního trolejbusového vedení** v úsecích, kde je společně vedeno několik elektrifikovaných linek, případně ve dlouhém stoupání, kde by docházelo k velkým odběrům z trakční baterie. Preferovat jednoduché technické řešení tohoto vedení, bez křížovatkových a výhybkových armatur, které jsou investičně i údržbově náročné. Využít k průběžnému nabíjení vozidel také současné manipulační trolejbusové tratě.
- Zřizovat **statické nabíjení vozidel** na konečných zastávkách, které jinak nejsou součástí trolejbusové sítě. Pro elektrické autobusy je takové řešení zásadní při hledání kompromisu mezi dojezdem a velikostí baterie, pro parciální trolejbusy jde spíše o doplňkové opatření při delší době stání na konečných zastávkách.
- Vyžadovat **životnost vozidla** minimálně na úrovni 15 let, s garancí životnosti trakční baterie v polovině životního cyklu vozidla, tedy 7–8 let. Pro elektrobusy je obměna bateriové sady zásadní, pro parciální trolejbusy existuje alternativa ve změně jejich provozního využití směrem ke konvenčním trolejbusům s nouzovým využitím trakční baterie.

1 Strategické dokumenty státu

Tato kapitola pojednává o hlavních cílech a opatřeních definovaných v základních strategických dokumentech věnující se oblasti energetiky, ochrany klimatu a dopravy. Tyto tři oblasti jsou velmi úzce provázané a navzájem se ovlivňují. Dopravní sektor tvoří jeden z hlavních sektorů konečné spotřeby v energetické bilanci a zároveň významným podílem přispívá k produkci znečišťujících látek a skleníkových plynů.

Česká republika se jakožto jeden z členů Evropské unie řídí jednotlivými politickými cíli vycházejícími ze společných politických cílů Evropské unie. Tyto politické cíle jsou tvořeny společně a následně schvalovány všemi státy Evropské unie a zahrnují různé oblasti, mimo jiné oblasti energetiky, dopravy i ochrany životního prostředí. Základní východiska pro tvorbu národních strategických dokumentů tedy vychází ze společných cílů Evropské unie. Tato východiska jsou pak následně postupně zapracována do národních strategických dokumentů a právních předpisů. Mezi základní strategické dokumenty tvořící „jízdní řád“ v oblasti energetiky, ochrany klimatu a dopravy patří následující tři dokumenty:

- Státní energetická koncepce;
- Dopravní politika;
- Politika ochrany klimatu.

Na tyto dokumenty dále navazují koncepční dokumenty, které podrobněji určují, jakými opatřeními a nástroji budou cíle definované ve strategických dokumentech dosaženy. Mezi hlavní dokumenty týkající se oblasti životního prostředí a energetiky patří Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu.

1.1 Východiska evropské legislativy

1.1.1 Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal)

Zelená dohoda pro Evropu je širší strategie Evropské unie (dále jen EU) k dosažení klimatické neboli uhlíkové neutrality do roku 2050. Tato dohoda byla předložena v roce 2020 a následně schválena všemi členskými státy EU. V červnu 2021 byl následně schválen tzv. evropský právní rámec pro klima, který cíle definované v zelené dohodě pro Evropu uvádí v platnost, a tvoří je právně závaznými. Jedním z cílů tohoto zákona je i střednědobý cíl, který EU zavazuje ke snížení emisí skleníkových plynů o 55 % do roku 2030 oproti roku 1990.

Pro cestu k jeho dosažení byl vytvořen a schválen balíček opatření pod názvem Fit for 55.

1.1.2 Fit for 55

Výše zmíněný balíček opatření nazvaný Fit for 55 byl vytvořen v roce 2021 a zahrnuje návrhy revizí a aktualizací klíčových právních předpisů sloužících k dosažení deklarovaných cílů snížit do roku 2030 celkové emise alespoň o 55 % oproti roku 1990 a dosáhnout uhlíkové neutrality Evropské unie do roku 2050.

V obecné rovině tvoří balíček Fit for 55 tři jednotlivé pilíře:

1. Revize a rozšíření **tržních mechanismů**;
2. Revize **cílů a regulací**;
3. Rozšíření **podpůrných opatření**.

Tržní mechanismy

Hlavní náplní opatření týkajících se tržních mechanismů je a úprava a rozšíření evropského systému obchodování s emisními povolenkami, tzv. The EU Emissions Trading System (dále jen EU ETS). Mezi hlavní opatření v rámci balíčku Fit for 55 lze zařadit rozšíření povolenek v rámci stávajícího systému EU ETS, konkrétně rozšíření povolenek v oblasti letecké dopravy.

Druhým důležitým opatřením v balíčku Fit for 55 je rozšíření emisních povolenek o nová odvětví, a to silniční dopravu a budovy. Pro tyto odvětví bude vytvořen nový systém emisních povolenek a je nazýván zkráceně ETS2.

Třetí opatření je vztaženo k výnosům z povolenek, kdy členské státy budou povinny použít výnosy z emisních povolenek pouze na opatření související se změnou klimatu.

Cíle a regulace

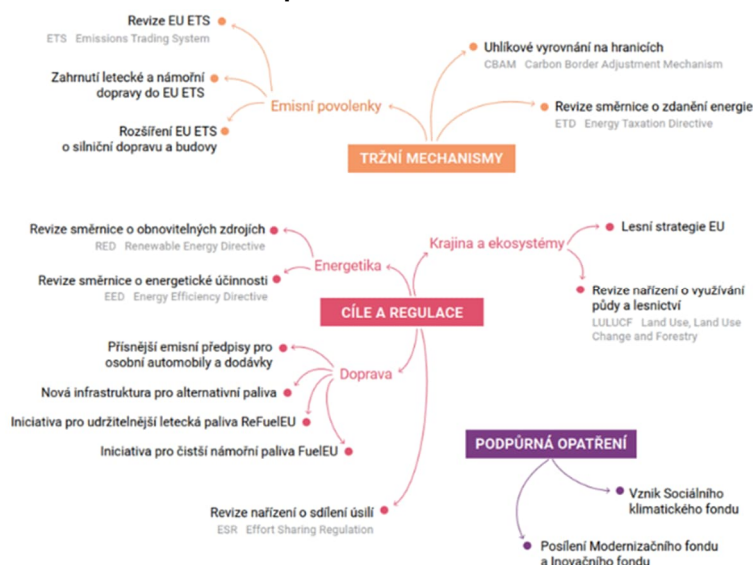
Mezi hlavní opatření zahrnující úpravu stávajících cílů a regulací patří revize stávajících směrnic, zejména směrnice o obnovitelných zdrojích energie. V rámci této směrnice je navrženo navýšení požadovaného podílu obnovitelných zdrojů na výrobě energie na 40 % do roku 2030 a směrnice o energetické účinnosti, která definuje nový cíl snížit spotřebu primární energie oproti očekávaným hodnotám v roce 2030 na 39 %. Mezi návrhy vztahujícími se k dopravnímu sektoru je v rámci opatření navrženo zpřísnění emisních předpisů pro osobní automobily a dodávky, budování nové infrastruktury pro alternativní paliva a iniciativy pro udržitelnější letecká paliva a čistší námořní paliva.

Podpůrná opatření

V rámci podpůrných opatření je v balíčku navržen vznik nového Sociálního klimatického fondu, jenž bude zaměřen na kompenzaci dopadů transformace hospodářství pro zranitelné domácnosti, mikropodniky a uživatele dopravy. Část příjmů fondu bude tvořena výnosy z obchodování s emisními povolenkami a část budou tvořit příspěvky členských zemí. Solidarita je namířena i směrem k zemím s vyšší závislostí na fosilních palivech a nižším HDP, pro které budou k dispozici prostředky z posíleného Modernizačního a Inovačního fondu.

Mezi hlavní cíle balíčku Fit for 55, které zahrnují dopravní sektor, je deklarovaný cíl snížit celkové emise na úrovni EU v ekonomických odvětvích, které nejsou zahrnuty do EU ETS, o 40 % do roku 2030 oproti roku 2005. Výše popsání opatření a pilíře balíčku Fit for 55 jsou názorně zobrazena v následujícím obrázku.

Obrázek 1.1: Obecná opatření v rámci balíčku Fit for 55



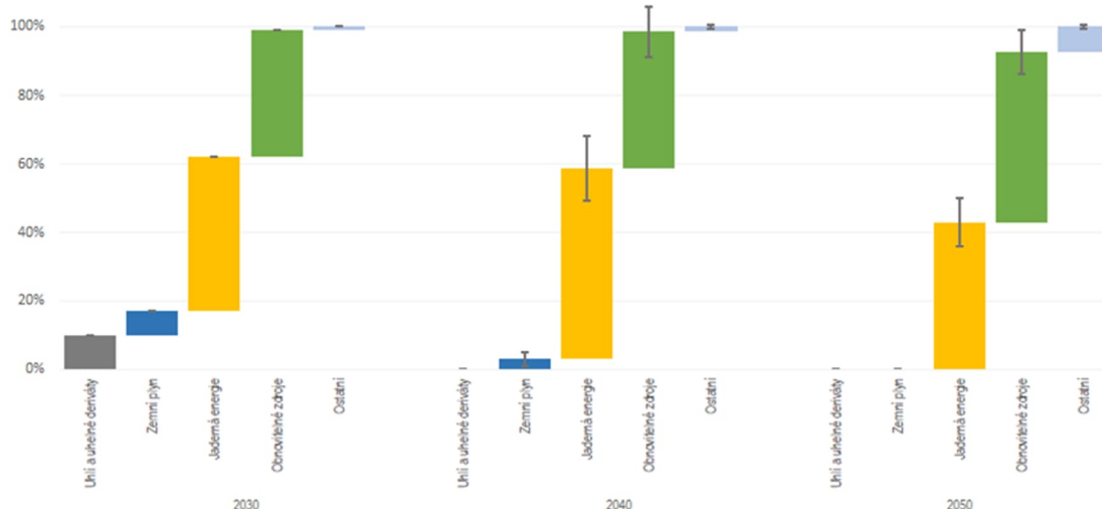
Zdroj: [Co je Fit for 55](#)

Deklarované cíle obsažené ve výše uvedeném balíčku Fit for 55 jsou pro jednotlivé členské země EU závazné a vyžadují důkladnou revizi národních strategických dokumentů v podobě přijetí konkrétních opatření vedoucích ke splnění těchto cílů. Implementace těchto cílů a opatření jsou předmětem současné aktualizace národních strategických a koncepčních dokumentů týkajících se energetiky a životního prostředí.

1.2 Státní energetická koncepce ČR

Jak bylo zmíněno výše, mezi klíčové strategické dokumenty patří Státní energetická koncepce ČR (dále jen SEK ČR). SEK ČR je strategický dokument, který stanovuje budoucí cíle a priority státu v oblasti energetiky s ohledem na plnění klimatických cílů. Aktuální podoba SEK ČR vychází z roku 2015 a je tedy v kontextu vývoje posledních let neaktuální. V současnosti probíhá revize dokumentu a jsou známy pouze základní parametry koncepce, např. vývoj dekarbonizace energetického sektoru. Aktualizovaná Státní energetická koncepce ČR by měla být schválena pravděpodobně v roce 2024. Na obrázku níže je přehledně uveden vývoj dekarbonizace v oblasti výroby energie.

Obrázek 1.2: Vývoj dekarbonizace energetického mixu v % vč. min – max rozptylu.



Zdroj: Aktualizace státní energetické koncepce, Ministerstvo průmyslu a obchodu, 02/2024

V oblasti konkurenceschopnosti a sociální přijatelnosti je důležité uvést dílčí strategický cíl týkající se konečných cen energií, který stanovuje udržet hladiny konečných cen elektřiny a plynu pod úrovní průměru EU.

V neposlední řadě je jako jeden z cílů udržitelnosti deklarován závazek snížit emise skleníkových plynů na úroveň, která odpovídá cílům balíčku Fit for 55, dosáhnout klimatické neutrality ČR do roku 2050 a trvale snižovat emise znečišťujících látek v souladu s Národním programem snižování emisí. Jedním ze stanovených cílů, jak tento závazek dosáhnout, je dekarbonizace dopravy a snížení závislosti na fosilních palivech. Měřitelné ukazatele tohoto cíle jsou definovány:

- počtem dobíjecích stanic a plnicích stanic H₂;
- počtem bateriových a vodíkových vozů;
- počtem hromadně přepravených osob a nákladu bezemisní přepravou.

1.3 Dopravní politika ČR pro období 2021–2027 s výhledem do roku 2050

Dopravní politika je klíčovým národním dokumentem v oblasti dopravy a navazuje na další strategické dokumenty České republiky a Evropské unie. Cílem dokumentu je nastínění budoucího směřování rozvoje dopravní infrastruktury a uspokojení přepravních potřeb uživatelů dopravy s ohledem na celkovou udržitelnost dopravního systému. Aktuální podoba dokumentu byla schválena v roce 2021.

V rámci dokumentu jsou definována základní východiska dopravní politiky. Tato východiska jsou dále rozpracována do hlavních neboli strategických cílů, na které navazují konkrétnější a podrobnější specifické cíle.

V následujícím textu se věnujeme částem dopravní politiky, které mají vazbu na městskou hromadnou dopravu.

1.3.1 Východiska a vize

Dopravní politika řeší dopravní soustavu jako celek z mnoha různých pohledů a zároveň navazuje na další strategické materiály. Velice důležitými tématy v dopravní politice jsou

zvýšení efektivity systému a dekarbonizace dopravy, a proto jsou mezi výchozími dokumenty např. Zelená dohoda pro Evropu, Energetická koncepce ČR, Politika ochrany klimatu nebo Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR.

Hlavní vize dopravní politiky předpokládá, že dopravní systém České republiky:

- Umožní uspokojit požadavky přepravních potřeb jak v osobní, tak nákladní dopravě.
- Bude podporovat udržitelný vývoj ekonomiky.
- Bude zároveň udržitelný z hlediska:
 - globální (nejen klimatické) změny (z hlediska mitigace i adaptace);
 - veřejného zdraví;
 - biodiverzity, přírody a krajiny;
 - využívání přírodních zdrojů.

Cílem je rozvíjet dopravu v energeticky nenáročném podobě a šetrné k životnímu prostředí.

1.3.2 Cíle dopravní politiky

Udržitelná mobilita je prvním ze strategických cílů dopravní politiky. Na udržitelnost dopravního systému lze nahlížet z více pohledů, viz hlavní vize dopravní politiky.

Z hlediska městské hromadné dopravy a rozvoje elektrické kolejové dopravy je důležitý multimodální přístup k osobní dopravě, zejména v hustě osídlených oblastech. Veřejná doprava jako služba by měla být nabízena v takové kvalitě a na takové úrovni, která bude motivační pro uživatele individuální automobilové dopravy, a povede ke změně preferencí těchto uživatelů. Jedním z opatření, jak dosáhnout vyšší kvality služeb a zároveň snížení energetické náročnosti, je obnova vozového parku.

Jako cesta pro zlepšení obnovy vozového parku je zmíněna podpora k nákupu energeticky úsporných vozidel ze strany státních institucí jako je Ministerstvo dopravy ČR, Ministerstvo životního prostředí ČR v kombinaci s komerčními zdroji.

Další možností, jak podpořit obnovu vozového parku, je cenové zvýhodnění energeticky úspornějších vozidel, které v současnosti chybí. Konkrétní opatření je možnost snížení ceny elektrické energie ve formě kompenzace platby za obnovitelné zdroje energie.

Z hlediska životního prostředí je kladen důraz na snížení energetické náročnosti dopravy, a tedy na využití energeticky úspornějších vozidel, konkrétně je preferováno využití vozidel elektrické kolejové dopravy oproti vozidlům poháněným spalovacími, resp. vznětovými motory. Využitím vozidel s elektrickou trakcí je možné zvýšit významný potenciál úspor energií a zároveň i snížení emisí znečišťujících látek.

1.3.3 Dlouhodobý výhled

Z hlediska městské dopravy by měl růst podíl výkonů kolejových systémů v elektrické trakci a popřípadě rozvíjet síť parciálních trolejbusů doplněný sítí elektrobusesů.

1.4 Politika ochrany klimatu v České republice

Politika ochrany klimatu v ČR (dále jen POK) představuje koncepci vlády ČR, která určuje základní a indikativní cíle ČR v oblasti ochrany klimatu v horizontu do roku 2050 a představuje tak dlouhodobou strategii nízkouhlíkového rozvoje ČR. Současně Politika stanovuje strategii vedoucí k nákladově efektivnímu dosažení zvolených cílů. Politika je navržena jako proaktivní, a proto v dotčených oblastech, tj. zejména v oblastech energetiky, konečné spotřeby energie,

průmyslu, dopravy a jiných definuje konkrétní opatření a nástroje pro postupné snižování emisí skleníkových plynů s ohledem na ekonomicky využitelný potenciál.

Aktuálně platný dokument Politika ochrany klimatu v ČR byl vydán v roce 2017 a v současné době prochází procesem aktualizace stejně jako Energetická koncepce.

1.4.1 Cíle Politiky ochrany klimatu v České republice

Hlavním cílem Politiky je stanovit vhodný mix nákladově efektivních opatření a nástrojů v klíčových sektorech, které povedou k dosažení cílů ČR v oblasti snižování emisí skleníkových plynů.

Výchozí cíl redukce emisí byl v roce 2017 stanoven na 32 Mt CO₂ ekv. v porovnání se 146 Mt CO₂ ekv. v roce 2005, což bylo v souladu s původními záměry snížit emise o 43 % v sektorech systému EU ETS, resp. o 30 % v sektorech mimo EU ETS oproti roku 2005 a na úrovni celé EU. V případě České republiky odpovídá snížení emisí po přepočtu dle HDP na hlavu na snížení o 13 % oproti roku 2005.

V důsledku zavedení balíčku Fit for 55 je nutné revidovat stanovené cíle, a to směrem k vyššímu snížení emisí. Nastavení nových cílů a také i opatření je předmětem současné aktualizace POK.

V současnosti jsou známy pouze základní obrysy aktualizované Politiky ochrany klimatu. V návaznosti na schválený balíček Fit for 55 jsou cíle redefinovány následovně:

- snížení emisí v sektorech mimo EU ETS o 26 %;
- nulové emise z nových osobních a lehkých užitkových vozidel od roku 2035.

1.4.2 Opatření

V návaznosti na cíle Politiky ochrany klimatu jsou v dokumentu stanoveny také cesty neboli opatření, kterými budou cíle dosaženy. V této kapitole se zaměřujeme na opatření týkající se dopravy, konkrétně v návaznosti na městskou hromadnou dopravu. V sektoru dopravy jsou stanovena opatření:

- Podpora nákupu vozidel s alternativním pohonem v rámci Národního programu životního prostředí – podpora na nákup vozidla s alternativním pohonem pro municipality a kraje.
- Stimulace využití alternativních pohonů v silniční nákladní dopravě prostřednictvím úpravy režimů a sazeb daně silniční – novým systémem daňových úlev, který se bude odvíjet od splnění příslušné emisní třídy vozidla EURO s tím, aby daňová úleva na silniční dani pro vozidla (nad 12 t) na alternativní paliva byla vyšší než pro vozidla na konvenční pohon s emisní třídou EURO VI.
- Podpora nákupu vozidel s alternativním pohonem a podpora výstavby související infrastruktury.

Kromě opatření v rámci jednotlivých sektorů jsou v rámci Politiky ochrany klimatu stanovena také průřezová opatření napříč sektory. Většina těchto opatření je směřována do systému EU ETS. Mezi důležitá opatření v souvislosti s dopravou lze zařadit zdanění emisí mimo EU ETS (zavedení uhlíkové daně) – tento nástroj může být klíčový pro naplnění cílů v oblasti ochrany klimatu a ovzduší u lokálních stacionárních i mobilních zdrojů.

2 Zákon o podpoře nízkoemisních vozidel

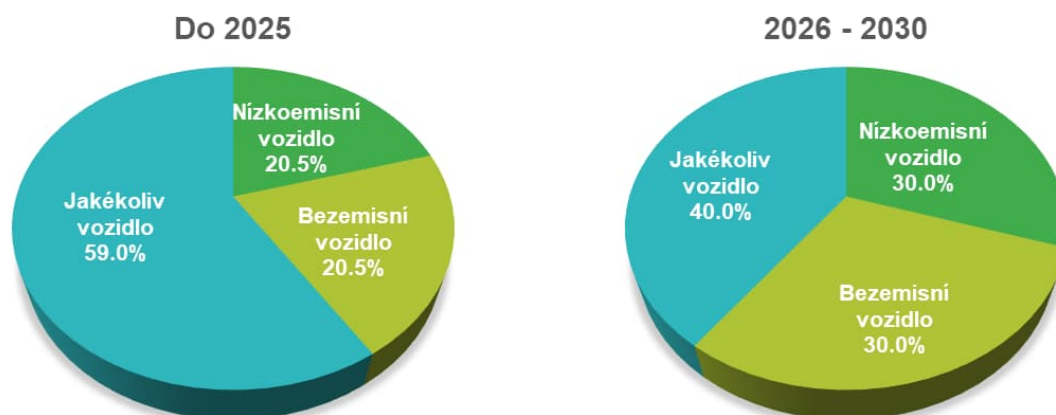
Při obnově vozového parku dopravců je zákonem o podpoře nízkoemisních vozidel, potažmo evropskou směrnicí o podpoře čistých a energeticky účinných silničních vozidel vyžadována stanovená část nově pořizovaného vozového parku s předem definovanými parametry. Těmito dokumenty je zajištěn postupný přechod na nízkoemisní a bezemisní vozidla ve veřejné dopravě.

2.1 Evropská směrnice 2009/33/ES Clean Vehicle Directive

V rámci Evropské unie jsou požadavky na obnovu vozového parku dopravců zajišťujících služby ve veřejné dopravě definovány v Evropské směrnici 2009/33/ES Clean Vehicle Directive, která byla novelizována v roce 2019. Tato směrnice nabyla účinnosti 2. 8. 2021.

Směrnice definuje minimální podíly nízkoemisních (částečně čistých) a bezemisních (čistých) vozidel na celkovém počtu vozidel nově nakupovaných dopravci poskytujících služby ve veřejné dopravě. Tyto podíly jsou uvedeny na následujícím obrázku, a to pro dvě směrnici stanovená časová období: do roku 2025 a v letech 2026–2030.

Obrázek 2.1: Minimální podíly nízkoemisních a bezemisních vozidel ve veřejné dopravě



Zdroj: Evropská směrnice 2009/33/ES Clean Vehicle Directive

Za lokálně bezemisní vozidla jsou považovány elektrobusy, trolejbusy a vodíkové autobusy. Tato vozidla musí splňovat podmínku, že disponují pohonem zahrnujícím alespoň jedno neperiferní elektrické zařízení jakožto měnič energie s elektricky dobíjeným systémem energie, který je možné dobít externě.

Nízkoemisní vozidla jsou definována následovně:

- V kategoriích M1, M2 a N1 silničních vozidel v období do konce roku 2025 emise nižší než 50 g/km CO₂, v období 2026–2030 žádné emise CO₂.
- V kategoriích M3, N2 a N3 silničních vozidel se jedná o vozidla s alternativním palivem včetně LPG, CNG, hybridních pohonů, plug-in hybridních vozidel.

V této souvislosti je vhodné poznamenat, že v podstatě všechny konvenční autobusy spadají pod kategorii M3, neboť mají více než osm sedadel kromě sedadla řidiče a maximální hmotnost vyšší než 5 tun.

Obrázek 2.2: Hybridní autobusy IVECO URBANWAY HYBRID v Praze



Zdroj: <https://www.busportal.cz/clanek/hybridni-kloubove-autobusy-iveco-urbanway-v-praze-20023>

2.2 Zákon č. 360/2022 Sb., o podpoře nízkoemisních vozidel prostřednictvím zadávání veřejných zakázek a veřejných služeb v přepravě cestujících

V prostředí České republiky byla směrnice uvedená v předchozí podkapitole transponována do českého právního řádu Zákonem č. 360/2022 Sb., o podpoře nízkoemisních vozidel prostřednictvím zadávání veřejných zakázek a veřejných služeb v přepravě cestujících. Tento zákon nabyl účinnosti 1. 12. 2022.

Zákon přejímá požadavky na nově pořizovaný vozový park z výše uvedené směrnice a vztahuje se jak na zakázky na nákup vozidel, tak na nákup služeb, konkrétně na:

- nadlimitní veřejné zakázky, jejichž předmětem je nákup, leasing nebo pronájem vozidla;
- nadlimitní veřejné zakázky na služby v zadávacím řízení podle zákona o zadávání veřejných zakázek;
- veřejné služby v přepravě cestujících podle zákona o veřejných službách v přepravě cestujících.

2.3 Další související dokumenty

V České republice jsou v platnosti i další dokumenty zabývající se přechodem na nízkoemisní nebo bezemisní mobilitu. Jsou to zejména:

- Národní akční plán čisté mobility;
- Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu do roku 2030.

2.3.1 Národní akční plán čisté mobility

Cílem dokumentu je podpora rozvoje alternativních paliv v dopravě. Jeho původní verze vznikla v roce 2015, v roce 2020 pak byla aktualizována zejména v oblasti stanovení nových emisních cílů a povinného 14 % podílu obnovitelných zdrojů energie v dopravě. Do aktualizované verze dokumentu jsou rovněž promítnuty povinné podíly nízkoemisních a bezemisních vozidel v rámci nadlimitních veřejných zakázek, které vyplývají z 2009/33/ES Clean Vehicle Directive, a které byly uvedeny v podkapitole 2.1.

2.3.2 Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu do roku 2030

Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu do roku 2030 vychází ze Státní energetické koncepce ČR (2015) a Politiky ochrany klimatu ČR (2017). Tímto plánem je stanoven závazný cíl snížit energetickou náročnost dopravy reprezentovanou konečnou spotřebou energie v dopravě mezi roky 2020 a 2030 o 8 %. Toho by mělo být dosaženo buď použitím motorů s vyšší energetickou účinností, rekuperací brzdné energie nebo vyšší provozní efektivitou veřejné dopravy, jež zahrnuje například preference vozidel na křižovatkách nebo zastávky na znamení.

3 Dotační podpora

Při plnění požadavků definovaných v evropské směrnici Clean Vehicle Directive, resp. v českém zákoně o podpoře nízkoemisních vozidel lze očekávat navýšení investičních i provozních nákladů do nových technologií vozidel i podpůrné infrastruktury. Tyto náklady bude třeba pokrýt kombinací různých typů zdrojů, které jsou nyní nebo budou v budoucnu k dispozici.

3.1 Operační programy EU

Operační programy Evropské unie jsou v současné době jedním z nejdůležitějších zdrojů financování rozvoje městské mobility. V aktuálním programovém období 2021–2027 jsou využívány zejména Operační program Doprava a Integrovaný regionální operační program.

3.1.1 Operační program Doprava

Operační program Doprava 2021–2027 (OPD) je v gesci Ministerstva dopravy ČR (MD ČR), které je pro tento nástroj financování řídicím orgánem. Do OPD je pro aktuální programové období alokováno celkem 126,8 miliard Kč z Fondu soudržnosti a Evropského fondu pro regionální rozvoj (EFRR).

Výchozím dokumentem pro realizaci podpory z OPD je v rámci České republiky „Národní koncepce realizace politiky soudržnosti v ČR po roce 2020“, která stanovuje strategický cíl „Efektivní dostupnou a k životnímu prostředí šetrnou dopravu“. Tento cíl by měl být naplňován podporou vybraných projektů.

Z Operačního programu Doprava je možné spolufinancovat projekty vedoucí k rozvoji udržitelné mobility, jako například:

- převedení nejzatíženějších autobusových linek do elektrické trakce;
- výstavbu nových tramvajových a trolejbusových tratí;
- veřejně přístupné dobíjecí a plnicí stanice.

Dle informací z MD ČR nelze z prostředků OPD spolufinancovat nákup vozidel městské drážní dopravy včetně trolejbusů ani jakýchkoliv jiných vozidel, podporována je pouze infrastruktura. V případě dotací na vybudování dobíjecích stanic elektrických vozidel je podmínkou, že takto spolufinancované dobíjecí stanice musejí být veřejné. To činí dotace z OPD na dobíjecí stanice pro vozidla veřejné dopravy obtížně použitelnými.

Pro případ využití spolufinancování z OPD pro výstavbu například trolejbusové tratě je v tabulce níže uveden základní přehled jednotlivých prioritních os.

Tabulka 3.1: Finanční prostředky proplacené z OPD na schválené projekty

Prioritní osa	Název priority	Celková alokace OPD (Kč)	Finanční prostředky v zaregistrovaných žádostech o podporu (Kč)	Finanční prostředky v zaregistrovaných žádostech o podporu (%)
PO1	Evropská, celostátní a regionální mobilita	84 932 387 235	61 768 236 764	72,7 %
PO2	Celostátní silniční mobilita zajišťující konektivitu k síti TEN-T	6 910 920 807	3 478 391 402	50,3 %

Prioritní osa	Název priority	Celková alokace OPD (Kč)	Finanční prostředky v zaregistrovaných žádostech o podporu (Kč)	Finanční prostředky v zaregistrovaných žádostech o podporu (%)
PO3	Podpora udržitelné multimodální městské mobility	27 242 463 845	14 078 256 402	51,7 %
PO4	Technická pomoc	1 149 114 210	1 136 588 545	98,9 %
Celkem		120 234 886 097	80 461 473 113	66,9 %

Zdroj: MD ČR, ŘO OPD k 26. 6. 2024, jen EU podíl v CZK

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že v k projektu relevantní Prioritní ose 3, jejímž cílem je podpora městské mobility, je přibližně polovina finančních prostředků teoreticky vyčerpána na projekty, na něž byla zaregistrovaná žádost o podporu. Dle vyjádření MD ČR jsou však zatím v procesu vyplácení podpory přibližně pouze 2 % celkové alokace u projektů, které byly schválené. Skutečně proplacené v rámci této prioritní osy nebyly ještě žádné dotace.

Obrázek 3.1: Prodloužení trolejbusové tratě v Pardubicích spolufinancované z OPD



Zdroj: www.opd.cz

3.1.2 Integrovaný regionální operační program

Integrovaný regionální operační program pro období 2021–2027 (dále také IROP) je pod správou Ministerstva pro místní rozvoj ČR a má za cíl dosažení vyváženého rozvoje území České republiky, mimo jiné se zaměřením na zkvalitnění infrastruktury, zlepšení veřejných služeb a zajištění udržitelného rozvoje v obcích, městech a regionech.

Jednou z oblastí, kterou lze s pomocí prostředků z programu IROP spolufinancovat, je rozvoj městské mobility. Jmenovitě je v působnosti programu uvedeno financování níže uvedených investic, které se přímo vztahují k problematice řešené v tomto projektu:

- nízkoemisní a bezemisní vozidla ve veřejné dopravě;
- plnicí a dobíjecí stanice pro veřejnou dopravu.

Obrázek 3.2: Trolejbus spolufinancovaný prostřednictvím IROP v Jihlavě



Zdroj: <https://irop.gov.cz/cs/projekty/06-1-konkurenceschopne,-dostupne-a-bezpecne-region/parcialni-trolejbusy-v-jihlave>

V rámci programu IROP jsou v současné době přístupné výzvy použitelné pro spolufinancování udržitelné městské mobility uvedeny v následující tabulce. V programu je definováno několik typů území, mimo jiné tzv. Méně rozvinutý region (MRR) a tzv. Přechodový region (dále také PR). Město Brno je z hlediska programu IROP definováno jako Přechodový region. Do obou takto definovaných typů regionů je v rámci každé výzvy alokována určitá výše finančních prostředků. Výzvy použitelné pro financování veřejné dopravy, výši alokovaných prostředků do Přechodového regionu a termíny vyhlášení a ukončení výzev zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 3.2: Výzvy IROP k vhodné k financování udržitelné městské mobility na území města Brna v roce 2024

Číslo výzvy	Název výzvy	Alokace do PR	Vyhlášení – ukončení výzvy
39	39. výzva IROP – Nízkoemisní a bezemisní vozidla pro veřejnou dopravu – SC 6.1 (ITI)	1 481 010 534 Kč	12/2022-12/2027
107	107. výzva IROP – Plnicí a dobíjecí stanice pro veřejnou dopravu – SC 6.1 (PR)	347 338 684 Kč	2/2024-1/2025
108	108. výzva IROP – Plnicí a dobíjecí stanice pro veřejnou dopravu – SC 6.1 (ITI)	213 556 906 Kč	3/2024-12/2027

Zdroj: irop.gov.cz

Část finančních prostředků, které byly k dispozici pro jednotlivé výzvy, již byla alokována k realizaci schválených projektů. Bližší informace uvádí tabulka níže.

Tabulka 3.3: Naplnění alokace výzev IROP

Číslo výzvy	Název výzvy	Finanční alokace výzev	Počet schválených projektů	Zbývá z alokace výzvy	Naplnění výzvy
39	39. výzva IROP – Nízkoemisní a bezemisní vozidla pro veřejnou dopravu – SC 6.1 (ITI)	3 231 261 059 Kč	16	986 748 492 Kč	69,5 %
107	107. výzva IROP – Plnicí a dobíjecí stanice pro veřejnou dopravu – SC 6.1 (PR)	347 338 684 Kč	0	347 338 684 Kč	0 %

Číslo výzvy	Název výzvy	Finanční alokace výzev	Počet schválených projektů	Zbývá z alokace výzvy	Naplnění výzvy
108	108. výzva IROP – Plnicí a dobýjecí stanice pro veřejnou dopravu – SC 6.1 (ITI)	421 246 302 Kč	0	421 246 302 Kč	0 %

Zdroj: irop.gov.cz

Pozn.: Uvedená data jsou souhrnná za celou výzvu, nejsou uveřejněna data specificky pro Přechodový region.

Z výše uvedených dat vyplývá, že ve výzvě č. 39 zbývá přibližně už jen 30 % finančních prostředků, a to v necelé polovině období od vyhlášení do ukončení výzvy.

3.1.3 Modernizační fond

Po skončení programového období 2021–2027 a vyčerpání prostředků z výše uvedených dotačních programů by se měl stát hlavním nástrojem financování přechodu k alternativní pohonům tzv. Modernizační fond. Tento fond je definován evropskou směrnicí 2003/87/ES v čl. 10d z roku 2018. V legislativním prostředí České republiky je pak fond ukotven novelou zákona č. 383/2012 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů z roku 2020.

Tento program podpory financování modernizace energetických soustav a zlepšení energetické účinnosti je určen pro 10 zemí EU včetně České republiky, výsledkem by měl být snadnější přechod na nízkouhlíkové hospodářství. Z modernizačního fondu je možné čerpat finanční prostředky v období 2021–2030, fond je financován z prodeje emisních povolenek.

Pro Českou republiku bude ve fondu alokováno minimálně 150 miliard Kč, přičemž pro oblast modernizace veřejné dopravy je přiděleno 5 % z této částky. Administrace programu v České republice spadá pod Ministerstvo životního prostředí ČR a Státní fond životního prostředí ČR (SFŽP).

Oblast podpory pro veřejnou dopravu je v rámci fondu poskytována prostřednictvím programu 4B: TRANSGov – Modernizace veřejné dopravy. Cílovými příjemci dotací jsou veřejné subjekty a subjekty se závazkem poskytování veřejné služby. Finanční prostředky jsou poskytovány na pořízení čistých vozidel a vozidel s nulovými emisemi pro veřejnou dopravu nebo pro výstavbu příslušné infrastruktury.

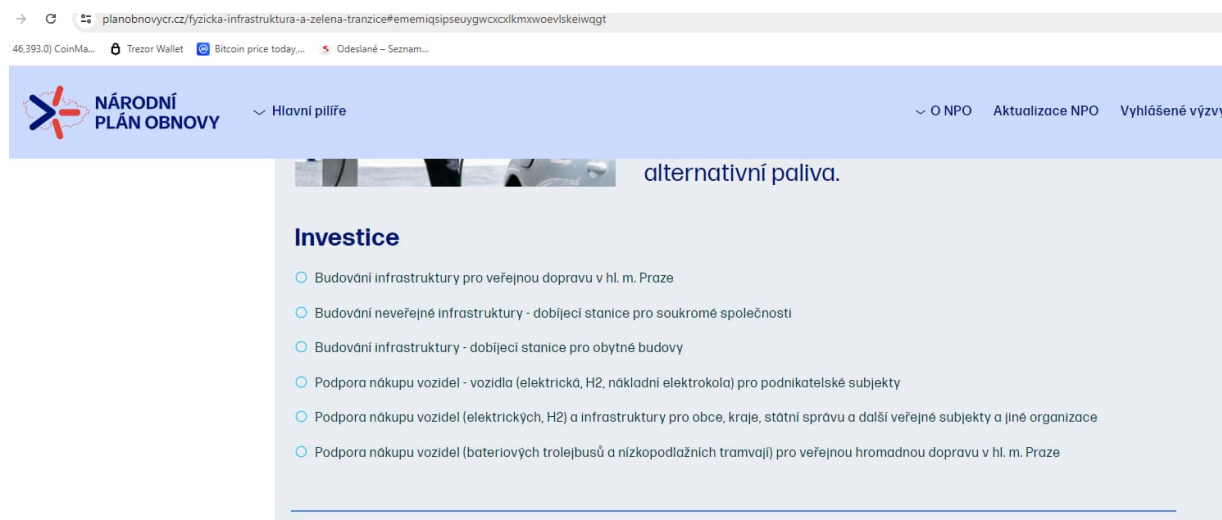
Dle webu SFŽP nejsou v současné době vyhlášeny v programu TRANSGov žádné výzvy.

3.2 Národní programy a opatření na úrovni ČR

3.2.1 Národní plán obnovy

Nástrojem k financování obnovy vozového parku směrem k dosažení požadovaných cílů spočívajících v předepsaném podílu nízkoemisních a bezemisních vozidel je také tzv. Národní plán obnovy. Regionální působnost tohoto programu za účelem financování nákupu lokálně bezemisních vozidel veřejné dopravy je však omezena pouze na Prahu, kde není možné čerpat evropské dotace na nákup těchto vozidel. Pro řešený projekt proto není tento program relevantní.

Obrázek 3.3: Typy investic způsobilé pro spolufinancování z Národního plánu obnovy



Zdroj: www.planobnovy.cz

3.2.2 Další možnosti pokrytí zvýšených nákladů

Obměna vozového parku autobusů motivovaná nutností zařazení nízkoemisních a bezemisních vozidel do flotily dopravce si vyžádá zvýšené investiční náklady v porovnání s případem, kdy by stávající vozidla byla nahrazena standardními dieselovými autobusy. Vyšší pořizovací náklady na nízkoemisní a bezemisní vozidla se následně promítnou i do nákladů provozních, a to zejména ve formě odpisů, vyšší mohou být ale i další položky provozních nákladů. Tato skutečnost by měla vést k analýze a následné revizi ceny za dopravní výkon stanovené ve smlouvě o závazku veřejných služeb, kterou má dopravce uzavřenou s objednatelem. Otázkou je pak přenesení části těchto nákladů na cestující, kteří budou profitovat nejen ze zvýšeného komfortu jízdy spojeného s nákupem nových vozidel, ale zejména z pozitivních dopadů na místní životní prostředí, které nebude zatíženo současným množstvím exhalací z veřejné dopravy.

Možností, která se otevírá, je rovněž pokrytí části investičních nákladů na vozidla nebo související infrastrukturu prostřednictvím účelové dotace poskytnuté městem Brnem, popřípadě Jihomoravským krajem. V neposlední řadě lze doporučit rovněž analýzu snížení nákladů v jiných oblastech činnosti dopravce, která by vedla k redukci těchto nákladů a jejich možnému využití na financování nákupu nízkoemisních a bezemisních vozidel a jejich infrastruktury.

Jako vhodné se jeví i iniciování a prosazování změny legislativy ČR, což by mělo proběhnout v koordinaci s jinými významnými dopravci, resp. objednateli dopravy. Podpora čisté mobility ve veřejné dopravě v českých městech by mohla spočívat ve zrušení plateb příspěvku na obnovitelné zdroje pro dopravní podniky ČR, případně ve vhodné formě daňových úlev. Taková opatření by měla pozitivní vliv na výši provozních nákladů dopravce a v konečném důsledku na jeho celkové hospodaření a schopnost financovat nákup a provoz nízkoemisních a bezemisních vozidel.

4 Strategické cíle města Brna

Cílem kapitoly je poskytnout přehled o strategických cílech města Brna v oblasti udržitelné mobility, životního prostředí a klimatu a o dokumentech a koncepcích, které pomáhají tyto cíle naplňovat.

4.1 Vize a strategie Brno 2050 (2017)

Strategii vypracovalo město Brno v roce 2017. Strategie se skládá ze 3 částí:

- Vize do roku 2050, která obsahuje nejdůležitější hodnoty a cíle pro dlouhodobý rozvoj města. Zastupitelé města schválil v září 2020 její aktualizaci.
- Plán 2030, který obsahuje priority a témata, které by město mělo řešit do roku 2030. V březnu 2021 byla aktualizovaná verze programové části strategie předložena k projednání Řídicímu výboru a následně Radě a Zastupitelstvu města Brna.
- Akční plán, který obsahuje jednotlivé aktivity a projekty.

Strategie si klade za cíl rozvíjet především kvalitu života, městskou správu a zdroje. Zdroje umožní rozvoj města. Patří sem témata z oblasti technické infrastruktury, energetiky a mobility.

Primárním cílem strategie v části Prostředí je zvýšit aktivitu a využití udržitelných druhů dopravy, konkrétně se jedná o veřejnou, pěší a cyklistickou dopravu, a snížit tak negativní dopad dopravy na život ve městě v kontextu celé Brněnské metropolitní oblasti. Tabulka níže uvádí dílčí cíle a kroky vedoucí k jejím splněním v oblasti dopravy. Odkaz na webovou stránku: [Brno 2050 – Tvořte s námi město pro příští generace.](#)

Tabulka 4.1: #Brno 2050, Strategie, Prostředí, Město s efektivní a udržitelnou mobilitou, přehled dílčích cílů, priorit a opatření. Zodpovědnost za plnění má mimo jiných OD MMB a DPMB a.s.

Dílčí cíl	A Zlepšit kvalitu prostředí města
Priorita	Snížit hlukovou zátěž města a prašnost
Opatření	A1.1 Modernizovat vozový park veřejné dopravy A1.2 Rekonstruovat infrastrukturu veřejné dopravy a povrch komunikací A1.3 Zvýšit plynulost provozu a snížit rychlost a intenzitu provozu (např. zaváděním zón s omezenou rychlostí na vybraných komunikacích)
Priorita	A2 Podporovat ekologické pohony, zodpovědnost má mimo jiných Odbor dopravy MMB a DPMB a.s.
Opatření	A2.1 Rozšířit elektromobilitu VHD (hybridní pohony) A2.2 Zvýhodňovat uživatele vozidel s ekologickým pohonem (např. nižší poplatky za využití infrastruktury pro obyvatele, drobné podnikatele, myto apod.) A2.3 Vytvořit dotační program na podporu pořízení vozidel s ekologickým pohonem A2.4 Podporovat budování dobíjecích stanic pro elektromobily A2.5 Posoudit vhodnost zavedení nízkoemisních zón
Priorita	A3 Zlepšit veřejný prostor města
Opatření	A3.1 Připravit návrh a postupně vytvářet síť veřejných prostranství (zajistit provázání a propustnost veřejných prostranství v území) A3.2 Podporovat bezbariérová řešení u stávající a nově připravované infrastruktury A3.3 Zlepšit veřejný prostor zastávek a přestupních terminálů
Dílčí cíl	B Vytvořit efektivní a prostupný dopravní systém umožňující snadnou volbu druhu dopravy, který nejlépe odpovídá požadavkům uživatelů – obyvatel města
Priorita	B1 Zvýšit kvalitu infrastruktury, rychlost a kvalitu cestování ve veřejné hromadné dopravě
Opatření	B1.1 Rekonstruovat tratě VHD (včetně železniční dopravy) a příslušné infrastruktury a podporovat bezbariérová řešení B1.2 Preferovat budování oddělených tratí veřejné dopravy – vyhrazené jízdní pruhy, segregované tratě

	B1.3 Budovat tangenciální vazby / tratě / spoje VHD B1.4 Rozšiřovat preference vozidel veřejné dopravy na křižovatkách s využitím telematických systémů B1.5 Zajistit nákup moderních vozidel (klimatizace, wifi, bezbariérová) B1.6 Rozhodnout a zajistit přípravu nových systémů veřejné dopravy (podpovrchový, „S-bahn“ i nové způsoby vedení – podpovrchové úseky drážní dopravy)
Priorita	B2 Zvýšit prostupnost města pro nemotorovou dopravu (cyklodopravu, pěší chůzi)
Opatření	B2.1 Budovat novou infrastrukturu pro pěší a cyklistickou dopravu a důsledně implementovat cykloinfrastrukturu při rekonstrukcích ulic (v návaznosti na Generel cyklodopravy) B2.2 Budovat propojené systémy a napojovat cykloinfrastrukturu na krajské koridory B2.3 Doplnit městský mobiliář pro pěší a cyklistickou dopravu B2.4 Podporovat bezbariérová řešení u stávající a nově připravované infrastruktury B2.5 Zvýšit bezpečnost pěších a cyklistů rozšířením oblastí pěších zón a oblastí s omezenou rychlostí B2.6 Zmapovat a navrhnout možnosti zprůchodnění velkých uzavřených celků v rámci města
Priorita	B4 Zlepšit informovanost a vnímání MHD a dalších udržitelných druhů dopravy a důsledků růstu IAD
Opatření	B4.1 Realizovat informační a osvětové kampaně B4.2 Využívat webových a mobilních aplikací, instalovat informační tabule na zastávkách a přestupních uzlech
Dílčí cíl	C Přístupovat k mobilitě ve městě jako ke službě
Priorita	C1 Podporovat sdílené dopravní prostředky (bikesharing, carsharing) a efektivní dojížděku v kontextu celé Brněnské metropolitní oblasti
Opatření	C1.1 Integrovat služby v dopravě do uceleného systému „mobilita jako služba“ (př. propojení s platbou např. za veřejnou dopravu) C1.2 Zvýhodňovat uživatele tohoto systému (např. nižší poplatky za využití infrastruktury pro carsharingové auta; podporovat budování cyklostojanů, které je možno využít v rámci bikesharingu) C1.3 Zavádět firemní plány mobility ve spolupráci města s firmami C1.4. Podporovat informování a zapojení veřejnosti do plánování
Priorita	C2 Rozvíjet citylogistiku
Opatření	C2.1 Vytvořit a provozovat systém pro jednotné zásobování centra města a dalších oblastí (systém může zřizovat město nebo soukromá firma) C2.2 Podporovat inovativní řešení pro doručování na „poslední míli“ - např. využití cargo-elektrokola
Dílčí cíl	D Podporovat a implementovat inovace v dopravě
Priorita	D1 Využít moderních dopravních systémů a podporovat další výzkum a vývoj v oblasti dopravy
Opatření	D1.1 Propojit systémy a sdílet informace s cílem zvýšit plynulost provozu a podpořit veřejnou dopravu D1.2 Spolupracovat s univerzitami na projektech v oblasti výzkumu autonomních vozidel D1.3 Vytvořit flexibilní dopravní systém ve vztahu k vývoji dopravních prostředků

Zdroj: brno2050_PLAN-2030-CZ_final.pdf

4.2 Akční plán k územní energetické koncepci Statutárního města Brna (2019)

Za vytvoření a plnění akčního plánu je odpovědné Statutární město Brno. Akční plán platí průběžně od roku 2019. Platnost plánu je na období 5 let. Tento plán je implementačním plánem k dokumentu Územní energetická koncepce Statutárního města Brna z roku 2018. Mezi cíle Akčního plánu k územní energetické koncepci patří:

- provozování a rozvoj soustav zásobování tepelnou energií;
- realizace energetických úspor;
- využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie;
- výroba elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla;
- snižování emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů;
- rozvoj energetické infrastruktury;
- ostrovy elektrizační soustavy;
- inteligentní sítě;

- využití alternativních paliv v dopravě.

V rámci implementace tohoto plánu byla určena operativní opatření ve vymezených oblastech, jejichž plnění má garantovat Statutární město Brno a Dopravní podnik města Brna a.s. (DPMB). Jedná se o oblast 9 *Využití alternativních paliv v dopravě*. Jejich přehled uvádí následující tabulka. Cílem opatření je zvyšovat podíl vozidel na alternativní paliva a pohony v souladu s národními strategiemi. Odkaz na akční plán: [akcni-plan-k-uzemni-energeticke-koncepci-statutarniho-mesta-brna-2019.pdf \(dataplan.info\)](#)

Tabulka 4.2: Operativní opatření v oblasti 9

Opatření	Popis	Garant
9.1	Vypracování střednědobé a dlouhodobé strategie rozvoje technické infrastruktury pro zavádění a podporu elektromobility ve městě Brně	Statutární město Brno
9.2	Vypracování střednědobé a dlouhodobé strategie rozvoje technické infrastruktury pro podporu automobilů na CNG elektromobility ve městě Brně.	Statutární město Brno
9.3	Realizace pilotního projektu vysoce výkonných dobíječek pro elektromobily s cílem vytvoření základní technické infrastruktury pro elektromobilitu na území města Brna	Statutární město Brno
9.4	Realizace projektu náhrady naftových autobusů na lince č. 67 za elektrobusy a s tím související vybudování dobíjecích stanic	DPMB a.s.
9.5	Realizace projektu „Parciální trolejbus“ – trolejbus doplněný o bateriový pohon.	DPMB a.s.
9.6	Realizace projektu na pořízení malých osobních vozidel na CNG jako náhradu za stávající naftová	DPMB a.s.

Zdroj: Akční plán k územní energetické koncepci Statutárního města Brna

4.3 Akční plán udržitelné energetiky a klimatu (2019)

Pakt starostů a primátorů je iniciativa spuštěná Evropskou komisí v roce 2008 s cílem zapojit a podporovat starosty a primátory, aby se zavázali ke splnění cílů EU v oblasti klimatu a energetiky. Signatáři paktu, jehož členem je od roku 2017 i Statutární město Brno, se zavázali do roku 2020 snížit emise CO₂ o 20 % a do roku 2030 o 40 %. V červenci 2019 byl vypracován Akční plán udržitelné energetiky a klimatu. Tento plán je klíčový dokument, který ukazuje, jak signatář Paktu dosáhne svého závazku do roku 2030.

Emise CO₂ jsou v tomto plánu rozděleny do sektorů spotřeby. Problematiky dopravy se týkají sektory obecní vozový park, veřejná doprava, a soukromá a komerční doprava. V rámci ekologizace provozu MHD v Brně se jedná především o nákup a provozování elektrobusů a trolejbusů včetně nezbytné infrastruktury. Odkaz na plán:

[SECAP_Brno_zpráva_29.8.2019_finální.pdf](#)

4.4 Akční plán zlepšování kvality ovzduší Statutárního města Brna (2017)

Cílem plánu je snížení koncentrací znečišťujících látek v ovzduší, aby kvalita ovzduší byla zlepšena především tam, kde jsou imisní limity na území aglomerace překračovány. Dále usiluje i o udržení a zlepšení kvality ovzduší tam, kde jsou současné koncentrace znečišťujících látek pod hodnotami imisních limitů.

Dokument byl vypracován Odborem životního prostředí Magistrátu města Brna v roce 2017. V rámci prací na akčním plánu byl analyzován vozový park DPMB a.s. Výsledkem plánu byla navržená opatření. Ve vztahu k veřejné hromadné dopravě se jedná o tato opatření:

- Vypracování parkovací politiky zohledňující stav ovzduší. Předpokládané splnění bylo do konce roku 2019 (zodpovědný za provedení byl Odbor životního prostředí MMB).
- Vypracování studie proveditelnosti nízkoemisní zóny s termínem splnění do roku 2018 (zodpovědný za provedení byl Odbor životního prostředí MMB).
- Vypracování opatření ke snížení emisí z dopravy při smogových situacích s termínem splnění do roku 2017 (zodpovědnými za provedení byly Odbor životního prostředí a Odbor dopravy MMB).
- Snížení emisí z provozu vozidel MMB a organizací Statutárního města Brna s termínem plnění do roku 2019 (zodpovědný za provedení byl Odbor životního prostředí MMB).

Odkaz na dokument: [APZKO_2017_RMB.pdf \(dataplan.info\)](#)

4.5 Plán udržitelné městské mobility města Brna (2014)

Tento plán vznikl od roku 2014 do roku 2018, kdy byl schválen Zastupitelstvem města Brna. Tento strategický dokument vznikl na základě odborných analýz, ve spolupráci s obyvateli města, stakeholdery, odborníky a dalšími. Opatření ke zlepšení mobility jsou obsažena v návrhové části. Jak uvádějí webové stránky, dokument ve vztahu k veřejné hromadné dopravě vznikl především s ohledem na přesun železničního nádraží a napojení Brna na vysokorychlostní tratě, zavedení rezidentního parkování a parkovišť v režimu P+R, přípravu segregací tramvajových tratí, řešení problémových míst (křižovatky a přejezdy) a rozvoj města Brna.

V roce 2014 činil podíl veřejné hromadné dopravy na celkové dělbě dopravní práce v Brně 53 %. Dle cílů plánu by se do roku 2030 měl zvednout na 54 %, a do roku 2050 na 56 %. Cíle plánu dle jednotlivých oblastí jsou obsaženy v následující tabulce.

Tabulka 4.3: Cíle dle vybraných oblastí

Oblast	Popis cílů
Podíl cest udržitelných druhů dopravy (veřejná doprava, cyklo, pěší)	Zvýšit podíl cest veřejné, cyklistické a pěší dopravy (tzv. modal split)
	Zvýšit integraci udržitelných druhů dopravy (podíl multimodálních cest) a zrychlit veřejnou dopravu (cestovní rychlost na referenčních cestách MHD o 15 % vyšší v roce 2030)
	Zvýšit počet domácností nevlastnících auto (o 20 % do roku 2050)
Komunikační síť města a kvalita veřejných prostor	Nezvyšovat kapacity komunikační sítě pro individuální automobilovou dopravu, po dobudování ochranného dopravního systému (zachování celkového počtu parkovacích míst v širším centru města na úrovni potřeby)
	Zvýšit dostupnost a atraktivitu udržitelných forem dopravy města a jeho zázemí (např. příměstské železnice) – podíl příměstské železnice na referenčních cestách vzroste do roku 2030 o 20 % na úkor individuální automobilové dopravy
	Zvýšit počet a kvalitu veřejných prostor (nárůst podílu spokojených obyvatel města s veřejnými prostory o 30 % do roku 2030)
Organizace a řízení dopravy a poptávky po dopravě	Propojit dopravní a územní plánování, zavést principy integrovaného dopravního plánování včetně posílení významu telematických systémů
	Zavést komplexní plánování dopravy zaměstnanců a návštěvníků velkých podniků a institucí včetně záměrů generujících dopravu (např. Plány mobility pro obchodní centra) – firemní plány mobility povinné pro organizace s více než 100 zaměstnanci do roku 2020, a s více než 50 zaměstnanci do roku 2025

Oblast	Popis cílů
	Zavést vzdělávání, školení, osvětu v oblasti městské mobility a informovanost účastníků dopravního provozu
Ochrana obyvatel před negativními vlivy dopravy	Snížit počet dopravních nehod (plnit národní cíle, např. snížení počtu obětí dopravních nehod do roku 2025 na polovinu oproti roku 2015) Snížit podíl obyvatel trpících nadlimitním hlukem z dopravy (do roku 2025 trpí nadlimitním hlukem z dopravy méně než 5 % obyvatel města) Snížit emise skleníkových plynů a snížit energetickou náročnost dopravy na cestujícího (čtyřnásobný pokles emisí skleníkových plynů do roku 2050 oproti roku 2010, nebo: 1 tuna ekv. CO₂ na osobu ročně do roku 2050) – pokles celkové energetické spotřeby v dopravě na cestujícího o 20 % do roku 2050 Zajistit spolehlivost dopravního systému při mimořádných událostech Minimalizovat negativní dopady citylogistiky

Zdroj: Plán mobility města Brna (brnoimotion.cz)

Plnění Plánu udržitelné městské mobility zajišťuje Akční plán. Součástí Akčního plánu je i časový a rozpočtový harmonogram. Akční plán se vytváří každoročně a zařazují se do něj projekty ve fázi přípravy nebo realizace. Odkaz na web: [Plán mobility města Brna \(brnoimotion.cz\)](https://brnoimotion.cz).

5 Dlouhodobá koncepce MHD v Brně

Na dlouhodobou koncepci MHD v Brně mají vliv všechny výše uvedené dokumenty. Nejblíže dlouhodobou koncepci popisuje Plán dopravní obsluhy Statutárního města Brna pro roky 2025–2039, který byl schválen v roce 2023.

5.1 Plán dopravní obsluhy Statutárního města Brna pro roky 2025–2039 (2023)

V roce 2019 došlo zákonem 367/2019 Sb. k novele zákona 194/2010 Sb. o veřejných službách v přepravě cestujících. Tato změna vstoupila v účinnost dne 1. 10. 2020. Zákon 194/2010 Sb. §5 tak nově stanovuje, že stát, kraje a obce objedávající veřejnou dopravu (objednatelé) jsou povinni zpracovávat Plány dopravní obslužnosti území. Plány musí obsahovat následující informace:

- popis zajišťovaných veřejných služeb v přepravě cestujících;
- předpokládaný rozsah poskytované kompenzace;
- časový harmonogram uzavírání smluv o veřejných službách a postup při uzavírání těchto smluv;
- harmonogram a způsob integrace, pokud se objednatelé podílejí na organizaci integrovaných veřejných služeb v přepravě cestujících;
- maximální tarify pro cestující, mají-li být stanoveny objednatelům;
- další údaje vztahující se k financování a nákladově efektivnímu zajišťování veřejných služeb v přepravě cestujících stanovené přímo použitelným předpisem Evropské unie.

V §8 písm. c) pak dále zákon stanovuje, že objednatel je povinen zajišťovat dopravní obslužnost tak, aby veřejné služby v přepravě cestujících byly poskytovány v souladu s jím pořízeným plánem dopravní obslužnosti území platným v okamžiku uzavření smlouvy o veřejných službách v přepravě cestujících nebo, poskytuje-li veřejné služby v přepravě cestujících objednatel sám, v okamžiku zahájení jejich poskytování. Plán dopravní obsluhy Statutárního města Brna pro roky 2025 až 2039 je dokumentem, který obsahuje nastavení parametrů veřejných služeb zejména v oblasti rozsahu, kvality a ceny za poskytované služby. Cílem plánu je zpracovat dlouhodobý výhled provozu městské hromadné dopravy a připravit odklady pro výběr dopravce pro období 2025–2039. Tento plán je jedním z podkladů pro uzavření nové smlouvy o závazku veřejné služby v přepravě cestujících. Uzavření nové smlouvy mezi městem Brnem a Dopravním podnikem města Brna, a.s. je předpokládáno v roce 2024 tak, aby nová patnáctiletá smlouva mohla plynule navázat na současný smluvní vztah objednatelů s dopravcem. Výsledný plán dopravní obsluhy je město Brno dle legislativy povinno projednat s Jihomoravským krajem. Tabulka níže popisuje náplň plánu.

Tabulka 5.1: Přehled náplně Plánu dopravní obsluhy Statutárního města Brna pro roky 2025-2039

Kapitola	Náplň kapitoly
1 Popis stávajícího stavu	1.1 Širší socioekonomické souvislosti 1.2 Popis zapojení přepravních služeb DPMB a.s. do IDS JMK 1.3 Vzájemná bilance dopravních výkonů při zajišťování dopravní obslužnosti mezi územím města Brna a Jihomoravského kraje 1.4 Přínosy IDS JMK pro město a občany Brna 1.5 Návaznosti MHD v Brně na dálkové a regionální linky IDS JMK 1.6 Vedení linek veřejné hromadné dopravy na území města Brna 1.7 Linky veřejné hromadné dopravy obsluhující území města Brna k 1. 1. 2022
2 Legislativní zakotvení	2.1 Legislativní rámec a kompetence objednatelů 2.2 Zadávání veřejných služeb v přepravě cestujících 2.3 Postup objednatele v případě přímého zadání
3 Rozvojové projekty plánované pro období 2025-2039	3.1 Očekávaný rozvoj infrastruktury pro VHD na území města Brna v období 2025–2029 (obsahuje výčet 24 projektů) 3.2 Předpokládané významné urbanistické akce 3.3 Volba ukončení tramvajových tratí – smyčky vs. úvratě 3.4 Rozvoj vozového parku 3.5 Rozvoj dispečinku, odbavení cestujících a dalších součástí VHD
4 Předpokládaný rozsah a rozvoj veřejné dopravy a přepravy	-
5 Principy zahrnutí veřejné dopravy objednávané Statutárním městem Brnem do IDS JMK	5.1 Tarif 5.2 Smluvní přepravní podmínky 5.3 Odbavení cestujících 5.4 Systém společného financování 5.5 Úpravy smlouvy o skupině orgánů poskytujících integrované veřejné služby v přepravě cestujících
6 Doporučovaný obsah smlouvy s dopravcem	-
7 Standardy kvality veřejné dopravy v Brně	7.1 Návrh standardů kvality služeb veřejné dopravy objednávané Statutárním městem Brnem 7.2 Kontrola standardů
8 Rozvoj lodní dopravy	-
9 Zajištění napojení města Brna a Jihomoravského kraje na síť mezinárodních leteckých linek	-
10 Návrh řešení systémového propojení městské dopravy s alternativními druhy dopravy	-
11 Shrnutí dalšího rozvoje služeb snižujících zatížení vnitřní komunikační sítě města Brna	11.1 Systém rezidentního parkování 11.2 Parkoviště P+R 11.3 Rozvoj železnice na území města Brna (uvádí 6 projektů) 11.4 Preference vozidel VHD na SSZ 11.5 Segregace tramvajových tratí, zřízení vyhrazených jízdních pruhů pro VHD 11.6 Rozvoj spolupráce s dalšími městskými firmami (městský ekosystém)
12 Manažerské shrnutí	-
13 Projednání plánu dopravy s Jihomoravským krajem – vypořádání připomínek	
Příloha	Předpokládaná výše kompenzace – finanční model

Zdroj: Plán dopravní obsluhy Statutárního města Brna pro roky 2025 až 2039

6 Bezemisní technologie pohonu

Bezemisní technologie pohonu vozidel, nazývané též čisté pohony, jsou hlavním tématem této koncepce. Spadají sem konvenční i parciální trolejbusy, stejně jako elektrické autobusy a vodíkové autobusy. Různé scénáře rozvoje čistých pohonů v Brně, které budou navazovat v dalších částech koncepce, budou pracovat právě s kombinacemi těchto druhů pohonů.

6.1 Konvenční trolejbusy

Trolejbusy představují významnou složku městské hromadné dopravy v mnoha městech po celém světě. Díky svému elektrickému pohonu jsou trolejbusy považovány za ekologičtější alternativu k dieselovým autobusům, což je zvláště důležité v době, kdy se města snaží snižovat emise a bojovat proti změně klimatu. Moderní trolejbusy mají přibližně dvojnásobný poměr výkonu k hmotnosti než podobné dieselové konstrukce, což umožňuje udržovat pohodlné zrychlení až na dvojnásobek.

Elektrický proud potřebný pro pohon trolejbusů je obvykle získáván ze stacionárních zdrojů, jako jsou elektrárny, které mohou využívat různé zdroje energie, od fosilních paliv po obnovitelné zdroje, tedy vodní, větrnou nebo solární energii. Tím, že trolejbusy berou energii z centralizovaného zdroje, mohou potenciálně snižovat svou uhlíkovou stopu v případě, že je elektrická energie vyráběna z obnovitelných zdrojů.

Obrázek 6.1: Konvenční trolejbus Škoda 27Tr v Brně na Merhautově



Zdroj: MM

Hybridní nebo také parciální trolejbusy, které kombinují elektrický pohon s bateriemi, jsou schopny jezdit i mimo trolejové vedení, což zvyšuje jejich flexibilitu a umožňuje jim sloužit na trasách, které nejsou vybaveny trolejovým vedením. Také je lze využít v době údržby trolejového vedení nebo při výpadcích proudu. Těmto vozidlům se věnuje samostatná kapitola níže.

Vzhledem k tomu, že jsou trolejbusy tiché a nevytvářejí lokální emise, mohou výrazně přispět ke zlepšení kvality ovzduší a snížení hlukového znečištění ve městech. Trolejbusová infrastruktura může být také využita i pro další elektrická vozidla, jako jsou elektrické autobusy a umožňuje tak další rozvoj ekologické hromadné dopravy.

Trolejbusy svou kapacitou nahrazují autobusy, jejich délka se pohybuje běžně v rozmezí 12-18 m, na vytížených linkách se používají kloubové (dvoučlánkové) trolejbusy a v menší míře je možno nasadit i velkokapacitní tříčlánkové autobusy, které však mají vyšší nároky na uspořádání komunikací a vyžadují upravit infrastrukturu, např. délku zastávek. Nejdelší trolejbus v ČR má 24,5 m a kapacitu 180 cestujících, při jeho nasazení na trasu mezi Nádražím Veveřské a Letiště V. Havla v Praze se zvýšila přepravní kapacita o 30 % při zachování stejného jízdního řádu.

Celkově nabízejí trolejbusy řadu výhod, které je dělají atraktivní volbou pro městskou hromadnou dopravu, a jejich další rozvoj a integrace do dopravních systémů může hrát klíčovou roli v přechodu k udržitelnějším formám dopravy. Výhody jsou:

- umožňují lokálně bezemisní provoz – trolejbusy jsou poháněny elektrickou energií, to snižuje emise CO₂ a zlepšuje kvalitu ovzduší ve městech;
- energetická účinnost – trolejbusy spotřebovávají energii pouze během jízdy, ve srovnání s naftovým pohonem je trolejbus v tomto směru efektivnější;
- menší vibrace – během jízdy mají trolejbusy menší vibrace než autobusy, produkují méně hluku a zvyšuje cestovní komfort;
- lepší akcelerace – díky elektromotoru mají trolejbusy lepší akceleraci než autobusy s vnitřním spalovacím motorem;
- manévrovací schopnost – trolejbusy mají lepší manévrovací schopnost než tramvaje, není tedy potřeba tak velkorysé uspořádání ulice jako pro tramvaje;
- schopnost zdolávat vyšší převýšení – trolejbusy lépe překonávají větší převýšení lépe než tramvaje a produkují méně emisí, než je tomu u autobusů, síť trolejí lze snadno rozšiřovat a přizpůsobovat měnící se poptávce ve městě;
- využití stávající infrastruktury – trolejbusové systémy mohou být integrovány na stávající napájecí infrastrukturu (například tramvajové měničky), dále je pak mohou využít další typy elektrických vozidel (například elektrobuses);
- delší životnost vozidel – především díky jednoduchosti elektrického pohonu mají trolejbusy oproti autobusům obvykle delší životnost než autobusy s konvenčním pohonem, tím jsou trolejbusy ekonomicky výhodnější v dlouhodobém horizontu, životnost trolejbusu závisí na mnoha faktorech, v průměru se očekává životnost minimálně 14 let při nájezdu okolo 50 tisíc kilometrů ročně, u dieselových autobusů je to garantovaných 12 let.

Jako každý systém mají trolejbusy i svoje nevýhody:

- nutnost vybudovat trakční infrastrukturu – nejdražší složkou jsou náklady na výrobu a osazení trakčních stožárů a armatur trolejového vedení, jakmile jsou však osazeny a opatřeny vhodnou ochranou proti korozi, v účetnictví se mohou odepisovat 20 let;
- závislost na dodávce elektrického proudu, ať už jde o trakční vedení, dobíjecí stanice nebo baterie; krátkodobě lze výpadek trakčního napájení nahradit bateriovou technologií;
- vyšší pořizovací cena než u autobusů srovnatelné velikosti.

6.1.1 Trolejbusy v České republice

Trolejbusy jsou důležitou součástí městské hromadné dopravy v mnoha českých městech. První trolejbusová linka byla zprovozněna v Českých Budějovicích v roce 1909. Dnes existuje v České republice 14 trolejbusových provozů v městech Brno, České Budějovice, Hradec Králové, Chomutov–Jirkov, Jihlava, Mariánské Lázně, Opava, Ostrava, Pardubice, Plzeň, Praha, Teplice, Ústí nad Labem, Zlín–Otrokovice. Nejrozsáhlejší síť má Brno, zatímco nejmenší provoz je v Mariánských Lázních a Praze. Nejdéle jezdí trolejbusy v Plzni (nepřetržitě od roku 1941), nejmladší síť je chomutovsko-jirkovská, zprovozněná v roce 1995 a v roce 2018 byl obnoven provoz trolejbusů v Praze, který je však založen výhradně na technologii parciálních trolejbusů. Naopak provoz byl ukončen ve městech České Velenice, Děčín a Most-Litvínov.

Obrázek 6.2: Poválečný vozový park trolejbusů v Praze



Zdroj: MM

6.1.2 Trolejbusy ve světě

Trolejbusy se ve světě začaly zavádět nejvíce ve 30. a 40. letech 20. století jako náhrada za tramvaje. Jejich rozkvět byl však pozastaven v 50. letech a využívání trolejbusové hromadné dopravy začaly nahrazovat dieselové motory, které se staly nákladově efektivnější a začala se vyzdvihovat nepotřebnost pevné infrastruktury oproti trolejbusům. Vliv na životní prostředí nebylo v té době příliš aktuální téma, a tak mnoho opotřebovaných trolejbusů bylo nahrazeno dieslovými autobusy. Klesající poptávka po trolejbusech a jejich vybavení zvyšovaly náklady a způsobily její další pokles.

Velké krize dodávek ropy v 70. letech tento proces zvrátila. Od té doby byl obnoven zájem o technologii trolejbusů díky potřebě zlepšit hromadnou dopravu a dávala o sobě vědět i otázka životního prostředí. Stávající systémy se tedy začali rozšiřovat a nové systémy zavádět jako například v Římě v Itálii nebo v Landskroně ve Švédsku. Řím, který již provozoval systémy metra a tramvají, zařazuje do trolejbusového systému 300 vozidel s 10 trasami s bezdrátovým provozem v historickém centru.

Značné množství trolejbusů bylo objednáno a dodáno mimo jiné do Atén, Arnhemu, Basileje, Bernu, Boloni, Bostonu, Daytonu, Esslingenu, Janova, Grenoblu, Lausanne, Lince, Lyonu, Neapole, St. Etienne, Salzburgu, San Francisca, Sao Paula, Seattlu a Solingenu.

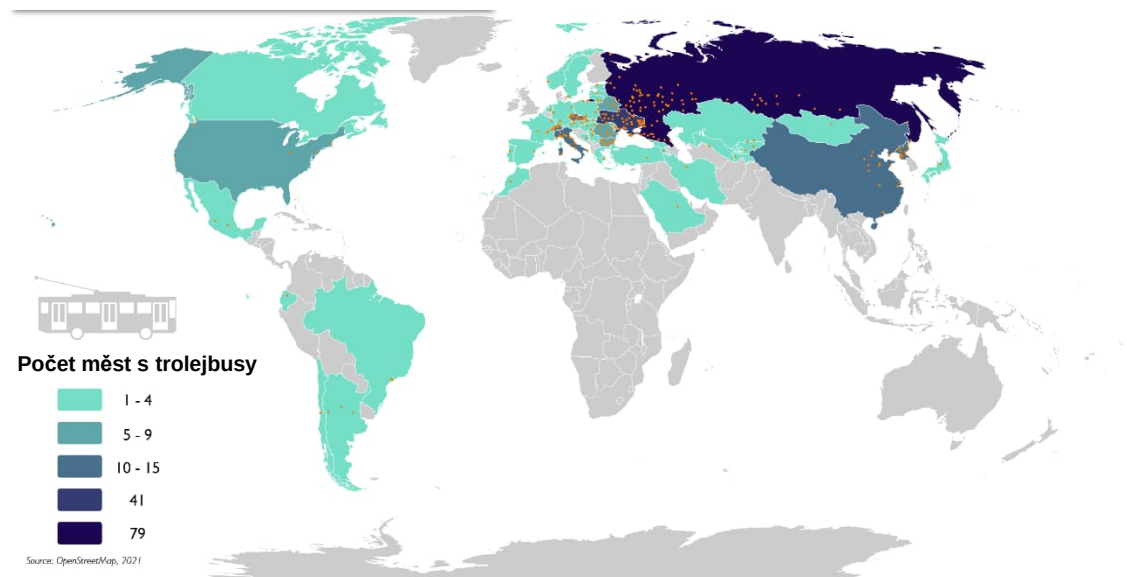
Zájem byl i na místech jako je Hongkong, kde s trolejbusy neměli žádné předchozí zkušenosti. Dceřiná společnost Stagecoach Citybus v Hong Kongu přestavěla dvoupatrový dieselový autobus Dennis na trolejbus a začala jej testovat.

Země s největším počtem trolejbusů v roce 2000 byly Rusko s 89 systémy a 14 110 vozidly. Největším systémem trolejbusů byla v roce 2000 Moskva s 2 032 vozidly. Největší západoevropským systémem jsou Atény s 315 vozidly.¹

¹ Alan Murray's World Trolleybus Encyclopedia, 2000

V roce 2021 bylo ve světě evidováno 276 trolejbusových systémů. Z následující mapy je zřejmé, že většina systémů se nachází v Evropě a v Asii. Rusko má k roku 2021 stále největší počet systémů, a to 79, Ukrajina je s 41 trolejbusovými systémy na druhém místě. Největší trolejbusový systém z hlediska délky je k roku 2021 v Kyjevě na Ukrajině.²

Obrázek 6.3: Trolejbusové systémy ve světě v roce 2021



Zdroj: <https://landgeist.com/>

6.2 Parciální trolejbusy

Parciální trolejbus, také označovaný jako hybridní trolejbus, je speciální typ trolejbusu s hybridním pohonem. Snižuje slabinu trolejbusů ve formě závislosti na trolejovém vedení ve velmi proměnlivém prostředí pouliční dopravy. Parciální trolejbusy mají schopnosti jízdy i mimo úseky s trolejovým vedením. Trolejbusy jsou poháněny stejně jako běžné trolejbusy elektromotorem a vybaveny bateriemi. Na krátké vzdálenosti umožňují baterie dojezd bez trolejového vedení, který se vlivem vývoje technologií vedoucím ke zvýšení výdrže baterií neustále prodlužuje. Parciální trolejbusy jsou často nasazovány na koncových úsecích linek, kde není trolejové vedení, a mohou také sloužit jako nouzová řešení v případě poruchy trolejového vedení, což zvyšuje jejich flexibilitu. K nabíjení baterií dochází nejenom v konečných stanicích nebo v depech (tedy obdobně jako u elektrobusů), ale také využívají dobíjení za jízdy (IMC – In Motion Charging), díky čemuž se eliminují prostoje s nabíjením v konečných stanicích, a tak může parciální trolejbus nahradit dieselové autobusy ve stejném počtu vozidel. Při využití baterií je potřeba rozlišit, zda se jedná o pomocný pohon nebo plnohodnotný pohon, díky kterému je vozidlo mimo trakční vedení také plnohodnotným vozidlem. Pomocný pohon slouží převážně pro krátké jízdy jako je manipulace v depu nebo krátkou jízdu bez trolejí, plnohodnotný pohon musí umožnit trolejbusu jízdu ve stejném komfortu jako při jízdě pod trolejemi i na delší vzdálenost, která může být 40–50 % trasy. Tento podíl je proměnný v závislosti na typu baterie, typu nebo délce vozidla; například výrobce trolejbusu IMC 500 uvádí, že trasa linky musí být vybavena trolejemi z 20–40 % procent³.

² <https://landgeist.com/2021/07/04/trolleybus-systems/>

³ Zdroj: <https://kiepe.knorr-bremse.com/en/de/buses-and-e-mobility/e-systems/imc500-e-bus-with-in-motion-charging-imc/>

Trakční baterie jsou klíčovým prvkem v moderních elektrických a hybridních vozidlech, kde poskytují energii potřebnou pro pohon elektromotorů. Tyto baterie musí být schopné dodávat vysoký výkon a zároveň snést mnoho nabíjecích a vybíjecích cyklů, aby byla zajištěna požadovaná dynamika a životnost vozidla. V případě parciálních trolejbusů, které jsou často využívány pro jízdu mimo trolejbusové vedení, je to velmi důležité. Trakční baterie jsou konstruovány s ohledem na tyto náročné podmínky, a proto mají robustní konstrukci elektrod a jsou stavěné na velká cyklická zatížení. Například některé trakční baterie mohou po 1–200 cyklech stále udržovat přes 80 % své původní kapacity. Vývoj v oblasti trakčních baterií také směřuje ke snižování cen, což je důležité pro rozšiřování využití elektrických vozidel. Přestože jsou trakční baterie nákladnou součástí, jejich dlouhá životnost a schopnost udržet vysoký výkon jsou nezbytné pro efektivní a ekologický provoz trolejbusů a dalších elektrických vozidel.

Obrázek 6.4: Testování bateriových trolejbusů v Plzni



Zdroj: Projekt EfficienCE: Testování bateriových technologií pro energeticky šetrou MHD, PMDP, Jiří Kohout

Při velkém testování bateriových trolejbusů v Plzni na přelomu let 2019 a 2020 byl na lince 19 zvolen poměr vzdáleností 57–59 % úseku bez trakčního trolejového vedení a 41–43 % pod trakčním vedením. Vyjádřeno časově (včetně stání na konečných a nižší cestovní rychlosti v centru města) to znamenalo 64–66 % jízdy a stání s možností nabíjení a 34–36 % jízdy a stání bez nabíjení. V této provozní situaci byla využitelná kapacita baterie vyčerpána obvykle ze 40–80 %. Při testování byla zkoumána i hloubka vybití do hodnot menších než 10 %. Rychlost nabíjení za jízdy k nabití na 98 % byla bez topení průměrně 3,9 km za 14 minut cestovní doby a při zapnutém topení 5,4 km za 28 minut⁴. Stěžejní závěry testování jsou:

- Organizace provozu musí zajistit, aby před každou jízdou proběhlo plné nabití baterií. Jinak dochází kumulativně ke snižování uložené energie v bateriích až k nepříjemným hodnotám pod 20 % zbývající kapacity.
- Pro vybíjení baterie existuje zásadní závislost nejen na vzdálenosti ujeté bez trakčního trolejového vedení (nejčastěji sledovaný parametr), ale také na topení a na čase jízdy.
- Doporučeno je soustavné sledování parametrů (úbytky kapacity, oteplování baterie...)
- Teprve dlouhodobé testování v řádu let odpoví na otázky parametrů dojezdu při stavu baterie ke konci životnosti a také otázka vlivu extrémních klimatických podmínek.

Na základě úspěšného testování byla zkušební linka přeměněna na stálou a pod číslem 11 jezdí v Plzni od Ústředního hřbitova do Radčic s následným větvením do Malesic, resp. Křimic.

⁴ Zdroj: Projekt EfficienCE: Testování bateriových technologií pro energeticky šetrou MHD, PMDP, Jiří Kohout

Mezi hlavní výhody parciálních trolejbusů patří:

- lokálně bezemisní provoz přispívá k čistšímu ovzduší ve městech;
- vysoká energetická účinnost – spotřebovávají energii pouze během jízdy, ve srovnání s naftovým pohonem je trolejbus v tomto směru efektivnější;
- flexibilita – díky bateriím mohou pokračovat v jízdě i mimo trolejové vedení, což jim dává velkou výhodu při absenci trolejí, krajně i při lokálních uzavírkách a měnících se trasách linek;
- tichý provoz – nižší hluk a vibrace přispívá ke snížení hlukové zátěže z dopravy a vyššímu komfortu jízdy;
- stejný počet vozidel a personálu jako u dieselových autobusů díky nabíjení IMC;
- využití stávající napájecí infrastruktury bez nutnosti značných investic do nabíjecích stanic.

Přestože bateriové trolejbusy přinášejí mnoho výhod, je důležité pečlivě zvážit nevýhody a najít optimální rovnováhu mezi ekologickými přínosy a provozními omezeními.

Hlavní nevýhody jsou:

- kapacita a údržba baterií, která omezuje dojezd vozidel a vyžaduje pravidelné nabíjení;
- vyšší hmotnost vozidla se zástavbou trakčních baterií, s možnými dopady na nižší obsaditelnost vozidla;
- doba potřebná k nabíjení baterií může být také výzvou, zejména v hustém provozu, kde není dostatek času na konečných zastávkách pro kompletní dobíjení baterií;
- energetická náročnost topení a klimatizace, která může v zimním období zvýšit spotřebu energie až o 100 %, což výrazně snižuje dojezd vozidla;
- plánování a koordinace – důležitá je potřeba koordinace nabíjecích cyklů s jízdami řády a udržení dostatečného počtu vozidel v provozu během nabíjení.

6.2.1 Parciální trolejbusy v České republice

V samotném Brně existuje pilotní projekt s nově nasazenými parciálními trolejbusy, celkově jich DPMB využívá 30. Nasazeny jsou na trase z Bystrce na Sadovou a do Soběšic. Během cesty z Bystrce se baterie nabíjí, a od Semilasy pokračují vozy po trase linky 43 na elektrickou energii z baterií. Ačkoliv trasa vede v kopcovitém terénu, prvních poznatky interních testů ukazují, že kapacita baterie po cestě do Soběšic a Králova Pole je na 20 %, což pro jízdu s rezervou stačí, po připojení na trakční vedení se baterie během cesty na trolejích dobije na 100 %. Pilotní projekt vznikl sloučením 2 linek, nyní tak obyvatelé Sadové nemusí směrem do oblasti Slovanského náměstí přestupovat. Do budoucna jsou v Brně plánovány další projekty s využitím parciálních trolejbusů, nabízí se oblasti jako jsou Slatina, Černovické trasy a letiště a některé další linky.⁵

⁵ Zdroj: [Brněnské poprvé. Do Soběšic vyjely parciální trolejbusy | Československý Dopravák \(cs-dopravak.cz\)](#)

Obrázek 6.5: Parciální trolejbus Škoda 26Tr v provozu DPMB



Zdroj: <https://foto.bmhd.cz/>

V rámci projektu „parciální trolejbusy v Jihlavě II“ bylo pořízeno 6 nových dvounápravových nízkopodlažních třídvéřových parciálních trolejbusů určených pro provoz v městské hromadné dopravě, které nahradily 6 zastaralých dosluhujících trolejbusů značky ŠKODA 24 TR ve stáří 15–17 let. Projekt „Rozšíření trolejbusové dopravy Jihlava – sever“ se zaměřil na propojení lokality Bedřichov a průmyslové zóny s trolejbusovou sítí, konkrétně na trase Kaufland–Bedřichov–Bosch. Nasazení parciálních trolejbusů umožní bezemisní dopravní obslužnost i pro oblasti Pávov, Červený Kříž a Antonínův Důl. Tyto trolejbusy budou také užitečné při operativních změnách tras MHD, zejména během výluk.⁶

Parciální trolejbusy provozuje i Dopravní podnik Praha na dvou linkách. Na lince Palmovka–Miškovice byl 1. února 2024 spuštěn ostrý provoz, při kterém provozuje Dopravní podnik hl. m. Prahy (dále jen DPP) 15 kloubových bateriových trolejbusů SOR TNS 18 a troleje pokrývají cca 50 % trasy. Realizace trati proběhla v letech 2021–2022, avšak na této lince také proběhl testovací provoz trolejbusů na úseku ve stoupání v Prosecké ulici již v roce 2017. Na základě pozitivních výsledků tohoto testování přistoupil DPP k přípravě plnohodnotných elektrifikačních projektů. Dále vznikla linka z Nádraží Veveř na Letiště Václava Havla spuštěná v ostrém provozu 6. 3. 2024, na které je provozováno 20 tříčlánkových bateriových trolejbusů Škoda-Solaris o délce 24 m. Výhledově DPP plánuje i další rozšiřování linek využívajících bateriových trolejbusů v záměru „Elektrifikace autobusových linek – levý břeh“, který zahrnuje projekční přípravu linek číslo 131 (Hradčanská–Bořislavka), 137 (Na Knížecí – U Waltrovky), 176 (Karlovo náměstí – Stadion Strahov) a 191 (Na Knížecí – Letiště).⁷

⁶ Zdroj: [Parciální trolejbusy v Jihlavě II: Dopravní podnik města Jihlavy a.s. \(dpmj.cz\)](https://dpmj.cz/)

⁷ Zdroj: <https://pid.cz/>

Obrázek 6.6: Testovací provoz tříčlánekového trolejbusu Škoda-Solaris 24M na první novodobé pražské trolejbusové trati z Palmovky do Čakovic (prosinec 2023)



Zdroj: MM

Hradec Králové získal díky evropským projektům IROP a ITI vydaných v roce 2017 možnost nakoupit 9 parciálních trolejbusů SOR NS 12 electric. Při plánování realizace se počítalo s denní výpravou 6 parciálních trolejbusů na lince 27 (Slezské předměstí-cihelna – Nový Hradec Králové). Z konečné zastávky byly trolejbusy plánovány asi 5 km pod trolejovým vedením, následně pak 2,4 km na baterie ke konečné Pod Strání, kde zároveň probíhala výstavba části trolejové trati spojující tuto konečnou s ulicí Brněnskou s cílem převést částečně kapacitu trolejbusů z konečné Nový Hradec Králové, a po otočení opět zpět 2,4 km na baterie a 5 km pod trolejí. Dopravní podnik města Hradce Králové nechtěl provozovat článkové parciální trolejbusy s odůvodněním, že s vozidly tohoto typu je malá provozní zkušenost a jejich kapacita je plně využita jen ve špičkách přepravní poptávky. Bylo tedy nutné nahradit ztracenou kapacitu jinými linkami v zastižených úsecích. Zbylé 3 parciální trolejbusy byly nasazeny na další linku s podílem trasy 70 % pod trolejovým vedením a 30 % místo něj. Byly tedy vypraveny všechny dostupné trolejbusy a v případě údržby a závad budou muset být nahrazeny dieselovými autobusy.⁸

⁸ Zdroj: [Hradec Králové zvýší podíl elektrické dopravy ve městě | Dopravní podnik města Hradce Králové \(dpmhk.cz\)](https://www.dpmhk.cz/)

Obrázek 6.7: Brněnský parciální trolejbus Škoda 32Tr na lince 30 v Soběšicích



Zdroj: MM

6.2.2 Parciální trolejbusy v zahraničí

Trolejbusová doprava včetně systémů parciálních trolejbusů zažívá renesanci i v zahraničí. V oživení a dalším rozvoji trolejbusových systémů se angažuje například spolek „trolley:motion“, který si jako hlavní cíle vytknul:

- informovat a šířit osvětu o systémech veřejné dopravy, zejména trolejbusových;
- organizovat mezinárodní odborné konference zaměřené na rozvoj trolejbusové dopravy;
- spolupracovat na mezinárodních výzkumných projektech spojených s trolejbusy;
- podporovat výměnu zkušeností a propojovat města a dopravce působící v oblasti trolejbusové dopravy;

Trolejbusová doprava se v současné době stává atraktivní alternativou dieselového pohonu vozidel veřejné dopravy právě díky možnosti kombinace jízdy části trasy pod trolejovým vedením a části trasy na energii dodávanou bateriemi. To odstraňuje hlavní nevýhodu klasických trolejbusů spočívající v nutnosti jízdy pod trolejovým vedením, jehož výstavba je náročná jak finančně, tak mnohde i technicky. Zároveň je v mnoha evropských městech oceňováno, že je možné baterie parciálních trolejbusů nabíjet i při jízdě pod trolejovým vedením, což podstatně zkracuje čas potřebný na nabíjení na konečných. Využita je rovněž možnost rekuperace elektrické energie.

Toho využili například v norském Bergenu, kde na stávající trolejbusovou linku nasadili parciální trolejbusy. Tento krok městu umožnil prodloužit tuto linku o 2 kilometry až do centra města, kde nebylo trolejové vedení, a propojit ji s jinou stávající trolejbusovou linkou končící na druhé straně centrální oblasti. Tím došlo jednak ke zlepšení obsluhy centra lokálně bezemisní dopravou, jednak k přímému propojení dvou předměstí skrze centrum bez nutnosti přestupování.

Obrázek 6.8: Parciální trolejbus Solaris Trollino 18 pro Bergen



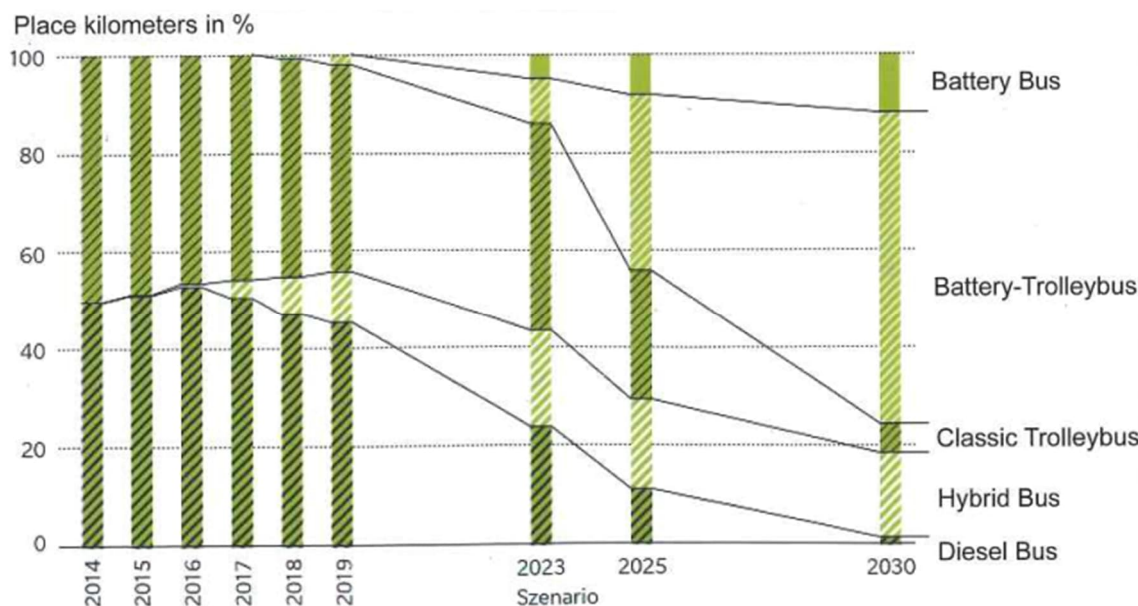
Zdroj: www.cs-dopravak.cz

Parciální trolejbusy byly na základě studie zvoleny také v německém hlavním městě Berlíně, kde se pro linku spojující část Spandau s nádražím Zoologischer Garten ukázaly celkově výhodnější než bateriové autobusy. Přes vyšší počáteční investici bylo řešení spočívající v provozu parciálních trolejbusů z dlouhodobého pohledu referenčního období 30 let co se týče celkových nákladů srovnatelné s bateriovými autobusy. Díky vysoké kapacitě zvolených dvoučlankových vozidel parciálních trolejbusů bylo dosaženo nižších celkových nákladů na jeden osobokilometr. Za výhodu byl při posuzování investice považován i fakt, že realizované trolejové vedení by bylo v budoucnu využitelné i pro tramvaje.

Technologii parciálních trolejbusů je možné využít i v příměstské dopravě, jak je tomu například v německém Eberswalde. Na okružní lince mezi městy Eberswalde a Finowfurt, která měří celkem 29,5 kilometru, je pouze 13 kilometrů pod trolejovým vedením. Více než polovina ujeté vzdálenosti vozidla je tudíž realizována na baterie.

Parciální trolejbusy hojně využívá dopravní podnik ve švýcarském Curychu. Dle dostupných údajů z roku 2021 využívá kolem osmdesáti vozidel s tímto pohonem. Tyto trolejbusy jsou nabíjeny jednak při jízdě pod trolejovým vedením, jednak při nočních odstavech v garážích. Dopravce VBZ do roku 2030 plánuje postupné navyšování zastoupení hybridních trolejbusů ve vozovém parku, zejména na úkor vozidel s dieselovým pohonem. V cílovém roce mají mít hybridní trolejbusy největší podíl na dopravním výkonu ve veřejné dopravě v Zürichu, jak je prezentováno na následujícím obrázku.

Obrázek 6.9: Plánovaný podíl jednotlivých typů pohonů vozidel na místových kilometrech v Zürichu



Zdroj: Hondius, Harry: Trolley:motion – Final Trolley 2.0 Conference, 2020

Rovněž dopravce VBL v sousedním Lucernu spoléhá ve velké míře na hybridní trolejbusy. Zařazení těchto vozidel do provozu přineslo do veřejné dopravy ve městě větší flexibilitu při obsluze oblastí, ve kterých není instalováno trolejové vedení. Zároveň hybridní trolejbusy umožňují bezemisní provoz. A to v případě Lucernu nejen lokálně, protože veškerá elektrická energie používaná k provozu veřejné dopravy včetně trolejbusů a elektrobuses je získávána z obnovitelných zdrojů.⁹ Cílem VBL pak je do roku 2040 provozovat pouze bezemisní vozidla napájená energií z obnovitelných zdrojů.

Na technologii parciálních trolejbusů je na základě zahraničních zkušeností oceňována především možnost dobíjení baterií za jízdy pod trolejovým vedením, což zásadně zkracuje čas nutný pro nabíjení vozidel na konečných. Výhodou také je, že tato vozidla mohou být v porovnání s elektrobusem kapacitnější a sloužit tak na více vytížených linkách. Zajímavým řešením je rovněž využití stávající infrastruktury trolejí a prodloužení dané linky do trolejbusem dosud neobsluhovaných oblastí.

6.3 Elektrické autobusy

Elektrobuses představují významný krok směrem k udržitelnější a ekologičtější městské hromadné dopravě, neboť nabízejí alternativu k tradičním autobusům s nulovými lokálními emisemi. Požadavky na elektrobuses jsou však komplexní a zahrnují rychlé dobíjení, dostatečný dojezd, srovnatelnou obsaditelnost a výkon, stejnou hmotnost jako klasické autobusy a minimalizaci potřeby drážní infrastruktury.

Rychlé dobíjení je klíčové pro efektivní provoz elektrobuses, aby bylo možné vozidla rychle připravit na další jízdu bez dlouhých přestávek. To vyžaduje vysokokapacitní baterie a optimalizaci spotřeby energie. Obsaditelnost a výkon elektrobuses musí odpovídat klasickým autobusům, aby nedošlo k omezení služeb pro cestující. Hmotnost vozidla je také důležitá, protože ovlivňuje jak dojezd, tak opotřebení městské infrastruktury.

⁹ <https://www.vbl.ch/elektromobilitaet/trolley-und-batterie-trolleybus/>

Ačkoliv je požadavek na univerzálnost vozidla a absence drážní infrastruktury lákavý, je třeba pečlivě zvážit investice do dobíjecích stanic a možného dopadu na městský rozpočet. Výběr a implementace systému elektrobuseů je dlouhodobý závazek, který vyžaduje pečlivé plánování a zvážení všech aspektů, včetně finančních a technologických trendů. V konečném důsledku je důležité najít rovnováhu mezi ideálními požadavky a realitou provozu, která zahrnuje kompromisy a možné kombinace různých typů vozidel, aby bylo dosaženo optimálního řešení pro konkrétní město.

Existuje několik druhů elektrobuseů, a to:

- **Elektrobusey s klasickými akumulátory:** jedná se o elektrobusey s akumulátory, které je potřeba dlouho nabíjet v řádech hodin, přes všechny technické pokroky jsou těžké a drahé, jejich hmotnost tvoří 15–20 % hmotnosti vozidla a přibližně stejný procentní podíl jeho pořizovací ceny. Umístění akumulátorů je na úkor místa pro cestujících, s rostoucí dojezdovou vzdáleností se snižuje obsaditelnost vozidla. Dojezd vozidel je 150–180 km, přičemž se akumulátor nabíjí 6-8 hodin. Při dobíjení je vozidlo nepoužitelné a musí být nahrazeno vozidlem jiným, což vede k tomu, že je nutno udržovat v provozu více vozidel, než je na lince potřeba, čímž se výrazně zvyšují investiční náklady. Důležité je v tomto případě přesné plánování míst a časů dobíjení konkrétních vozidel tak, aby se minimalizovali prostoje způsobené dobíjením.
- **Oportunitní elektrobusey s nabíjením přes vrchní kontakt:** představují zajímavý kompromis mezi bateriovými elektrobusey a trolejbusy. Tyto autobusy mají tu výhodu, že používají relativně malé a lehké baterie, které nezabírají mnoho místa a nezvyšují hmotnost vozidla. Díky tomu nejsou omezeny v kapacitě a mohou efektivně sloužit na kratších trasách, kde je možné baterii rychle dobít na zastávkách vybavených speciálními dobíjecími stanicemi. Rychlost nabití baterie je totožná s rychlostí vybití, vydrží vzdálenost mezi 3-4 zastávkami, přibližně tedy 1500–2 000 m, pak je potřeba nabít znovu. Dobití je možné během pobytu v zastávce k tomu uzpůsobené. Je tedy nutné budovat traťovou napájecí a dobíjecí infrastrukturu a kontaktní zařízení. Jedním ze systémů, který využívá této technologie, je systém TOSA (Trolleybus Optimisation Système Alimentation). Vozidlo vypadá jako trolejbus, avšak místo trolejí, které ho spojují s nadzemním vedením, má řízené pohyblivé rameno, které se během sekundy připojí k nabíjecímu zařízení integrovanému do střechy autobusu. Palubní baterie je během připojení napájena vysoce výkonnou technologií rychlého nabíjení po dobu 20 sekund, což je potřebná doba pro nástup a výstup cestujících. Díky této technologii není potřeba velkokapacitní baterie s vysokou hmotností, čímž vozidlo zajišťuje více prostoru pro cestující a větší energetickou účinnost.
- **Elektrobusey využívající technologii bezdrátového nabíjení:** technologie umožňuje dobíjení baterií vozidla během krátkých zastávek na trase, aniž by bylo nutné použít kabely. Jedná se o dvě soustavy cívek, z nichž jedna je umístěna pod podlahou elektrobuseu a druhá je zabudována do vozovky a opatřena pojížděným krytem. Tyto cívky se buď dají umístit v určitých vzdálenostech, např. 1000–2000 m, tedy opět v prostoru každé 3. až 4. zastávky, nebo se dají umístit i mezi zastávkami např. ve vyhrazeném jízdním pruhu, v prostoru před křižovatkou u semaforů. Baterie se tedy nabíjí bezdrátově pomocí elektromagnetické indukce. Nicméně je nutno vybudovat infrastrukturu soustavami cívek. Tato technologie má spoustu nevýhod a je spíše testovací než obvyklá.

Klíčové výhody elektrobuseů jsou:

- lokálně bezemisní – neprodukují emise v místě provozu, a to při využívání elektrického topení;
- tichý provoz – nižší hluk a vibrace přispívá ke snížení hlukové zátěže z dopravy a vyššímu komfortu jízdy;
- nižší provozní náklady – elektrina je obvykle levnější než palivo pro spalovací motory;

- snížení závislosti na fosilních palivech;
- inovace a technologický pokrok – trh s elektrobusy se stává stále důležitějším pro vývoj bateriových zdrojů. S rostoucí hustotou energie a klesajícími cenami baterií se zvyšuje dojezd elektrobusů a zlepšuje se jejich schopnost zvládnout různé trasy.

Tak jako ostatní pohony mají i elektrobusy své nevýhody:

- vyšší pořizovací cena – elektrobusy jsou obvykle dražší než jejich naftové protějšky, především kvůli ceně baterií a elektromotorů;
- omezený dojezd – i když se dojezd elektrobusů zlepšuje, stále mají omezený dosah na jedno nabití, na dlouhých trasách je tedy nutné pečlivé plánování;
- délka dobíjení – dobíjení elektrobusů může trvat několik hodin, v případě potřeby rychlého nasazení vozidla je nutné zvážit možné alternativy;
- omezená nabídka modelů – výběr elektrobusů je stále omezený ve srovnání s tradičními autobusy;
- nutnost budování nabíjecí infrastruktury, dotační titul EU umožňuje nabíjení formou zásuvky nebo čtyřpólovým nabíjením, dvoupólové nabíjení pro trolejbusy není pro elektrobusy obvyklé (v podmínkách ČR se však preferuje ve městech s trolejbusovou či tramvajovou napájecí infrastrukturou);
- životnost baterií – baterie elektrobusů mají omezenou životnost a jejich výměna představuje další investice, jejich životnost závisí především na čase využití, teplotách, kterým jsou vystavovány (extrémní horka nebo zima mohou degradaci baterií zrychlovat), a nabíjecích cyklech (čím více cyklů absolvuje, tím rychleji degraduje).

6.3.1 Elektrobusy v České republice

Hradec Králové se stal průkopníkem v oblasti elektromobility v městské hromadné dopravě. Od roku 2013 zde jezdí elektrobusy, které již ujely miliony kilometrů. Flotila 20 elektrobusů SOR NS 12 ELECTRIC, pořízená v roce 2018, výrazně přispěla ke snížení emisí a hlučnosti ve městě. Tyto moderní vozy jsou plně klimatizované, nabízejí USB zásuvky pro dobíjení mobilních zařízení a mají kapacitu až 100 cestujících. Díky rekuperaci energie dokáží vrátit přes 30 % energie zpět do baterií, což zvyšuje jejich efektivitu.¹⁰

Nejvíce elektrobusů v ČR využívá Dopravní podnik Ostrava a.s. (DPO), kde je nyní v provozu 32 elektrobusů, z nichž 26 mají vybavení pro průběžné nabíjení a jsou nabíjeny pomocí strategicky rozmístěných rychlonabíječek ve Svinově, na Hranečnicku a nově i v centru města, kde jsou tři nabíjecí ramena. Díky těmto nabíjecím místům je každý 10. vypravený autobus DPO elektrobus.¹¹

V Českých Budějovicích jsou elektrobusy od roku 2018 užívány na obsluhu historického jádra města. Vozidla od výrobce Solaris s elektrickou výzbrojí Škoda jsou užší (2,4 m) a kratší (8,9 m) než obvyklé elektrobusy, aby se vypořádaly se stísněnými poměry úzkých ulic. Nabíjení probíhá z izolovaného úseku trakčního trolejového vedení, a to dvoupólovým způsobem, s ohledem na paralelní provoz napájecí infrastruktury pro trolejbusy ve městě.

¹⁰ Zdroj: [Hradec Králové zvýší podíl elektrické dopravy ve městě | Dopravní podnik města Hradce Králové \(dpmhk.cz\)](#)

¹¹ Zdroj: [Podíl nových elektrobusů se loni v EU zvýšil na 16 %, lídrem v ČR je Ostrava | Volty](#)

Obrázek 6.10: Elektrobus SOR NS 12 electric v Hradci Králové



Zdroj: <https://seznam-autobusu.cz/>

Obrázek 6.11: Elektrobus Škoda-Solaris v centru Českých Budějovic



Zdroj: MM

V Praze se stále více rozšiřuje provoz elektrobusů, což přináší ekologičtější a tišší dopravu. Pražský dopravní podnik nasadil první elektrobusy Škoda E'City na linky 154, 213 a o víkendech také na linku 124. Tyto elektrobusy mají dojezd až 180 km na jedno nabití a dobíjejí se na konečných stanicích pomocí pantografu. ¹²

¹² Zdroj: <https://www.dpp.cz/spolecnost/aktuality>

Testování elektrobusu proběhlo v roce 2022 i v ve městě Most pod záštitou Dopravního podniku měst Mostu a Litvínova (DPmML), a.s. zapůjčeným elektrobusem byl SOR NS 12 electric. Elektrobus jezdil v Mostě na linkách 9, 17, 20 a 30. Poté byl provozován 2 týdny v Litvínově, kde obsluhoval linky 13 a 23. Za celou dobu fungování ujel více než 3600 km, nabití vozidla trvalo 8 hodin, po kterém byl elektrobus schopen urazit více než 200 km. První zpětnou vazbu na provoz elektrobusu byly kladné ohlasy cestujících zejména na tichou jízdu vozidla. V prosinci 2023 byl výrobcem zapůjčený elektrobus Iveco E-WAY testován k ověření jízdních vlastností, dojezdu a rychlosti nabíjení elektrobusu v nepříznivých klimatických podmínkách na lince 17. Následně DPmML testovací elektrobus odkoupil a od ledna 2024 provozuje.¹³

V rámci projektu ZeEUS (Zero Emission Urban Bus System) byly v Plzni v roce 2015 uvedeny do ostrého provozu dva elektrobusy Škoda Perun HP. Autobusy byly nasazeny na linku 22, současně byla do provozu uvedena nová nabíjecí stanice na konečné autobusových linek v Krašovské ulici. Vozidlo využívá lithium-iontové bateriové články se schopností generování vysokého výkonu. Dobíjení je zajištěno plně automatickou nabíjecí stanicí, která dobíjí baterie na dojezd téměř 40 kilometrů během šesti až osmi minut, tj. téměř desetkrát rychleji, než se dobije mobilní telefon. Propojení dobíjecí stanice s autobusem se provádí pomocí plně automatizovaného dobíjecího ramene s kontakty umístěnými na střeše vozidla.¹⁴

6.3.2 Elektrobusy v zahraničí

Elektrické autobusy se čím dál více uplatňují i ve flotilách zahraničních dopravců poskytujících služby veřejné dopravy osob. Příkladem může být společnost VBZ ve švýcarském Curychu, která se soustředí na zvyšování podílu lokálně bezemisních druhů veřejné dopravy a kromě tramvají, trolejbusů a hybridních trolejbusů provozuje právě i elektrobusy. Již v současnosti tento dopravní podnik díky provozování systému tramvají a trolejbusů přepraví více než 80 % cestujících bez produkce emisí skleníkových plynů. A to nejen lokálně, ale vzhledem k tomu, že elektrická energie používaná k jejich provozu pochází výhradně z obnovitelných zdrojů, také celkově. Do roku 2030 si pak VBZ klade za cíl kompletně bezemisní provoz, který má být dosažen postupnou obměnou vozového parku autobusů, v rámci které budou dieselové autobusy nahrazeny vozidly s elektrickým bateriovým pohonem.¹⁵

V současné době VBZ nasazuje na nejvíce zatížené linky s krátkými intervaly kapacitní trolejbusová vozidla, zatímco elektrobusy se osvědčily na méně zatížených linkách, kde je možné dobíjet baterie vozidel během noční pauzy v garážích bez nutnosti budovat dobíjecí infrastrukturu na trasách linek.

Za účelem ověření provozních vlastností vozidel a jejich adekvátnímu výběru pro provoz na jednotlivých linkách probíhá rozsáhlé testování elektrických autobusů, které byly za tímto účelem pronajaty. Na základě výsledků tohoto dlouhodobého testování budou následně vybrána vozidla s odpovídajícími parametry. Dopravce se zaměřuje mimo jiné na potřebný výkon motoru nebo dobu nabíjení v reálném provozu, testováno je také, na které linky by bylo nejvhodnější elektrobusy nasadit. Podle vyjádření zástupců dopravce neprobíhají testy zcela bez komplikací, v každém případě však umožňují vyhnout se komplikacím většího měřítka v ostrém provozu.

¹³ Zdroj: <https://www.cs-dopravak.cz/most-ma-svuj-prvni-elektrobus-odkoupil-predvadeci-e-way/>

¹⁴ Zdroj: [Plzeň zahájila provoz dvou elektrobusů a dobíjecí stanice : Plzeň - oficiální informační server města \(plzen.eu\)](https://www.plzen.eu/)

¹⁵ Zdroj: Batteriebusse: Wir testen für die Zukunft, vbz.ch

Obrázek 6.12: Kloubový elektrobus MAN v Hamburku, Německo



Zdroj: MM

6.4 Vodíkové autobusy

Technologie vodíkových autobusů má řadu zastánců, a naopak také zarytých odpůrců. V porovnání s parciálními trolejbusy nebo elektrickými autobusy je však stále méně rozvinutá a používaná spíše v testovacím provozu v jednotkách autobusů než v měřítku běžného provozu. Důvodem může být výše provozních nákladů, obtížná dostupnost plnicích stanic a jejich investiční náročnost nebo obecně nižší úspěšnost a rychlost vývoje této technologie. Zatímco elektrický pohon se postupně rozšiřuje i do kategorie osobních automobilů, s čímž souvisí neustálý technologický vývoj baterií a zvyšování jejich kapacity, vodík se coby palivo zatím příliš neprosadil ani u osobních automobilů, ani u vozidel veřejné dopravy.

Při určitém zjednodušení lze konstatovat, že vodíkové autobusy mohou pro pohon využívat dvě technologie. První je založena na přímém spalování vodíku, druhá spočívá ve výrobě elektrické energie z vodíkových palivových článků přímo ve vozidle. V současnosti je jako progresivnější vnímána technologie palivových článků, které nevyužívají přímé spalování vodíku, ale v nichž se energie v atomech převádí přímo na elektrickou energii, kterou já následně poháněn elektromotor.

Stále nevyřešeným problémem je energetická náročnost samotné výroby vodíku, jež je vysoká. V souvislosti s ekologickými cíli, k nimž má použití vodíkového pohonu směřovat, velmi záleží i na energetickém mixu konkrétní země nebo samotného odběratele. Je zřejmé, že například použití elektrické energie získané ze spalování fosilních paliv k výrobě vodíku by bylo kontraproduktivní. Cílem je vyrábět vodík za použití elektřiny z obnovitelných zdrojů, ideálně v období výrazných nabídkových převisů, které jsou pro tyto zdroje typické. Stále neuspokojivá však zůstává nízká energetická účinnost výroby tohoto paliva.

V následujících podkapitolách jsou uvedeny příklady z vybraných evropských zemí i z Česka, které demonstrují zkušenosti s vodíkovým pohonem v autobusové dopravě.

6.4.1 Projekt JIVE 2

V různých evropských městech probíhá testovací provoz vodíkových autobusů s technologií palivových článků, ve kterých se chemickou reakcí vyrábí elektrická energie následně pohánějící motor autobusu. Tímto druhem pohonu veřejné dopravy se zabývá i evropský projekt JIVE 2 (Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe). V rámci této iniciativy je provozováno celkem 157 vodíkových autobusů ve 12 evropských městech. Projekt navazuje na původní projekt JIVE, se kterým je nyní v časovém souběhu. Souhrnně je v rámci těchto dvou projektů provozováno téměř 300 vodíkových autobusů v mnoha evropských zemích včetně Francie, Německa nebo Nizozemska.

Mezi hlavní cíle projektu patří:

- dosáhnout přijatelné ceny vodíkového autobusu ve výši cca 625–650 tis. EUR, která bude plynout z většího objemu výroby těchto vozidel;
- motivovat výrobce autobusů k výrobě tohoto typu vozidel;
- ověřit vlastnosti vodíkových autobusů v reálném provozu;
- provozovat vozidla dlouhodobě po dobu nejméně tří let s nájezdem 150 tis. Km;
- demonstrovat způsoby získání levného paliva pro tato vozidla a stimulovat poptávku po této technologii ve veřejné dopravě.

Vzhledem k tomu, že projekt v současné době stále probíhá, nebyly zatím uveřejněny žádné z něj vyplývající závěry, míra naplnění cílů ani doporučení.

6.4.2 Nasazení vodíkových autobusů v běžném provozu v zahraničí

Vodíkové autobusy jsou nasazovány do běžného provozu v řadě evropských měst. Příkladem může být německý Duisburg, kde bylo v listopadu 2022 tamější radnicí rozhodnuto o nákupu vozidel s touto technologií¹⁶. Do roku 2030 má flotila dopravce DVG dosáhnout stovky vodíkových autobusů a přispět k transformaci na bezemisní veřejnou dopravu ve městě. Pohon autobusů bude založený na výrobě elektrické energie elektrolýzou, energie bude následně pohánět elektromotor vozidla. Maximální dojezd vozidel by měl být 400 km. Prvních jedenáct standardních autobusů by mělo být dodáno do konce roku 2024, v roce 2025 pak dalších 14 kloubových vozidel s vodíkovým pohonem. Dodání autobusů pro běžný provoz předchází testovací fáze v průběhu roku 2024, která má identifikovat možné problematické vlastnosti této technologie. Ty by měly být adekvátně vyřešeny u autobusů, jež budou dodány pro sériový provoz.

V souvislosti s provozem vodíkových autobusů uzavřel dopravce DVG také smlouvu s dodavatelem tohoto paliva. Dodávaný vodík bude vyráběn za použití elektřiny generované ve větrných elektrárnách, čímž bude zajištěna bezemisnost nejen lokální, ale rovněž při jeho výrobě. Vozidla budou plněna palivem mobilní plnicí stanicí, což je technologie, kterou Duisburg využije jako první město v Německu. Do budoucna se pak počítá s výstavbou stacionární plnicí stanice. Dopravce také uvádí, že před rozhodnutím o nákupu vodíkových autobusů byla vypracována studie, která porovnála vodíkový pohon s technologií elektrobuses. Na základě této studie bylo rozhodnuto o nákupu vodíkových autobusů, jež mají lépe vyhovovat specifickým podmínkám a typu provozu v Duisburgu. Na webu DVG je prezentováno, že výhoda vodíkového pohonu oproti elektrobuses spočívá mimo jiné v tom, že pro vodíkové autobusy není třeba budovat dodatečnou infrastrukturu, což je výhodnější z hlediska nákladů. Výše uvedená studie porovnávající vodíkové autobusy a elektrobuses nebyla zveřejněna.

¹⁶ Zdroj: <https://www.dvg-duisburg.de/wasserstoffbusse>

Obrázek 6.13: Vodíkový autobus Solaris v průběhu testování před nasazením v Duisburgu



Zdroj: <https://www.dvg-duisburg.de/wasserstoffbusse>

Podobný projekt, v rámci kterého však byly zakoupeny pouze jednotky vozidel poháněných vodíkovým palivem, je od roku 2021 provozován dopravcem DB Regio Bus Nord v okrese Nordfriesland na severu Německa. I v tomto případě se počítá s výrobou vodíku za použití lokálně vyrobené elektřiny z větrných elektráren. Dopravce uvádí, že touto technologií dojde v porovnání s provozem naftového vozidla při ročním proběhu cca 80 tis. km k úspoře přibližně 68 tun CO₂ na vozidlo za rok.¹⁷

Vodík je používán jako palivo u dopravce Postbus v Rakousku, konkrétně na lince z centra na vídeňské letiště, v Grazu nebo Korutanech. Ten uvádí jako velkou výhodu této technologie oproti elektrobusům rychlost plnění vodíkem. Pro vozidlo s dojezdem kolem 400 kilometrů trvá plnění 30-35 kg vodíku přibližně 15 minut, což je výrazně méně než doba nutná k nabíjení baterií.¹⁸

Zahraniční zdroje zabývající se provozem vodíkových autobusů ve veřejné dopravě bohužel neuvádí podrobné provozní náklady tohoto typu vozidel ani způsob jejich financování. Lze předpokládat, že jejich provoz je nákladnější než provoz běžných autobusů a není jasné, jakým způsobem jsou tyto náklady hrazeny, zda například mají dopravci dohodu s objednatelem veřejné dopravy o dodatečném krytí těchto nákladů.

6.4.3 Zkušenosti s vodíkovým pohonem v České republice

Vodíkové autobusy jsou nasazovány v testovacím provozu i ve městech v České republice. Kupříkladu Dopravní podnik hl. m. Prahy začal provozovat v červenci 2023 jeden testovací vodíkový autobus na lince 170, kde bude toto vozidlo testováno dva roky. Po tuto dobu budou ověřovány a vyhodnocovány provozní, technické a ekonomické parametry jeho provozu. K plnění autobusu je využívána veřejná vodíková plnicí stanice. Podmínkou k realizaci tohoto dlouhodobého testovacího projektu ze strany dopravce byla kompenzace vícenákladů s tímto projektem spojených ze strany města.

¹⁷ <https://www.dbreiobus-nord.de/aktuell/mobilitaetswende/wasserstoffbusse>

¹⁸ <https://www.postbus.at/de/das-unternehmen/nachhaltigkeit/wasserstoffbusse>

Obrázek 6.14: Vodíkový autobus Škoda H'CITYve zkušebním provozu na lince 170 v Praze



Zdroj: www.praha.eu

Velmi blízko k provozu vodíkových autobusů měl Dopravní podnik Ostrava (DPO), který je již nějakou dobu lídrem lokálně nízkoemisní nebo bezemisní udržitelné veřejné dopravy v České republice a provozuje početnou flotilu CNG autobusů a elektrobuses. Kromě rozvoje elektromobility viděli v DPO budoucnost právě ve vodíkových autobusech. Připravovaný tendr byl však v prvním čtvrtletí roku 2024 zrušen s tím, že DPO se bude v tuto chvíli orientovat na rozvoj elektromobility a vodíkovou technologii bude nadále sledovat. Lze se domnívat, že hlavním důvodem pro rozhodnutí zastavit výběrové řízení na nákup vodíkových autobusů byly vysoké investiční a zejména provozní náklady na tato vozidla a plnicí stanici.

Vodíkové autobusy jsou průběžně v jednotkách kusů testovány i dalšími dopravci v České republice, příkladem mohou být pilotní projekty v severočeských městech Ústí nad Labem, Most a Litvínov.

Velký projekt na rozvoj vodíkových technologií včetně vodíkového pohonu vozidel veřejné dopravy je plánován i v Moravskoslezském kraji. Tento region s bohatou průmyslovou tradicí právě využitím vodíku směřuje k postupné dekarbonizaci a zároveň růstu konkurenceschopnosti kraje. V červnu 2024 byla zastupitelstvem kraje schválena strategie rozvoje vodíkových technologií, která vytyčuje cíle, ale také pojmenovává problémy a rizika nové technologie, a stanovuje nástroje pro monitoring naplňování kýžených cílů. Mezi cíle v oblasti veřejné dopravy do roku 2030 patří mimo jiné:¹⁹

- provozovat přibližně 190 vodíkových autobusů ve veřejné hromadné dopravě v kraji;
- provozovat optimální provozní soubor regionálních vlakových linek s vodíkovou trakcí v kraji.

V ekonomické rovině můžeme porovnat vodíkový pohon s pohonem na motorovou naftu a na stlačený zemní plyn (CNG) – všechny tyto druhy pohonů byly soutěženy v otevřených veřejných zakázkách pro zajištění linkové dopravy v Moravskoslezském kraji. Pro cenovou úroveň roku 2023 se náklady na jeden vozokilometr u pohonů CNG a nafta pohybují kolem 45-50 Kč/km (rozdíl mezi těmito dvěma palivy je v řádku jednotek korun), zatímco pro vodíkový pohon vycházejí na zhruba 130 Kč/km. Na této ceně se ze 45 % podílí náklady na palivo (nákup, logistika, plnění) a dalších téměř 20 % tvoří odpisy vodíkových vozidel. U vozidel se počítá s poměrně vysokým průměrným ročním proběhem kolem 80 tisíc vozokilometrů.

¹⁹ Strategie rozvoje vodíkových technologií v Moravskoslezském kraji na léta 2024–2034, Moravskoslezský vodíkový klastr, z. s., 2024

6.4.4 Shrnutí zkušeností s provozem vodíkových autobusů

Na závěr kapitoly je nutné konstatovat, že technologie vodíkového pohonu vozidel veřejné dopravy se neustále vyvíjí, testuje a je vyhodnocována její způsobilost pro běžný provoz. Níže jsou shrnuty hlavní výhody a nevýhody této technologie.

Mezi hlavní výhody vodíkových autobusů patří:

- lokálně bezemisní provoz přispívá k čistšímu ovzduší ve městech;
- v případě výroby elektrické energie použité k produkci vodíku z přebytků energie z obnovitelných zdrojů lze vodík považovat za zcela bezemisní palivo;
- provozní nezávislost v porovnání například s trolejbusy;
- rychlé plnění vozidla palivem;
- tichý provoz a vyšší komfort jízdy ve srovnání s dieslovými autobusy.

Přestože vodíkové autobusy přinášejí mnoho výhod, je důležité pečlivě zvážit nevýhody a najít optimální rovnováhu mezi ekologickými přínosy a provozními omezeními.

Hlavní nevýhody jsou:

- nízká energetická účinnost vodíkové technologie jak při výrobě vodíku, tak v případě palivových článků autobusu, bližší informace níže;
- vysoké ceny vodíkového paliva, velká spotřeba vodíkového autobusu a z toho vyplývající vysoké provozní náklady;
- vysoké pořizovací náklady vodíkového autobusu (cca 20 mil. Kč);
- vysoké investiční náklady na plnicí stanice, obecná nedostupnost veřejných i soukromých plnicích stanic;
- technologie je stále ve vývoji.

Jak bylo uvedeno výše, jednou z hlavních nevýhod vodíkového pohonu je jeho nízká energetická účinnost. Dle studie zabývající se porovnáním provozu vodíkových autobusů a elektrobusů je k ujetí stejné vzdálenosti vodíkového autobusu oproti elektrobusu třeba o 126-145 % více elektrické energie²⁰. Tyto hodnoty vycházejí z testování konkrétních typů vodíkových a elektrických vozidel, dá se však předpokládat, že je možné je zobecnit na konkrétní typ pohonu. „Důvodem je nejen nízká účinnost daná výrobou, stlačováním a transportem vodíku, ale také účinnost samotného palivového článku využívajícího reverzní elektrolýzy k výrobě elektrické energie.“²¹

Vysoké jednotkové ceny vodíkového paliva spolu se spotřebou pak implikují provozní náklady vodíkových autobusů, které jsou výrazně vyšší než u jiných technologií pohonu. Dle dostupných údajů jsou výrazně vyšší rovněž pořizovací náklady na nákup autobusů s vodíkovým pohonem, k nimž je mnohdy třeba přičíst ještě investici na vybudování vodíkové plnicí stanice. Je uváděno, že náklady na pořízení vodíkového autobusu jsou o přibližně 30-40 % vyšší než pořizovací náklady na nákup elektrobusu.²² Například výše zmíněný dopravce DVG uvádí, že za 25 vodíkových autobusů (11 vozidel 12metrových a 14 vozidel 18metrových) zaplatí 20,5 milionu EUR, což je 820 tis. EUR na jedno vozidlo. Při hrubém přepočtu na české koruny je to více než 20 milionů Kč na jeden vodíkový autobus.²³

²⁰ Aaron Estrada Poggio, Jessica Balest, Alyona Zubaryeva, Wolfram Sparber: Monitored data and social perceptions analysis of battery electric and hydrogen fuelled buses in urban and suburban areas, Eurac Research, Institute for Renewable Energy, Bolzano, 2023

²¹ <https://www.cs-dopravak.cz/vodikova-kocovina-naklady-na-provoz-jsou-a-budou-vysoke/>

²² <https://www.cs-dopravak.cz/vodikova-kocovina-naklady-na-provoz-jsou-a-budou-vysoke/>

²³ <https://www.dvg-duisburg.de/wasserstoffbusse>

6.5 Lanové dráhy

Městské lanové dráhy sice nespádají pod legislativní výčet vozidel sledovaných pro naplnění cílů zastoupení čistých a částečně čistých pohonů, ovšem bývají i v kontextu města Brna zmiňovány jako alternativa rozvoje bezemisní dopravy, ať již kolejové, tak silniční.

V celosvětovém měřítku se lanové dráhy uplatňují především v překotně rostoucích metropolích rozvojových zemí, kde je nutné reagovat na prudký nárůst potřeb v mobilitě obyvatel, pro niž není dostatek prostoru v úrovni zástavby a dostatek finančních prostředků pro budování sítě metra. Vznikají tak celé systémy propojených lanových drah, a to nejen v terénně extrémních podmínkách, jak jsme zvyklí vnímat lanové dráhy v Evropě. Stejně tak mohou lanovky fungovat jako napájecí systém pro páteřní, obvykle kolejovou síť městské hromadné dopravy, nebo se stát iniciačním bodem vzniku nové městské čtvrti v obtížně dostupných místech. Jako příklady úspěšných „lanovkových systémů“ uvedme města Medellin a Caracas v Latinské Americe²⁴.

V Evropě se zdá, že projekty lanových drah stále narážejí na četné překážky ve fázi plánování nebo realizace. Důvodem může být to, že vzhledem k inovativní kapacitě tohoto druhu dopravy je pro implementaci systému často nezbytná flexibilita a otevřenost. Systémy lanových drah mohou zmírnit mnoho dopravních problémů, které se všeobecně uznávají jako rozvojové limity měst. Existuje mnoho různých překážek, které je třeba překonat, ať už v administrativě, plánování a politice, nebo také ve veřejném mínění o lanových drahách.

6.5.1 Technologie lanovek

Lanová dráha je schopna přepravovat osoby nebo zboží v bezmotorových kabinách, která jsou poháněna ocelovým lanem. Elektrický motor, umístěný v jedné koncové stanici, pohybuje celým systémem stabilní a efektivní rychlostí. Tato forma společného pohybu mnoha gondol (kabin) najednou je mnohem efektivnější než neustálé zrychlování a zpomalování nezávislých vozidel na kolejové nebo silniční síti.

Gondoly jsou při jízdě mezi stanicemi připevněny k lanu a při vstupu a průjezdu stanicemi se od něj odpojují. To umožňuje kabinám zpomalit, aby cestující mohli nastoupit a vystoupit. Před opuštěním stanic jsou znovu připevněny k lanu a zrychlují ze stanice. Stanice mohou být koncové nebo mezilehlé, ty pak mohou být „průjezdné“ nebo provozně nezávislé (na dvou různých lanech). V koncových bodech se gondoly otočí o 180° a jedou zpět k druhému koncovému bodu.

Existuje mnoho systémů lanových drah. Pro městské prostředí se nejlépe hodí jednolanové lanové dráhy s nepřetržitým pohybem (odnímatelné kabinové lanovky) s kabinami pro max. 10 cestujících, kyvadlové lanovky s kabinami až pro 230 cestujících, třílanové kabinové lanovky s kabinami až pro 34 cestujících, nebo pozemní lanovky. Maximální přepravní kapacita lanové dráhy je 6 000 cestujících za hodinu a směr, což je srovnatelné s 85 standardními autobusy²⁵.

Jednolanová lanovka s nepřetržitým pohybem jezdí rychlostí až 7 m/s (25,2 km/h); třílanová kabinová lanovka až 8,5 m/s (30,6 km/h). Pro srovnání se silniční dopravou: ve Vídni je průměrná rychlost silničního provozu 21 km/h; v Berlíně je to 18 km/h a ve Stuttgartu 17 km/h. Interval příjezdu kabinek ke stanici závisí na kapacitě, velikosti kabinky a délce lanovky. Mezní hodnotu je interval každých 12 sekund. Lanové dráhy jsou bezbariérové, navrženy pro přepravu seniorů, rodin s dětmi, osob s tělesným postižením atd. – a také pro přepravu jízdních kol, invalidních vozíků, dětských kočárků a jiných zavazadel. Nástupní rychlost ve stanici lze snížit až na 0,2 m/s (rychlost chůze je zhruba 1 m/s)²⁶.

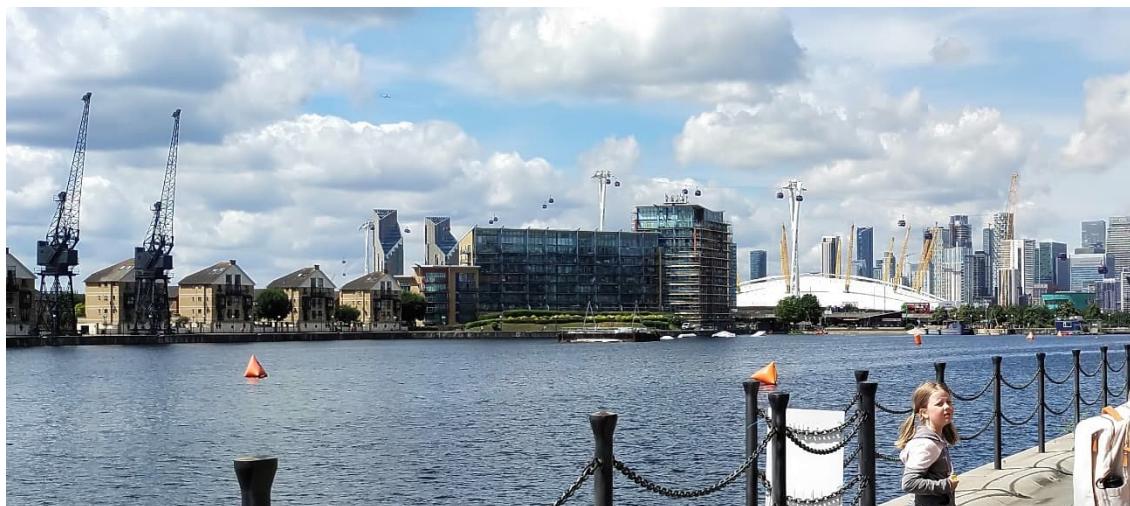
²⁴ Nuessgen, Mathias: Urban Ropeways in Europe, 2015

²⁵ <https://www.doppelmayr.com/cz/vyuziti/mestske-lanovky/>

²⁶ <https://www.doppelmayr.com/cz/vyuziti/mestske-lanovky/>

Moderní městské lanové dráhy v Evropě, které nestoupají do závratných nadmořských výšek horských středisek, lze najít v Německu ve městě Koblenz, nebo ve východním Londýně na spojení čtvrtí North Greenwich a Royal Docks přes řeku Temži. Obdobné se plánují v německém Hamburku pro obsluhu transformované čtvrti bývalého přístavu, či na spojení v Paříži s předměstím Villeneuve-Saint-Georges. Společnost Doppelmayr nedávno oznámila pět nových instalací v Bogotě, Mexico City, Uruapanu a Santiagu de Chile²⁷.

Obrázek 6.15: Lanová dráha v Londýně



Zdroj: MM

6.5.2 Souhrn zkušeností s provozem lanovek

Městské lanové dráhy přinášejí tyto přednosti ve srovnání s jinými módy veřejné dopravy:

- Vysoká frekvence spojení s nepřetržitým provozem
- Přijatelné investiční náklady ve srovnání s kolejovými systémy
- Nízké provozní náklady na přepraveného cestujícího
- Vysoká nezávislost na hustotě provozu, obdobně jako u segregovaných tramvají či metra
- Možnost překonání i značných terénních rozdílů a „neprostupné“ zástavby
- Nízká hlučnost a hodnota emisí škodlivých látek v ovzduší
- Turistická atraktivita

Naopak mezi nevýhody lanovek patří:

- Kapacitou reálně nepřekonává tramvajové systémy nebo metro
- Nízká flexibilita spojení při změně přepravní poptávky
- Dostupnost stanic v zástavbě vlivem velkých docházkových vzdáleností
- Potřeba přestupu z navazujícího druhu dopravy
- Obtížná alternativa při plánovaném či náhodném výpadku služeb

²⁷ <https://zdopravy.cz/mestske-lanovky-dobyvaji-latinskou-ameriku-doppelmayr-je-stavi-hned-v-peti-metropolitich-197703/>

7 Nízkoemisní technologie pohonu

Mezi nízkoemisní technologie pohonu se řadí u městských autobusů kategorie M3 vozidla s alternativními palivy (například CNG nebo LPG) stejně jako vozidla s hybridním pohonem, kde k pohonu vozidla slouží vznětový motor kombinovaný s elektromotorem. Z běžně dostupných typů pohonů v autobusech MHD je tedy z této kategorie vyloučena pouze motorová nafta bez doplňkových (hybridních) technologií.

7.1 Paliva na bázi metanu

Paliva na bázi nejjednoduššího uhlovodíku – metanu – nejsou ničím jiným, než různými formami zemního plynu (CNG – stlačený zemní plyn, LNG – zkapalnělý zemní plyn), případně bioplynu (bioCNG v plynné formě, též v kapalné formě značeného jako LBG).

7.1.1 CNG

CNG (stlačený zemní plyn) se široce používá jako palivo pro pohon motorových vozidel a je považován za relativně čistější alternativu k benzínu a motorové naftě. Využíván byl už ve třicátých, čtyřicátých a padesátých letech 20. století. Většímu rozšíření však tehdy bránila omezená dostupnost zdrojů.

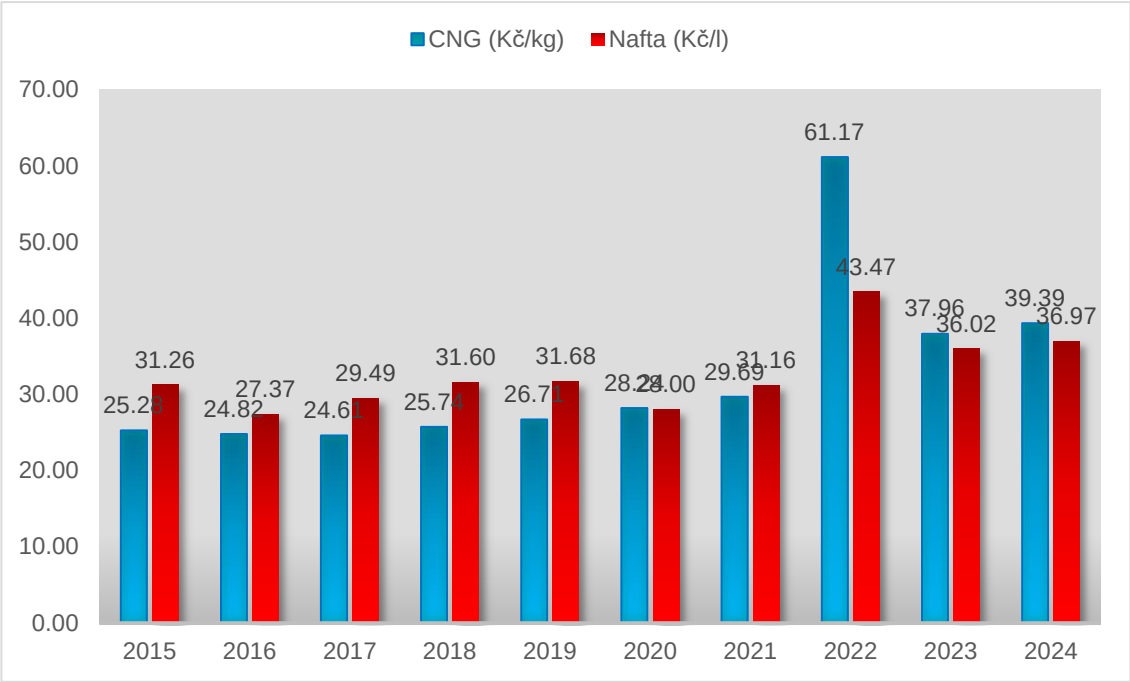
Množství plnicích stanic na CNG v České republice dosáhlo v roce 2015 přibližně 100 zařízení, v roce 2021 to bylo 217 veřejných CNG stanic. V posledním období, zejména pak po tzv. plynové krizi v roce 2022 spojené s omezením dodávek zemního plynu z Ruské federace a vysokou inflací, rozvoj tohoto typu pohonu spíše stagnuje co do počtu vozidel i plnicích stanic.

V Evropě se CNG používá jako palivo pro osobní automobily, autobusy a nákladní vozidla. Například v Německu a Itálii je CNG velmi populární a tyto země mají rozsáhlou síť plnicích stanic. Česká republika také v minulých obdobích podporovala rozvoj infrastruktury pro CNG s cílem zvýšit podíl vozidel na CNG na silnicích; u osobních automobilů je však podíl stále nízký. Některé dopravní podniky v ČR přistoupily k zakoupení vozidel na CNG jen ve spojení se štedrým dotačním programem na vozidla i plnicí infrastrukturu.

Díky vysokému oktanovému číslu se jedná o čisté palivo, které nemá problémy se současnými emisními limity. Je využíván v klasických benzínových motorech a je možné jej kombinovat s původním palivem. CNG produkuje méně CO₂ a dalších škodlivých emisí ve srovnání s benzínem a naftou, což přispívá k čistšímu ovzduší. Vykazuje také výrazné snížení emisí pevných částic, které jsou u naftových motorů považovány za nejškodlivější pro své mutagenní a karcinogenní účinky. Dochází ke snížení emisí oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a dalších sledovaných složek. Snížení emisí oxidu uhličitého dosahuje zhruba 20–25 %. Podstatné je rovněž absolutní vyloučení oxidu siřičitého ze spalín.

Dříve se s pohonem na CNG pojily také významné ekonomické výhody levnějšího paliva. Částečně však došlo ke změnám poměrů na trhu a navýšila se také spotřební daň u CNG užitého v dopravě, čímž se rozdíly téměř smazaly. Graf níže ilustruje vývoj cen motorové nafty a CNG na veřejných čerpacích / plnicích stanicích. Pro přímé srovnání je třeba vzít v úvahu, že jeden kilogram CNG energeticky odpovídá asi 1,3 litru motorové nafty.

Tabulka 7.1: Průměrné roční ceny CNG a motorové nafty na veřejných stanicích



Zdroj: Statistika ČSÚ a Moravskoslezského kraje

Porovnání technických a provozních parametrů autobusů na naftu a CNG znázorňuje následující tabulka, která pracuje se stejným typem vozidla (Solaris Urbino 18) a provozem u stejného dopravce. Z uvedené tabulky vyplývá, že i přes počáteční větší investici je provoz autobusů na CNG pohon hospodárnější ve spotřebě paliva i díky množství obsažené energie v palivu. Doba tankování je v obou případech shodná stejně jako očekávaná životnost autobusu. Autobus na CNG musí procházet častější servisní kontrolou.

Tabulka 7.2: Přímé srovnání pohonu na motorovou naftu a CNG u stejného typu vozidla

Pohon	Nafta	CNG
Název výrobce	Solaris	Solaris
Typové označení	Urbino 18	Urbino 18 CNG
Rok výroby	2015	2018
Pořizovací cena (Kč)	6 857 514	8 840 000
Typ motoru	DAF / Paccar MX-11 271 H1	Cummins ISL G E6 320
Objem motoru (l)	10.8	8.9
Výkon motoru (kW)	271 kW	239 kW
Točivý moment (Nm)	1 580 při 1 000–1 650 ot/min.	1 356 Nm při 2 200 ot/min.
Emisní norma	Euro 6	Euro 6
Spotřeba (l/100km, kg/100km)	52.10 l/100 km	42.66 kg/100 km
Spotřeba srovnatelná (kWh/km)	5.16 kWh/km	5.67 kWh/km
Objem nádrže vozidla (l, kg)	350 l (nafta) + 50 l (AdBlue)	300 kg
Teoretický dojezd vozidla (km)	672 km	703 km
Doba tankování plné nádrže	cca 4-5 minut	cca 4-5 minut
Servisní interval předepsaný výrobcem	30 000 km	12 000 km
Očekávaná životnost vozidla	12 let	12 let

7.1.2 Bio-CNG

Z biologicky rozložitelných surovin, jako jsou odpadní látky z čistíček odpadních vod, biologicky rozložitelné komunální odpady, zbytky z restaurací, odpad z potravinářského průmyslu nebo chlévská mrvka, lze vyrobit bioplyn, který obsahuje asi 50 % metanu a 33 % oxidu uhličitého. Po jeho vyčištění získáme biometan, který je složením identický se zemním plynem, ale jeho výroba vykazuje negativní uhlíkovou stopu, jelikož by se skleníkové plyny z materiálů volně se rozkládajících na skládkách uvolňovaly do atmosféry. Biometanem lze nahradit zemní plyn bez nutnosti úprav technologií vozidel či plynárenské infrastruktury. V roce 2021 tvořil biometan 20 % veškerého CNG prodaného na veřejných plynícních stanicích v ČR.

Výroba bio-CNG (biometanu) zahrnuje několik kroků, které začínají produkcí bioplynu z organických materiálů, jako jsou zemědělské zbytky, komunální odpad nebo čistírenské kaly. Tento bioplyn je následně čištěn a upravitelný na biometan, který má podobné vlastnosti jako zemní plyn. Proces výroby bio-CNG:

- Fermentace: Organický materiál je rozkládán mikroorganismy v anaerobních podmínkách, což vede k produkci bioplynu.
- Čištění bioplynu: Bioplyn je čištěn od nečistot, jako jsou CO₂, H₂S a vlhkost, aby se získal čistý biometan.
- Stlačování: Biometan je stlačen na vysoký tlak, aby se vytvořil bio-CNG, který je vhodný pro použití jako palivo v dopravě nebo pro jiné energetické účely.

Mezi ekologické výhody patří nižší emise skleníkových plynů a dalších škodlivých emisí ve srovnání s fosilními palivy. Jde o obnovitelný zdroj vyráběný z organických materiálů. Využití organického odpadu k výrobě bio-CNG podporuje oběhové hospodářství (cirkulární ekonomiku) a snižuje množství odpadu.

Na rozdíl od klasického CNG podporuje výroba bio-CNG místní ekonomiku – zemědělství a zpracování odpadu, což přináší ekonomické výhody pro místní komunity. Dochází také ke snížení závislosti na dovozu fosilních paliv, což může zlepšit energetickou bezpečnost.

7.1.3 LNG

LNG (zkapalněný zemní plyn) je alternativní palivo, které se stále více používá v dopravě, zejména v těžkých nákladních vozidlech. LNG je zemní plyn, který je zkapalněn ochlazením na teplotu kolem -162 °C, což umožňuje jeho efektivní skladování a přepravu.

LNG má vyšší energetickou hustotu než CNG (stlačený zemní plyn), což znamená, že vozidla na LNG mohou mít delší dojezd na jedno natankování. Avšak síť čerpacích stanic pro LNG není tak rozvinutá jako pro tradiční paliva, což může omezovat jeho širší využití.

V současné době se na českém trhu nevyskytují autobusy MHD s pohonem LNG. V roce 2024 představila Scania autobusy řady Touring pro segment dálkové dopravy, které zahrnuje autobusy a autokary zkonstruované pro pohon na zkapalněný bioplyn či zkapalněný zemní plyn.

7.2 Palivo na bázi ropných produktů

Palivo LPG (zkapalněný ropný plyn) vzniká při rafinaci ropy, případně jako kapalná frakce separovaná od metanu v průběhu těžby zemního plynu. Jde o směs zkapalněných rafinérských plynů, obsahujících převážně propan, butan a menší množství vyšších uhlovodíků.

Za normálních atmosférických podmínek se směs propan-butan vyskytuje v plynné formě. Ochlazením nebo stlačením lze plynnou směs převést do kapalného stavu, čímž se její objem zmenší 260x. Snadný přechod mezi oběma skupenstvími je výhodný zejména pro praktické

využití. Zajímavostí je, že poměr obsahu propanu a butanu v LPG je závislý jak na dodavatelích, tak na zimním či letním období.

V České republice se autobusy na LPG používaly spíše výjimečně. Jejich největším provozovatelem byl Dopravní podnik měst Mostu a Litvínova s autobusy výrobce MAN, když navazoval na své dlouholeté zkušenosti s provozem autobusů na LPG v podobě přestavby autobusů Karosa. V nultých letech tohoto století provozoval svůj vozový park v počtu 80 vozidel výhradně na palivo LPG.

V současné době se na českém trhu nenabízejí autobusy MHD s pohonem na LPG.

7.3 Syntetická nafta

Syntetická nafta je uměle vyrobené palivo, které může být použito jako alternativa k tradiční fosilní naftě. Toto palivo je vyráběno výhradně z obnovitelných zdrojů a zkratka „HVO“ znamená hydrogenovaný rostlinný olej ve 100% čistotě. Vyrábí se čistě z obnovitelných zdrojů, nejčastěji z rostlinných olejů a odpadních produktů z potravinářského průmyslu a pohostinství, včetně upotřebeného kuchyňského oleje. Jde o alternativu ke klasické naftě ropného původu.

Při výrobě, kde se biologické zbytky a odpady přeměňují na uhlovodíky reakcí s vodíkem, vzniká až o 90 % méně emisí ve srovnání s běžnými fosilními palivy. Skutečný celkový dopad na emise ovšem závisí na způsobu a zdrojích výroby tohoto paliva. Pokud je HVO vyrobeno z rostlinného oleje, který byl pěstován právě za účelem výroby paliva, započítávají se do finální emisní stopy veškeré činnosti související s jeho vznikem. Přesto lze proti fosilnímu palivu dosáhnout výrazné úspory emisí skleníkových plynů o 60–65 % (ekvivalentní CO₂).

Proti naftě ropného původu má HVO několik výhod, které souvisejí zejména s vyšším cetanovým číslem přes 70 jednotek. Cetanové číslo určuje kvalitu spalování nafty. Čím vyšší je, tím naftě po vstříknutí do válce trvá kratší dobu, než se odpaří a začne hořet. Právě vyšší cetanové číslo zaručuje vyšší výkon, účinnost a točivý moment motoru, hladší a tišší chod, zlepšuje studené starty, má pozitivní vliv na spotřebu a zajišťuje méně emisí při spalování. Běžná nafta ropného původu bez aditiv má cetanové číslo 51 jednotek. HVO 100 také díky vysoké chemické čistotě chrání motory a filtry, má lepší nízkoteplotní vlastnosti a při jeho použití celkově dochází k nižší tvorbě usazenin. Zajímavé také je, že HVO nepodléhá biologickému rozkladu a je vhodné pro dlouhodobé skladování.

HVO má téměř stejné vlastnosti jako fosilní nafta, takže ho mohou používat jak moderní, tak starší diesellové automobily bez nutnosti úprav. Novější vozidla již jsou na tento druh paliva přímo homologována, což lze ověřit skrze kód XTL ve specifikaci paliv pro dané vozidlo. Navíc je palivo mísitelné se standardní naftou, tzn. lze střídavě čerpat do nádrže oba druhy paliv.

Za nevýhodu HVO proti standardní naftě ropného původu, kromě horší dostupnosti v síti veřejných plnicích stanic (což by nebyl případ dopravce MHD), je nutné považovat cenu. Ta se u různých provozovatelů čerpacích stanic liší, ale obecně je HVO 100 o přibližně 10 korun na litr dražší než standardní nafta B7. Cenový rozdíl by se však měl postupem času zmenšovat, ovšem stále platí, že výroba syntetické nafty je nákladná a energeticky náročná, což se promítá do vyšší ceny pro spotřebitele.

Palivo HVO v Evropě nabízí už více než 1 000 čerpacích stanic, v České republice ho aktuálně najdeme na patnácti místech. Nově HVO 100 diesel začala prodávat také tuzemská síť Orlen.

7.4 Hybridní pohony

Kombinace několika různých zdrojů energie pro pohon dopravního prostředku se označuje termínem hybridní pohon. Nejčastěji se vyskytuje spojení spalovacího motoru a elektromotoru.

Hybridní vozidla se podle uspořádání hnacího ústrojí dají rozdělit do dvou hlavních skupin:

- **Sériová:** elektromotor a spalovací motor jsou zapojeny za sebou. Svou konstrukcí se tato vozidla podobají čistě elektrickým. Spalovací motor má funkci generátoru energie pro elektromotor, popřípadě baterii. V případech, kdy je potřeba vysoký výkon, může pohonný systém odebírat energii z baterie i generátoru najednou. Spalovací motor není napojen na kola, čímž se optimalizuje jeho efektivita a snižuje se spotřeba paliva. Na druhou stranu jsou zapotřebí větší baterie a generátor.
- **Paralelní:** elektromotor a spalovací motor jsou sdruženy a jejich výkon je skrze mechanickou převodovku převáděn na kola. Vozidlo může být poháněno jedním nebo oběma motory najednou, a to v kterémkoliv časovém okamžiku. Toto uspořádání využívá elektromotor pro provoz při nižších rychlostech a samostatně spalovací motor při rychlostech vyšších. V případě rekuperačního brzdění může elektromotor fungovat jako generátor pro nabíjení baterie.

Další členění hybridních pohonů je z hlediska podílu elektrického pohonu na celém ústrojí:

- **Mild hybrid:** vozidlo nemůže být poháněno jen elektromotorem; benzínový motor zde provádí veškerou práci a elektrický motor slouží pouze k asistenci a jako posilovač energie. Výhodou je snížení spotřeby paliva vypínáním spalovacího motoru při brzdění nebo jízdě. Jejich cena je nižší, protože nejsou tak sofistikované jako plně hybridní pohony.
- **Full hybrid:** vozidlo je poháněno spalovacím motorem a alespoň jedním elektrickým motorem. Díky vysokému elektromotorickému výkonu může elektrický motor plně pohánět vozidlo na kratší vzdálenosti a při menší zátěži bez podpory spalovacího motoru. Trakční baterie se dobíjí jen rekuperační energií při brzdění nebo funkcí spalovacího motoru.
- **Plug-in hybrid:** vozidlo vychází z principu Full hybrid, avšak trakční baterie může být dobíjena z dobíjecí stanice nebo zásuvky. Díky této funkci jsou schopny ujet řádově desítky kilometrů čistě na elektrický pohon bez nutnosti startování spalovacího motoru. Tato funkce se využívá hlavně ve městech, jelikož zde dochází ke snížení produkce emisních plynů.

Prvním příkladem vozidla může být Iveco Urbanway Hybrid High Value, který byl v roce 2020 testován DPMB. Jde o sériový hybrid bez převodovky a sestupného úhlového převodu. Elektromotor běží neustále, zdrojem elektrické energie je superkondenzátor a po vyčerpání energie se zapíná dieselový motor. Elektromotor, který obstarává veškerý pohon, má maximální výkon 195 kW a krouticí moment 1534 Nm. Jako úložiště energie v tomto případě slouží superkondenzátor o kapacitě elektrické energie 0,82 kWh. K dobíjení dochází pomocí elektromotoru rekuperační při brzdění. Jako generátor energie slouží motor Iveco TECTOR 7 EURO VI. Jde o dieselový vertikální motor se šesti válci v řadě o zdvihovém objemu 6,7 l. Výkon motoru je 210 kW a krouticí moment 1000 Nm.

Druhým příkladem vozidla stejného výrobce, avšak odlišné koncepce, je Iveco Urbanway Hybrid 18M. Celkem 140 vozidel tohoto typu si objednal Dopravní podnik hl. m. Prahy, první vozy vyjely s cestujícími v červnu 2024. Šestici totožných vozidel vybral v srpnu 2024 také Dopravní podnik města České Budějovice s dodáním v roce 2025. Koncepci pohonu se jedná o paralelní Mild-hybrid. Vozidla jsou vybavena automatickou převodovkou Voith Diwa NXT s motorem Cursor 9 a technologií HI-SCR, která umožňuje plnit emisní normy Euro 6, step E bez použití systému EGR (bez cirkulace spalín). Kromě spalovacího motoru jsou autobusy vybaveny elektromotorem integrovaným s automatickou převodovkou, který funguje zároveň jako generátor energie a pomáhá při rozjíždění vozidla a pro palubní napájení, nebo slouží pro rekuperační energii do baterie při brzdění.

Autobusy jsou vybaveny baterií o kapacitě elektrické energie 1 kWh, kterou je možné dobít i externě ze zásuvky na principu plug-in. Tím vozidla poněkud narušují definici Mild-hybridu, protože dobíjení ze zásuvky je běžné na opačné straně spektra technických řešení – tedy u Plug-in hybridních vozidel, které jsou schopny pohybu čistě na elektřinu. Výrobce Iveco však nabízí dieselový autobus doplněný o mild-hybridní modul s požadovanou externí zásuvkou, byť je zřejmé, že její použití v reálném provozu se pohybuje ryze v teoretické rovině s ohledem na nízkou kapacitu baterie. Nabídková cena tohoto typu vozidla v Praze činila 10,5 mil. Kč, stejný typ vozidla pro České Budějovice stojí 10,0 mil. Kč. Výrobce garantuje životnost 12 let, záruka na kompletní vozidlo je 5 let.

Obrázek 7.1: Hybridní autobusy Iveco Urbanway Hybrid 18M v Praze



Zdroj: DPP

Obě výše popsaná vozidla splňují definici částečně čistého vozidla dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/33/ES o podpoře čistých a energeticky účinných silničních vozidel (Clean Vehicle Directive) i definici nízkoemisního vozidla podle Zákona 360/2022 Sb. o podpoře nízkoemisních vozidel. Tím se ukazuje, že legislativní vymezení hybridních autobusů jako částečně čistých pohonů je poněkud vágní, když ke splnění podmínek postačuje nejjednodušší Mild-hybridní technologie s malou 1 kWh baterií a externí dobíjecí zásuvkou.

8 Technologie nabíjení a plnění vozidel

8.1 Dynamické nabíjení

Dynamické nabíjení, známé také jako nabíjení za jízdy nebo In-Motion-Charging (IMC), je pokročilá technologie, která umožňuje elektrickým vozidlům dobíjet baterie během pohybu bez nutnosti zastavení díky možnosti připojení na troleje v potřebných úsecích. Tento systém otevírá možnosti elektrifikace dlouhým a terénně členitým linkám, případně prodloužení nebo propojení stávajících trolejbusových linek.

V kombinaci se stacionárním nabíjením na konečných stanicích může významně zlepšit energetickou a provozní efektivitu veřejné dopravy. Díky této technologii se časy k nabití vozidla na konečné zkracují, důležité je rozložit potřebný odběr energie v čase a místě se zachováním potřebné obsaditelnosti, tím je myšlen hlavně zábor prostoru vozidla trakčními bateriemi. Vozidla mají také schopnost rekuperace energie brzděním, což zefektivňuje využívání dostupné energie – rekuperace energie může přinést úsporu energie okolo 30 %.

IMC systém využívá dvojpólový systém nabíjení, vozidlo je vybaveno dvěma sběrači, které umožňují přenos energie z infrastruktury umístěné podél cesty nebo nad ní.

Zavedené systémy trakčního trolejového vedení obecně fungují při stejnosměrném proudu napětí 600 V. Nové systémy využívají napětí 750 V. O 25 % vyšší napětí je výhodnější z hlediska výkonu a vyšší rychlosti nabíjení při současných nižších energetických ztrátách.

Elektrický proud je do vozidla přiváděn pomocí dvou tyčových sběračů z vrchního trolejového vedení. Trolejbusy se pohybují po trolejbusové trati, kde je instalováno trolejové vedení, které slouží jako zdroj elektřiny pro pohon trolejbusu. Moderní sběrače a body pro připojení zajišťují trolejbusům spolehlivé připojení v zastávkách, zatímco odpojení je možné kdekoliv za jízdy běžnou rychlostí. Vyšší spolehlivost připojení a tím pádem i nižší možnost odpojení sběračů ve výjimečných případech zajišťují výložníky s vysokou tuhostí.



Obrázek 8.1: Stanoviště pro připojení trolejbusu se stříškou na troleji, Praha Palmovka

Zdroj: <https://mhd86.cz/>

Kombinací výhod technologie trolejbusů a elektrobusů lze eliminovat, případně minimalizovat některé provozní nevýhody konvenčních trolejbusů. Výhodou dynamického nabíjení tedy je:

- kombinací efektivity, malé lehké baterie a šetrného nabíjení lze dosáhnout nejnižší spotřeby energie;
- dobíjení je nejproduktivnější v místech jako jsou kopce nebo pátevní silnice nebo tam kde se skutečně stojí, tedy před křižovatkami v kolonách nebo na zastávkách;
- omezení výstavby složité trolejové konstrukce v křižovatkách nebo garážích;
- synergie s tramvajovou infrastrukturou;
- dlouhá životnost infrastruktury;
- absence výstavby manipulační trolejové spojky, resp. instalovat trolej na nájezdových trasách;
- zjednodušení vedení trolejí v nízkých podjezdech, čímž je eliminováno riziko stržení trolejí a následného přerušení provozu;
- operativnost trolejbusů při krátkodobých uzavírkách či mimořádných událostech, nejsou tedy nutná speciální opatření při uzavírkách a jednodušší plánování objížděných tras;
- klíčovou vlastností bateriových trolejbusů je výrazné prodloužení dojezdu vozidla, což otevírá možnost elektrifikovat jakoukoliv linku, včetně těch dlouhých.

V oblasti provozní ekonomiky a energetické efektivity vozidel je klíčové nalézt optimální rovnováhu mezi infrastrukturou potřebnou pro jejich provoz a kapacitou baterií. Tato

rovnováha musí zohledňovat životní cyklus baterií, hmotnost vozidla a uspořádání jeho interiéru. Důležité je také zvážit celkovou účinnost energie spotřebované na přenos, nabíjení a převoz baterií.

8.2 Statické nabíjení

Systém statického (nebo také stacionárního) nabíjení je založen na nabíjení během provozních přestávek nebo v garáži během prostoje mezi rozděleným výkonem a/nebo během nočního odstavení. Nabíjení vozidla obvykle probíhá prostřednictvím instalované nabíjecí infrastruktury. Systém statického nabíjení je úzce spojen s dojezdovou vzdáleností vozidla a potřebou dostatečného času pro nabíjení mezi jednotlivými jízdami. Čas potřebný k nabíjení baterií lze zkrátit zvýšením nabíjecího proudu optimalizací denního provozu.

8.2.1 Statické nabíjení – dvoupólové

Někteří dopravci s trolejovou infrastrukturou preferují dobíjení elektrobusů pomocí dvoupólového pantografu přímo z troleje trolejbusového typu. Jedná se o individuální řešení podle charakteru trolejové infrastruktury v daném městě. Kromě jiného je nutné kvůli bezpečnosti vložit galvanické oddělení.

Tato technologie může být využita v noci tam, kde jsou vhodné podmínky, nebo pro průběžné dobíjení během dne během přestávky mezi ranní a odpolední směnou. Baterie jsou nabíjeny nízkým proudem a pro zajištění delší životnosti balancovány. Toto řešení má oproti čtyřpólovému dobíjení jednodušší, a tedy i levnější infrastrukturu.

Dvoupólový systém statického nabíjení umožňuje vzájemnou kompatibilitu vozidel pro dynamické nabíjení (trolejbus) a čistě statické nabíjení (elektrobus). V praxi to znamená, že v případě potřeby lze pod instalovanou trolejí nabít jak bateriový trolejbus, tak i elektrobus. Tento synergetický efekt lze využít zejména v terminálech a obratištích, kde se setkávají různé autobusové linky, a také při operativním zajištění provozu v případě mimořádných událostí a výluk.

Elektrobusy jsou dále nabíjeny v garáži v noci nebo během přestávky mezi ranní a odpolední směnou nízkým proudem a baterie jsou pro zajištění delší životnosti vyrovnávány.

U aktuálně testovaných elektrobusů se hodnoty nabíjecího proudu pohybují mezi 100–150 A. Omezujícím faktorem může být příkon nabíjecí stanice, kontakt sběrače s trolejovým vedením a omezení bateriového managementu vozidla, kdy s vyšší úrovní nabití klesá nabíjecí proud. Dojezd vozidla lze prodloužit také zvýšením počtu baterií nebo jejich kapacity, což se však negativně projeví na pořizovací ceně vozidla, hmotnosti a může také nepříznivě ovlivnit dostupný prostor pro cestující. Z tohoto důvodu je provoz elektrobusů se statickým nabíjením vhodný spíše pro kratší, méně náročné nebo doplňkové linky, které jsou obsluhovány standardními autobusy o délce 12 m, případně midibusy v závislosti na denním provozu vozidla a dostatečném čase pro nabíjení na konečné zastávce.

Obrázek 8.2: Dvoupólové nabíjení elektrického midibusu



Zdroj: MM

Obecně lze shrnout, že zatímco čtyřpólové dobíjení popsané v textu níže trvá řádově jednotky minut, dvoupólové dobíjení pantografem vyžaduje řádově desítky minut. Tím je časově srovnatelné s dobíjením kabelem, které ovšem nabízí jednodušší, standardizované a levnější vybavení vozidla. Jak je patrné, efektivní uplatnění tohoto systému závisí na konkrétních podmínkách a požadavcích. Jednou z výhod jsou téměř nulové náklady na infrastrukturu při využití té stávající, problémy jsou však s izolací a bezpečností, a také vyžaduje dražší zařízení elektrobusu.

8.2.2 Statické nabíjení – čtyřpólové

Při elektrifikaci autobusových sítí se řada měst v Evropské unii rozhodla použít vícepólový systém, obvykle čtyřpólový nebo pětípólový. Tento krok často souvisí s absencí zavedených trolejbusových provozů, které bývají založeny na dvoupólovém systému. Čtyřpólový systém umožňuje vyšší nabíjecí proudy a tím zkracuje dobu nabíjení vozidel. Zároveň odpadá potřeba dvojité izolace vozidla. Nabíjení probíhá pomocí pantografového sběrače, například systémem “Schunk”, kdy se pantograf na vozidle připojuje k nabíjecí infrastruktuře zdola nahoru. Tento systém je preferován dotační politikou EU, která podporuje spíše vozidla než infrastrukturu. Druhou variantou je systém “OppCharge”, který využívá otočený pantograf na infrastruktuře, zatímco na vozidle jsou pouze ližiny. Tím se snižuje složitost technologie a hmotnost pantografu na vozidle. Nabíjecí infrastruktura obvykle zahrnuje kontejnery s technologií a rameno, na kterém je umístěna nabíjecí technologie (nabíjecí koryto, otočený pantograf).

Obrázek 8.3: Příklad čtyřpólového nabíjení systémem Schunk



Zdroj: <https://www.schunk-group.com/>

Obrázek 8.4: Příklad čtyřpólového nabíjení systémem OppCharge



Zdroj: <https://de.heliox-energy.com/>

Klíčové je zajistit dostatečný rezervovaný příkon ze strany distributora energie pro vysoké nabíjecí proudy. Je také důležité zvážit vliv těchto proudů na životnost baterií. V některých případech může být vhodnější použít akumulátory s vysokým výkonem (HP) namísto těch s vysokou kapacitou (HE), i když to může znamenat kratší dojezd. Systém je uzavřený a není kompatibilní s dvoupólovou technologií trolejbusů.

Technologie čtyřpólového nabíjení poskytuje velkou flexibilitu elektrobusů a prakticky neomezený dojezd, pokud je správně zvolena infrastruktura v kombinaci s jízdním řádem. Nabíjení, které trvá typicky 3–6 minut, obvykle probíhá na konečných zastávkách, ale může probíhat i přímo na zastávce během nastupování cestujících do vozidla, což je jedna z hlavních výhod této technologie. Další výhodou je skutečnost, že dopravce může využívat jako zdroj vlastní trakční síť. Výrobci se od uvedení technologie na trh zaměřují na otevřenost, to znamená, že se snaží zajistit vzájemnou kompatibilitu i při použití nabíjecí technologie od různých dodavatelů pro elektrobusy různých značek. Jednou z nevýhod je pořizovací hodnota elektrobusu a samotné dobíjecí infrastruktury oproti dieselovým autobusům, naopak náklady na provoz jsou v tomto srovnání desetinové.

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.

8.2.3 Statické nabíjení – kabelové

Další možností statického nabíjení je využití připojení z veřejné distribuční sítě nízkého napětí a třífázového napětí 3 x 400 V AC pomocí kabelového připojení a standardizované zásuvky. Toto nabíjení probíhá především v depech a garážích. Výhodou je nižší náročnost na výstavbu nabíjecí infrastruktury a nižší pořizovací cena, nevýhodou je ale poměrně nízký nabíjecí výkon a delší doba nabíjení. Kabelové nabíjení je vhodné pro menší města a systémy s nízkým denním nájezdem vozidel nebo jako kombinace s ostatními systémy nabíjení pro noční nabíjení a balancování baterií.

Obrázek 8.5: Statické nabíjení kabelem v depu



Zdroj: <https://csad-sc.cz/>

8.3 Vodíkové plnicí stanice

Možnosti využití služeb vodíkových plnicích stanic jsou v České republice v současné době velmi omezené a odpovídají malému množství vodíkových vozidel. Vodíkové plnicí stanice nabízejí plnění vodíkem pro následující kategorie vozidel, přičemž pro každou kategorii se používá jiný plnicí tlak:

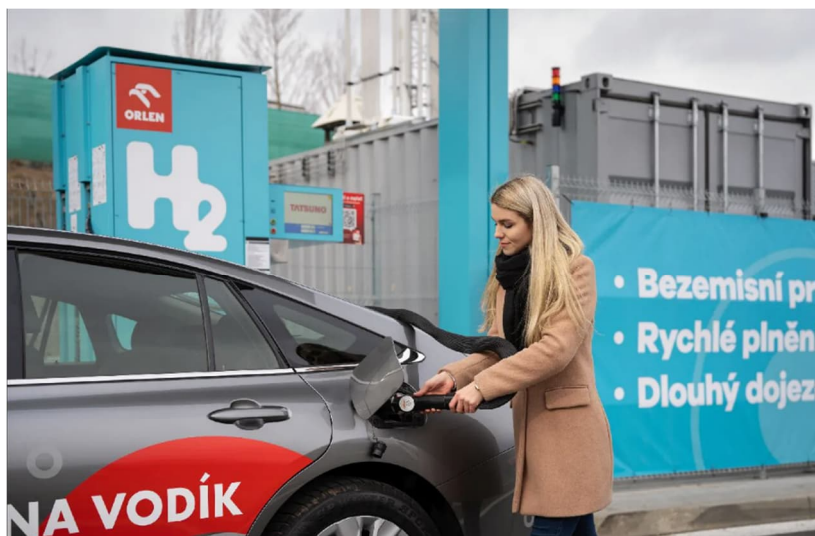
- těžká vozidla a autobusy – tlak 350 bar;
- osobní automobily – tlak 700 bar.

Stanice slouží zejména k plnění vozidel využívajících vodíkové palivové články.

Vodíkové plnicí stanice jsou v současné době provozovány v následujících lokalitách:

- Praha-Barrandov (plnění tlakem 350 i 700 bar);
- Mstětice u Prahy (plnění tlakem 350 i 700 bar);
- Ostrava-Vítkovice (plnění tlakem 700 bar);
- Neratovice (plnění tlakem 350 bar).

Obrázek 8.6: Vodíková čerpací stanice v Praze na Barrandově



Zdroj: www.zdopravy.cz

Další plnicí stanice v současné době vzniká v areálu Strategické průmyslové zóny Triangle u Žatce. Ta bude součástí projektu H2 Triangle, jenž je zaměřený na výstavbu kompletního vodíkového hospodářství a rozvoj vědecko-výzkumné činnosti v oblasti vodíku. Z obnovitelných zdrojů fotovoltaické elektrárny získaná elektrická energie bude využívána k výrobě vodíku elektrolyzou vody, ten bude následně zkapalněn a plněn prostřednictvím plnicí stanice umožňující obsluhu jak osobních automobilů, tak automobilů nákladních a autobusů. Projekt by měl být ve zkušebním provozu od začátku roku 2026.

Jak vyplývá z výše uvedeného, tak v případě využití vodíku coby paliva pro autobusy veřejné dopravy jsou možnosti jejich plnění ve veřejných plnicích stanicích velmi omezené. Například vodíkový autobus provozovaný ve zkušebním provozu na lince 170 v Praze je plněn ve veřejné plnicí stanici v Praze na Barrandově, v řadě dalších velkých měst v České republice taková možnost není ani pro zkušební provoz. Samostatná investice do vozidel by si tak vyžádala i další investici do vodíkové plnicí stanice. Ta se dle dostupných údajů může pohybovat kolem 150 milionů Kč. Tato částka navýší již tak vysoké investiční náklady do vozidel na vodíkový pohon. I při financování této investice prostřednictvím dotačních programů je nutné počítat s následnými provozními náklady, které jsou v současné době významně vyšší než u elektrických autobusů nebo standardních vozidel naftových.

Absenci vodíkových plnicích stanic může v krátkodobém horizontu nahradit mobilní plnění z návěsů silničních vozidel. Na místě potřeby doplnění paliva je ve formě kontejneru instalována pouze čerpací technologie. Relativně nízká kapacita silničních návěsů však může znamenat značné nároky na logistiku – například dovoz pohonné hmoty od zdroje vodíku i několikrát denně (už při počtu cca 10 vodíkových autobusů). Diskutabilní je také dopad na životní prostředí, kdy přeprava vodíku se odehrává po silnicích pomocí kamionů se spalovacími motory.

Obrázek 8.7: Mobilní plnicí stanice vodíku, Salzgitter, Německo



Zdroj: MM

8.4 Plnicí stanice na bioplyn

Stlačený bioplyn (bio-CNG) lze použít jako palivo do CNG vozidel. Tato vozidla lze považovat za částečně bezemisní, kdy množství emisí CO₂ závisí na složení biomasy, ze které je bioplyn vyráběn.

V případě využití bioplynu ve veřejné dopravě je nutné počítat s výstavbou bioplynové plnicí stanice. V této stanici prochází bioplyn sušícím zařízením, v němž je zbaven vlhkosti, a dále pak filtračním zařízením, jež ho zbaví zbylých nečistot. Následně je bioplyn stlačen kompresorem na tlak 25–29 MPa a pod tímto tlakem se plní do nádrže vozidla.

Pohon vozidel na bio-CNG se vyznačuje, podobně jako u klasického CNG nižším výkonem motoru, což je dáno menší energetickou účinností tohoto paliva.

9 Případové studie ve Švýcarsku

Účelem této kapitoly je poskytnout informace a případové studie ze Švýcarska týkající se vybraných trolejbusových provozů. Švýcarsko bylo vybráno proto, že je jedním z mála západoevropských států, kde se používají trolejbusy dlouhodobě. Zejména jsou uvedeny příklady provozu s využitím dynamického nabíjení, neboť to je nyní jedna z možností, jak může město elektrifikovat autobusové linky se společnými prvky se stávajícími trolejbusovými linkami.

Podle švýcarské legislativy je "trolejbus je motorové vozidlo, které čerpá elektrickou energii potřebnou k pohybu z trolejového vedení a které se pohybuje po veřejných komunikacích bez vazby na koleje".

Trolejbusy jsou tradičně elektricky poháněné autobusy bez pomocné trakce. V 70. letech 20. století byly trolejbusy vybaveny malým dieselovým motorem, který umožňoval krátké odklony mimo trolejové vedení. Jedním z prvních takových příkladů byl francouzský Berliet ER100, který byl na přání zákazníka vybaven tříválcovým motorem Deutz o výkonu 58 koní a vyráběl se v letech 1976-1989. Vozy Hess Swisstrolley verzí 1 až 4 byly vybaveny pomocnými dieselovými motory od roku 1989 přibližně do roku 2013.

Přibližně od roku 2012 se trolejbusy Hess Swisstrolley 4 prodávaly švýcarským a francouzským městům s možností přídatného pohonu na baterie (curyšské exempláře z roku 2013 měly 75kW lithium-iontovou baterii). V dalším modelu Swisstrolley 5 byl pomocný bateriový pohon standardem s tím, že trolejbus mohl ujet až 30 km bez drátů. Pokud jde o výzkum, projekt EU Trolley (včetně Brna) a později Trolley: 2.0 zkoumají různorodou problematiku trolejbusů, přičemž Trolley: 2.0 se v letech 2018 až 2020 zaměřuje na provoz a technologii In Motion Charging (tj. IMC trolejbusů, též parciálních trolejbusů).

9.1 Úvodní přehled

Ve Švýcarsku je v provozu celkem 13 trolejbusových sítí. Z nich Bern, Ženeva a Curych mají také tramvajové sítě a čtvrtá tramvajová síť (Lausanne) je v současné době ve výstavbě.

Tabulka 9.1: Švýcarské trolejbusové sítě

Odkaz	Město/systém	Velikost flotily	z toho IMC	Výrobci
1	Bern	28	28	Hess
2	Biel/Bienne	20	10	Hess
3	Fribourg	21	0	Hess
4	Geneve	104	56	Hess, Van Hool
5	La Chaux de Fonds	6	6	Hess
6	Lausanne	103	41	Hess
7	Luzern	64	31	Hess
8	Montreux Vevey	16	16	Van Hool
9	Neuchâtel	32	12	Hess
10	St. Gallen	55	31	Hess
11	Schaffhausen	7	7	Hess
12	Winterthur	54	31	Hess
13	Curych	84	84	Hess

Zdroj: MM

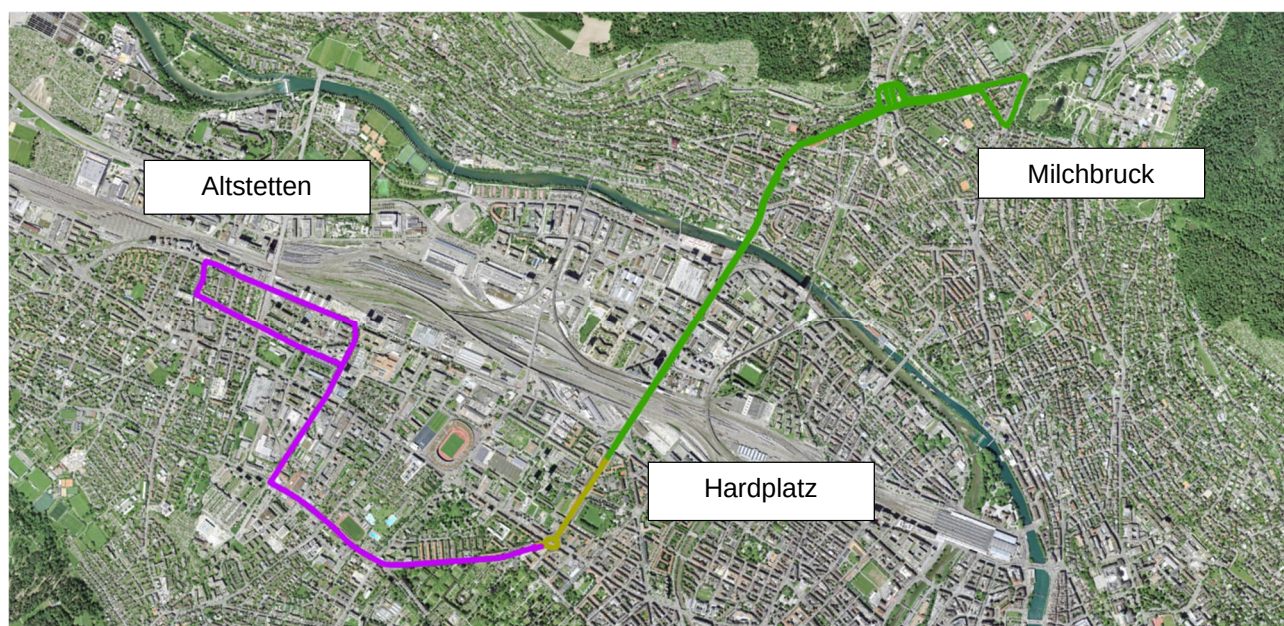
Zákon o silničním provozu ve Švýcarsku stanoví maximální délku 13,5 metru pro autobus se dvěma nápravami, 15 metrů pro autobus s více než dvěma nápravami, 18,75 metru pro kloubový autobus a až 25 metrů pro dvoukloubový autobus. Maximální celková hmotnost vozidla je 18 tun pro dvounápravová motorová vozidla, 28 tun pro třínápravové kloubové autobusy a 32 tun pro motorová vozidla se čtyřmi nápravami. Vozidla s alternativní technologií pohonu mohou mít až 1 tunu navíc a vozidla s bezemisním pohonem mohou mít až 2 tuny navíc proti konvenčním vozidlům.

Podobně jako EU plánuje i Švýcarsko strategii přechodu všech městských autobusů na bezemisní vozidla přibližně do období 2030–2035, přičemž některá města se již politicky zavázala provést tuto změnu dříve. Ve Švýcarsku probíhá neoficiální soutěž o vyhlášení prvního bezemisního autobusového parku, přičemž o titul se ucházejí přinejmenším Basilej a Schaffhausen. Vzhledem k tomu, že žádné město ve Švýcarsku nepoužívá vodík kvůli vysokým nákladům, zbývající městské vozové parky se převádějí na elektrický pohon a rozhodují se, zda budou na konkrétních trasách používat bateriový elektrický pohon nebo nabíjení za jízdy. Nabíjení in motion se používá v těch městech, která již mají trolejbusovou síť a která nepotřebují přidávat mnoho nových rozvodů. Na ostatních linkách a na linkách s malými autobusy nebo s nízkou poptávkou se používají bateriové autobusy neboli elektrobusesy.

9.2 Případová studie Curych

Město Curych přijalo strategii elektrifikace své sítě veřejné dopravy a do roku 2030 chce nahradit všechny stávající dieselové autobusy elektrickými a bezemisními pohony. To předpokládá, že linky s nejvyšší poptávkou budou provozovány tramvaji, které tvoří strategickou síť, linky s druhou nejvyšší poptávkou budou provozovány trolejbusy a zbývající místní linky budou provozovány elektrobusesy. Ze šesti trolejbusových linek jsou na linkách 31 a 32 nasazeny dvoukloubové trolejbusy s frekvencí 7,5 minuty a na linkách 33, 46, 72 a 83 kloubové trolejbusy. Severní část linky 32 je nahrazena prodloužením tramvajové trati, protože její kapacita neodpovídá poptávce.

Obrázek 9.1: Curyšská trasa 83



Zdroj: MM

Legenda k trase - zelená: s trakčním trolejovým vedením; fialová: režim jízdy na baterie; světle zelená: pracuje v obou režimech.

Dieselová autobusová linka 83 byla v roce 2020 přestavěna na trolejbusovou s využitím devíti trolejbusů Hess Swisstrolley 5 zakoupených pro tuto linku. Trolejbus 72 již jezdil z Milchbrucku až na Albisriederplatz a trakční vedení trolejbusové linky 33 bylo odtud prodlouženo dále do Hubertusu. VBZ instalovalo na vybraných místech (Albisriederplatz a Hardbrucke) přepojovače trolejových sběračů, aby se trolejbusy přijíždějící z Altstettenu mohly opět připojit k trolejovému vedení. Všechny trolejbusy provozované na této trase mají automatické zvedání a spouštění sběračů. Na trase se jezdí ve špičkách od pondělí do pátku (6–9 h, 16–19 h) v intervalu 7,5 minuty, po zbytek pracovních dnů a v sobotu v intervalu 15 minut, v neděli je linka mimo provoz.

Obrázek 9.2: Curych: Automatické přepojovací zařízení pro zvedání sběračů na lince 83



Zdroj: MM

Obrázek 9.3: Trolejbus na lince 83 na náměstí Albisriederplatz



Zdroj: MM

Tabulka 9.2: Tabulka údajů pro linku 83 v Curychu

Funkce	Trolejbusová linka 83
Vzdálenost na konkrétní trase bez možnosti nabíjení (v jednom směru)	4,216 km na baterii
Vzdálenost na stejné trase nabíjení v pohybu (v jednom směru)	4,128 km pod dráty
Doba bez možnosti nabíjení	Albisriederplz–Altstetten - 15 minut
Časový úsek na stejné trase s nabíjením v pohybu?	Milchbruck–Albisriederplz - 13 minut
Průměrný denní počet kilometrů na trase	174 jednotlivých jízd v obou směrech po-pá 174 * 8,344 km = 1451,86 km
Průměrný denní počet kilometrů na trase s možností nabíjení	174 * 4,128 km = 718,27 km
Odhadovaný počet vozidel v provozu ve špičce	8
Kategorie a rozměry vozidla	Hess Swisstrolley 5; 18,74 m x 2,55 m x 3,5 m; kloubový trolejbus
Kapacita vozidla	117 - 34 míst k sezení a 83 míst k stání (při počtu 4 osob na m2)
Rok výroby	2020
Hmotnost vozidla	Vlastní hmotnost 18,8 tuny; Celková hmotnost 30,0 tuny
Napětí v trolejbusové síti	600 V DC
Kapacita baterie	66 kWh LTO (Lithium Titanate Oxide) trakční baterie s normálním dojezdem cca 10 km (110 Ah)
Nabíjení	Nabíjení za jízdy, které probíhá pod dráty nebo v depu pomocí zástrčky CCS typu 2.

Zdroj: MM

Všechny trolejbusy VBZ jsou vybaveny bateriemi a v případě potřeby jsou schopny provozu IMC, včetně odklonu kolem silničních prací. Další nové trolejbusy byly u společnosti Hess objednány v roce 2022, přičemž od roku 2024 bude k dispozici 13 trolejbusů lightram 19DC a 13 trolejbusů lightram 25DC, později budou k dispozici další trolejbusy v rámci rámcové objednávky – dalších 85 trolejbusů lightram 19DC a 55 trolejbusů lightram 25DC. Ty nahradí stávající vozidla a budou obsluhovat nové linky.

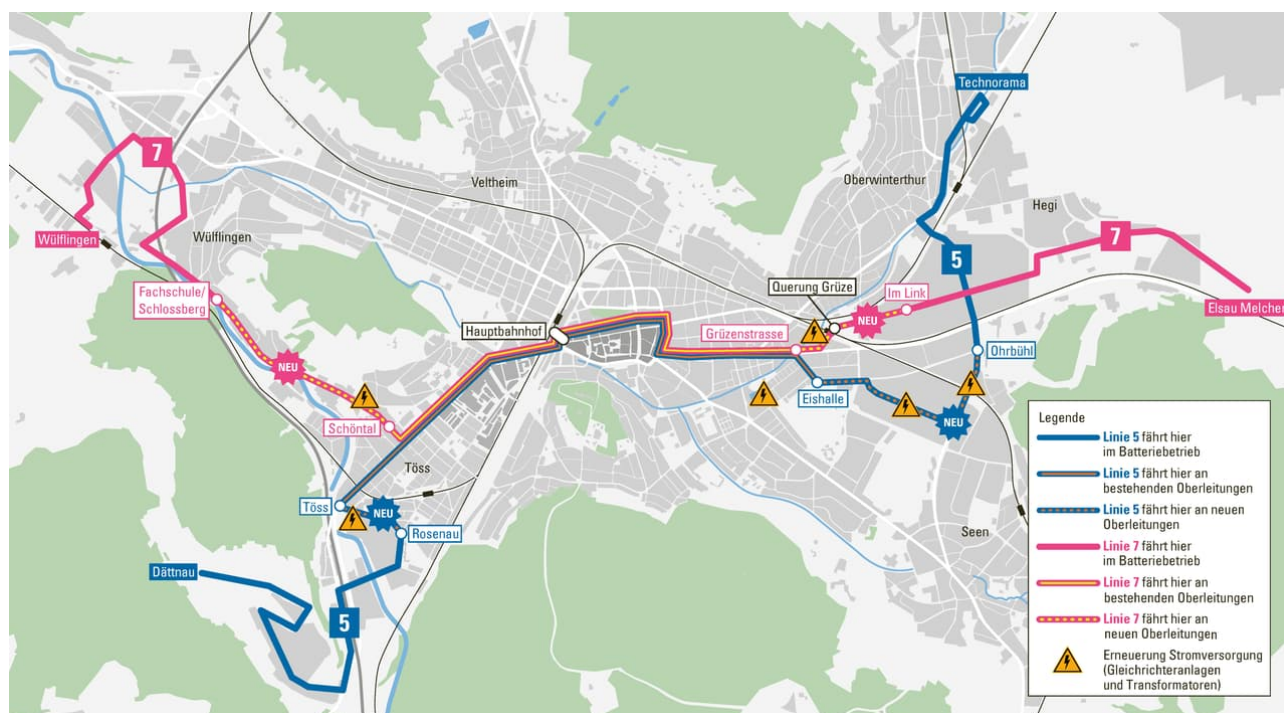
Politika curyšské radnice spočívá v tom, že v krátké době přestaví další dvě linky kloubových dieselových autobusů na trolejbusy IMC. Linky 69 a 80 mají být přestavěny, protože obsluhují velký univerzitní kampus v Honggerbergu a je po nich vysoká poptávka. Předpokládá se, že tyto linky využijí asi 2 km stávajícího vedení, budou vyžadovat asi 9 km nového trolejového vedení a pro zbývajících 5 km trasy využijí své baterie. Využití trolejbusů umožní v budoucnu při rostoucí poptávce použití dvoučlankových vozidel. V roce 2022 činily předpokládané náklady na přestavbu 47 milionů CHF, z čehož 14 milionů CHF bude použito na trasu 69 a 33 milionů CHF na trasu 80. Očekává se, že spolková vláda přispěje 16 miliony CHF a kanton Curych souhlasil s poskytnutím až 43,48 milionu CHF. Trasa 69 má délku asi 4,2 km v jednom směru, přičemž asi 1,2 km je již opatřeno trolejovým vedením. Otevření trasy 69 je plánováno na konec roku 2025 a trasy 80 na konec roku 2026. Již bylo vydáno federální povolení k výstavbě trasy

69 a probíhá proces schvalování plánování trasy 80. Zahájení výstavby trasy 69 se očekává v létě 2024.

9.3 Případová studie Winterthur

Ve Winterthuru přepravují stávající trolejbusové linky 1, 2 a 3 zhruba 70 % všech cestujících. S novými návrhy trolejbusů budou stávající dieselové autobusové linky 5 a 7 přestavěny na parciální trolejbusy, což umožní přepravu 90 % cestujících trolejbusem. Městská rada zvažovala varianty jak parciálního trolejbusu, tak bateriového elektrobuse, ale na základě studie proveditelnosti se ukázalo, že varianta parciálních trolejbusů je pro obě linky levnější.

Obrázek 9.4: Situace, Winterthur



Zdroj: MM

Nejdříve bude dokončena přestavba linky 5, jejíž výstavba bude zahájena v únoru 2024 a provoz trolejbusů bude zahájen v prosinci 2024. To si vyžádá instalaci trolejového vedení mezi Töss a Rosenau (529 m) a mezi Eishalle a Ohrbuhlem (1 665 m) v celkové délce 2,425 km. Dále je zapotřebí 215 m nového nadzemního vedení v centru města, aby byla zajištěna flexibilita všech tras. Elektrifikace vyžaduje výstavbu čtyř nových měnících, 96 nových trakčních sloupů a 36 stěnových rozet.

Následovat bude přestavba linky 7, která si vyžádá přibližně 2,575 km nového vedení mezi Schöntal/Zürcherstrasse k Fachschule (1 563 m) a Grünenstrasse k nové zastávce "Im Link" na Sulzerallee (1 018 m). Tato trasa je koordinována společně s novým mostem pouze pro vozidla veřejné dopravy a napojením na důležité železniční nádraží ve Winterthur-Grüze (oba projekty mají být dokončeny v prosinci 2026). Tato trasa vyžaduje výstavbu dalších dvou měnících.

Náklady na přestavbu obou autobusových linek s dieselovými motory se odhadují na 17 942 000 CHF, což nezahrnuje nové trolejbusy potřebné pro každou linku. Kanton Curych schválil tyto náklady v roce 2022 a Spolkový úřad pro dopravu udělil souhlas s plánováním v roce 2023.

Tabulka 9.3: Tabulka údajů pro linky 5 a 7 ve Winterthuru

Funkce	Trolejbusová linka 5	Trolejbusová linka 7
Vzdálenost na konkrétní trase bez možnosti nabíjení (v jednom směru)	Západně - 3.528 km Východně - 2.473 km	Západně - 3.091 km Východně - 2.586 km
Vzdálenost na stejné trase nabíjení v pohybu (v jednom směru)	Západně - 0,529 km (nová trasa) Východně - 1.665 km (nová trasa) Centrálně - 4.215 km (stávající vedení)	Západně - 1.563 km (nová trasa) Východně - 1.018 km (nová trasa) Centrálně - 3.298 km (stávající vedení)
Doba bez možnosti nabíjení	Západně – 11 minut Východně – 7 minut	Západně – 9 minut Východně – 7 minut
Časový úsek na stejné trase s nabíjením v pohybu	25 minut	25 minut
Odhadovaný počet vozidel v provozu ve špičce	7	10
Kategorie a rozměry vozidla	18m kloubový trolejbus IMC Hess Lightram 19DC	18m jednoduchý kloubový trolejbus IMC Hess Lightram 19DC
Kapacita vozidla	35 míst k sezení a 116 míst ke stání	35 míst k sezení a 116 míst ke stání
Rok výroby	2022 (další se objednávají)	2022 (další se objednávají)
Hmotnost vozidla	Vlastní hmotnost 18 550 kg Celková hmotnost 29 200 kg	Vlastní hmotnost 18 550 kg Celková hmotnost 29 200 kg
Napětí v trolejbusové síti	600 V DC	600 V DC
Kapacita baterie	Baterie LTO 66 kWh - dojezd až 30 km	Baterie LTO 66 kWh - dojezd až 30 km
Nabíjení		n/a

Zdroj: MM

9.4 Případová studie Lucern

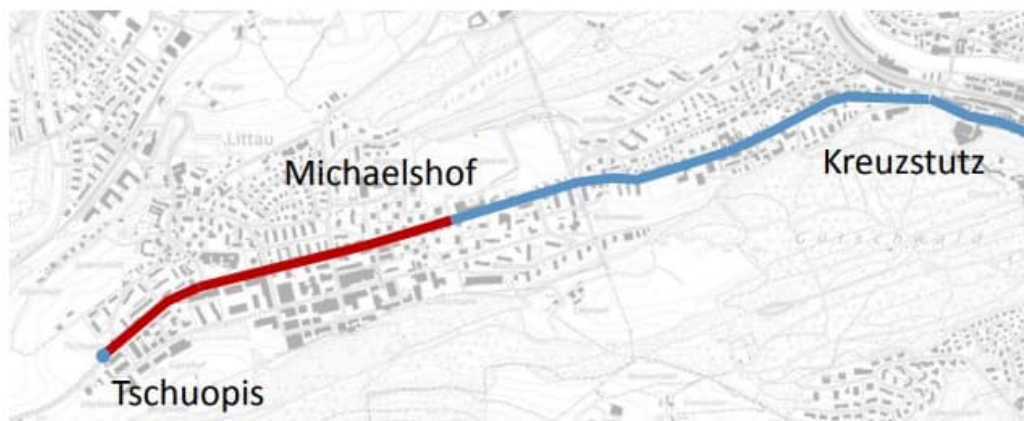
Strategie elektrifikace autobusové sítě ve městě Lucern má za cíl maximalizovat využití parciálních trolejbusů pro městskou síť, a to zejména tam, kde již existuje kabeláž nebo kde je možné provést drobné doplnění. V současné době jsou trolejbusy využívány na linkách 1R, 2R, 4, 5, 6, 7, 8R. V roce 2019 byla prodloužena kmenová linka 1 z Maihofu do Ebikon Fildern, což je vzdálenost cca 4,5 km. Trolejbusy linky 1 se odklánějí od hlavní silnice a obsluhují nádraží Ebikon na bateriový pohon.

Lucern klasifikoval své páteřní autobusové linky jako RBus, což je vyšší standard pro některé trolejbusové linky, které poskytují mnoho stejných výhod jako tramvajové linky. Všechny linky RBus využívají dvoukloubové trolejbusy, jezdí často a mají i odlišné zbarvení. V současné době jsou linky 1, 2 a 8 označeny jako RBus.

Nová trolejbusová linka RBus 3

V budoucnu se spojí východní část linky 8 a dieselbusová linka 12, čímž vznikne linka 3 RBus. Trasa 12 je poslední dieselovou autobusovou linkou s frekvencí 7,5 minuty a je třeba ji elektrifikovat. Trolejbusy mohou pokrýt rovinatější úsek trasy z Michaelshofu do Gasshofu bez trolejového vedení (950 m). Na strmějším úseku mezi Kreuzstutzem a Michaelshofem je však nutná výstavba infrastruktury trolejového vedení v délce 1,6 km. V oblasti Gasshofu se plánuje vybudování nabíjecí infrastruktury na budoucí konečné stanici Tschuopis.

Obrázek 9.5: Elektrifikace autobusové linky 12



Legenda: Modrá - s trakčním trolejovým vedením; červená - provoz na baterie

Obrázek 9.6: Lucern – návrhy trolejbusových linek



Překlad modrého rámečku: Tschuopis - Michaelshof: bez trolejového vedení
Michaelshof - Kreuzstutz: je zapotřebí trolejové vedení

Nová trolejbusová linka 8

Jižní část linky 8 bude navíc spojena se stávající autobusovou linkou 19 s dieselovým pohonem a vytvoří tak trasu napříč městem. Trasa 19 je hlavní trasou obsluhující hlavní nemocnici v Lucernu. Trolejbusy na nové trase 8 budou se základní frekvencí 7,5 minuty střídavě obsluhovat ulice Emmenbrucke (8B) a Friedental (8A), přičemž každá z nich bude mít interval 15 minut. S již zapojenými trasami 1 a 2 bude část trasy 19 mezi Schlossbergem a Kreuzstutzem (1,8 km) a odbočka do Friedentalu (750 m) provozována bateriově bez nutnosti nového trakčního vedení.

Nová trolejbusová linka 30

Kromě toho jezdí na výše uvedené mapě nezobrazená autobusová linka 30, která spojuje nádraží Ebikon se Schlossbergem, hlavní nemocnicí, Kreuzstutzem, Gasshofem a nádražím Littau. Tato trasa bude rovněž převedena na trolejbus IMC, protože na trasách 1 a nové trase 3 do Littau je k dispozici dostatečné vedení. Opět nebude nutné žádné nové vedení.

Prodloužení trolejbusové linky 4

Kromě toho bude trasa 4, která obsluhuje jižní předměstí do Hubelmattu, prodloužena pomocí baterií nejprve na Zihlmattweg (900 m) a poté na nádraží Kriens Mattenhof (o 600 m dále). Ani v tomto případě nebude zapotřebí žádné nové vedení.

Očekává se, že linky 3, 8 a 30 budou převedeny od konce roku 2027, i když dodatečná infrastruktura autobusových zastávek v uzlu Luzern Bahnhof může tyto cíle oddálit. V rámci balíčku zlepšení hodlá Lucern nakoupit 53 nových bateriových trolejbusů, a to jak 18metrových, tak 25metrových, přičemž první tranše 24 trolejbusů a druhá tranše 22 trolejbusů by měla dorazit od roku 2026. Ty nahradí starší trolejbusy (s pomocnými dieselovými motory) a budou nasazeny na přestavěné linky 3, 8 a 30, jak je popsáno výše. Tyto zakázky byly v lednu 2023 pozastaveny do doby, než bude vyřešeno zlepšení infrastruktury na hlavním nádraží. V prosinci 2023 byly tyto problémy vyřešeny a nový vozový park může být nakoupen, přičemž první tranše má být vyplacena v roce 2027 a druhá v roce 2029.

Obrázek 9.7: Luzern Hess lightram 25DC



Zdroj: MM

Tabulka 9.4: Tabulka údajů pro trolejbusové linky 3, 4, 8 a 30 v Luzernu

Funkce	Linka 3 (včetně stávající linky 12)	Trasa 8 (stávající linka 8S a linka 19)	Linka 30	Linka 4
Vzdálenost na konkrétní trase bez možnosti nabíjení (v jednom směru)	1.219 km	8A - 0.728 km 8B - 0.217 km 8 - 1.46 km	Střední - 1,68 km Západ - 1,85 km	Fáze 1 - 875 m; Fáze 2 - 635 m
Vzdálenost na stejné trase nabíjení v pohybu (v jednom směru)	Nové dráty - 1,57 km Stávající dráty - 5,47 km Celkem – 7,042 km	8B - 2,09 km Jih - 4,59 km	Východ - 4.12 km Západ - 1,57 km	2,9 km (stávající trasa)
Doba bez možnosti nabíjení	2 minuty	8A – 2 minuty 8B – 1 minuta 8 – 5 minut	Západ – 5 minut Střední – 5 minut	10 minut v jednom směru
Časový úsek na stejné trase s nabíjením v pohybu	25 minut	8B – 5 minut Jih – 20 minut	Západ – 5 minut Východ – 11 minut	Fáze 1 - cca 2 minuty Fáze 2 - cca 1 min
Odhadovaný počet vozidel v provozu	6 (odhadováno podle současného stavu)	6 (odhadováno podle současného stavu)	5 (aktuální)	3 (aktuální)
Kategorie a rozměry vozidla	Hess lightram 25 DC Dvoukloubový trolejbus 24,7 x 2,55 x 3,5 m	Kloubový trolejbus Hess - Swisstrolley 3 : 17,93/18,67 m x 2,55 m x 3,44 m	Kloubový trolejbus Hess - Swisstrolley 3 : 17,93/18,67 m x 2,55 m x 3,44 m	Kloubový trolejbus Hess - Swisstrolley 3 : 17,93/18,67 m x 2,55 m x 3,44 m
Kapacita vozidla 4os/m2, pokud není uvedeno jinak	Přibližně 52 sedících, 104 stojících	114 - 44 míst k sezení, 70 míst k stání	114 - 44 míst k sezení, 70 míst k stání	114 - 44 míst k sezení, 70 míst k stání
Roky výroby	2014-2019			
Napětí nadzemního vedení	600 V DC	600 V DC	600 V DC	600 V DC
Kapacita baterie (Ah)	70 kWh LTO (odhad)	Pomocný dieselový motor bude nahrazen trakční baterií	Pomocný dieselový motor bude nahrazen trakční baterií	Pomocný dieselový motor bude nahrazen trakční baterií
Nabíjení	Z trolejového vedení	Dosud žádné	Dosud žádné	Dosud žádné

Zdroj: MM

9.5 Případová studie Bern

Jedním z největších projektů bernské veřejné dopravy je elektrifikace jižní poloviny stávající autobusové linky 10 mezi bernským nádražím, Konizem a Schliernem. Stávající autobusová linka 10 jezdí ze Schliernu na jihu do centra Bernu a Ostermundigenu na východě. Úsek trasy z centra města do Ostermundigenu je přestavován na tramvajovou trať a nyní probíhá plánování a veřejné projednávání.

Ve střednědobém horizontu se nyní představuje na parciální trolejbus úsek trasy z centra města do obcí Koniz a Schliern na jihu, kde se nepodařilo zavést tramvaj. V dlouhodobém horizontu však může být tato trasa po roce 2040 rovněž převedena na tramvaj.

Stávající autobusová linka je provozována kloubovými autobusy s velmi vysokou frekvencí – v pondělí až pátek ve špičkách (7–8 h, 16–18 h) je to 20 až 24 spojů za hodinu v každém směru a mezi špičkami (9–15 h včetně) pak 12 spojů za hodinu v každém směru. Ve špičkách se mnoho autobusů na zastávce Konig otáčí jako vložené spoje. Autobusy dosáhly své kapacity a dalším krokem je přestavba na dvoučlánkové parciální trolejbusy.

V budoucnu se po konverzi počítá s následujícími frekvencemi:

- pondělí až pátek, během dne: každých 6 minut (ve špičce každých 3,75 minuty);
- pondělí–pátek, večer: každých 10 nebo 15 minut (jako nyní);
- sobota: každých 7,5 minuty, odpoledne každých 6 minut;
- neděle: každých 10 minut, odpoledne každých 7,5 minuty.

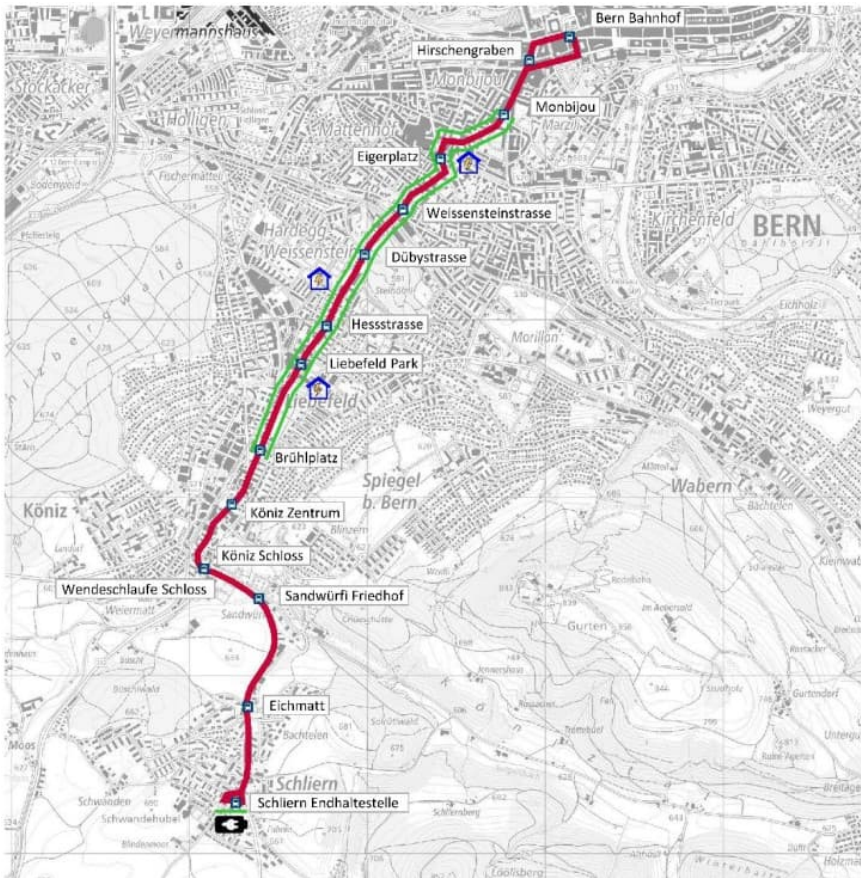
Návrh počítá s instalací trakčního trolejového vedení od Monbijou po Bruhlplatz (2,55 km) spolu se třemi novými měnírny a provozem zbývající části trasy (3,57 km) pomocí bateriového napájení. To znamená, že další vedení v centru města není nutné a přístup k trolejbusové vozovně je z Eigerplatzu blízko. Očekává se, že nový trolejbusový provoz bude zahájen v červnu 2026.

Obrázek 9.8: Trolejbus v bateriovém režimu v centru Bernu



Zdroj: MM

Obrázek 9.9: Bern – budoucí trolejbusová linka 10



Zdroj: MM

Tabulka 9.5: Tabulka údajů pro linku 10 v Bernu

Funkce	Trolejbusová linka 10
Vzdálenost na konkrétní trase bez možnosti nabíjení	Centrum města - 1.00 km Jih - 2,57 km
Vzdálenost na stejné trase nabíjení v pohybu	Střední část - 2,55 km
Doba bez možnosti nabíjení	Sever – 3 minuty Jih – 6 minut
Časový úsek na stejné trase s nabíjením v pohybu (min)	7 minut
Odhadovaný počet vozidel v provozu ve špičce	Přibližně 11-12 vozidel
Kategorie a rozměry vozidla	Podobně jako dnes na trase 20 Hess lightram 25DC 24,7 x 2,55 x 3,5 m
Kapacita vozidla (4 os/m2)	49 míst k sezení, 117 míst k stání
Rok výroby	2026
Hmotnost vozidla	Hmotnost prázdného vozidla 24 tun
Napětí trolejbusové sítě	600 V DC
Kapacita baterie	350 kWh
Nabíjení	Z trolejového vedení

9.6 Další příklady parciálních trolejbusů

9.6.1 Biel/Bienne

V roce 2024 si dopravní podnik v Bielu objednal u společnosti Hess dodávku 14 vlaků lightram 19DC a (neobvykle) čtyř vlaků lightram 12DC, které měly být dodány koncem roku 2027. Existují také opce na dalších 15 trolejbusů 12 m, 30 trolejbusů 18 m a pět trolejbusů 25 m IMC, které fakticky nahradí celý stávající vozový park dieselových autobusů a dokončí projekt elektrifikace autobusové dopravy ve městě – ačkoliv jako první ve Švýcarsku bude dokončen s využitím trolejbusů, nikoli bateriových elektrobuses.

Ze tří stávajících trolejbusových linek může být pouze linka 1 provozována zcela pod trolejovým vedením. Ze stávajícího vozového parku má deset trolejbusů pomocný dieselový motor a deset využívá IMC s baterií. Následující úseky trasy jsou provozovány v režimu mimo trolejové vedení:

- linka 3, Biel hlavní nádraží – Mosliacker;
- linka 4, Biel hlavní nádraží/Continental–Nidau, Burgerallee;
- linka 4, Mett, stanice–Vorholzli.

9.6.2 Fribourg

Fribourg je na tom podobně jako Biel se čtyřmi trolejbusovými linkami a modernizovaným vozovým parkem. Na trase 1 byly zavedeny nové trolejbusy Hess lightram 19DC, které jezdí na bateriový pohon mezi Perolles a Marly na jihu a mezi Portes-de-Fribourg a Capucins. Kromě toho je bez trolejového vedení také úsek linky 6 mezi Bellevue a Windig/Musy 4.

Obrázek 9.10: Fribourg: lightram 19DC v provozu



Zdroj: MM

9.6.3 Ženeva

Po dodání trolejbusů Van Hool ExquiCity 19DC v roce 2021 byly následující úseky trolejbusových linek prodlouženy s využitím bateriového provozu:

- linka 7 prodloužena z Hopital do Aubepine včetně tří zastávek, délka 950 metrů (prosinec 2019);

- linka 2 prodloužena z Onex Marche do Cressy na osm zastávek o délce 2,5 km (prosinec 2021);
- linka 2 prodloužena dále z Aubepine do Bout-du-Monde včetně tří zastávek, vzdálenost 1,3 km (prosinec 2021).

9.6.4 La Chaux de Fonds

Bývalá trolejbusová síť byla v roce 2014 z nákladových důvodů uzavřena a nahrazena hybridními autobusy, většina vedení však nebyla demontována. U společnosti Hess bylo objednáno osmnáct nových trolejbusů, z nichž šest je určeno pro La Chaux de Fonds. Obnovení provozu trolejbusů, které se dříve předpokládalo v srpnu 2024, bylo kvůli nespolehlivosti nových vozidel v Neuchatelu odloženo na polovinu roku 2025. Tato vozidla mají trakční baterii o kapacitě 75 kWh.

9.6.5 Lausanne

Největší trolejbusová síť ve Švýcarsku v současné době provozuje dva úseky na baterie, a to východní konečnou smyčku linky 4 ve Faverges a prodloužení ve špičce z Maladières do univerzitního kampusu v Renens a jeho inovačního parku. Úsek s bateriovým provozem je ze Sablonsu na konečnou stanici EPFL, což je vzdálenost přibližně 4 kilometry.

Obrázek 9.11: Trasa Lausanne 1



Zdroj: MM

9.6.6 Montreux Vevey

Jedna trolejbusová linka jezdí z Vevey podél jezera do Montreux a končí ve stanici Villeneuve, což je 12,8 km. Vozový park tvoří 16 trolejbusů Van Hool ExquiCity o délce 18 metrů. V roce 2020 bylo otevřeno nové prodloužení z Villeneuve do Rennaz o délce 2,5 km (pro obsluhu nové nemocnice), které obsluhují trolejbusy v bateriovém provozu. Hlavním důvodem pro ponechání tohoto úseku bez drátů byli místní obyvatelé, kteří si dráty nepřáli.

9.6.7 Neuchâtel

V tomto městě existují tři trolejbusové tratě a 18 nových vozů Hess lightram 19DC je ve fázi dodávky (šest pro La Chaux de Fonds). Očekává se, že bude objednáno také dalších 12 trolejbusů.

9.6.8 St. Gallen

St. Gallen má rozsáhlou trolejbusovou síť, která se v současné době rozvíjí pomocí trolejbusů IMC s cílem elektrifikovat část zbývajících sítě dieselových autobusů. V současné době probíhají práce na přestavbě linek 3, 4 a 6 na provoz parciálních trolejbusů, přičemž nové trolejbusy jsou v současné době k dispozici pro provoz u společnosti Hess. Očekává se, že autobusové linky 7 a 8 budou rovněž převedeny na bateriový provoz. Dodávky od společnosti Hess v roce 2021 činily 11 lightramů 25DC a 6 lightramů 19DC. V blízké budoucnosti se očekává dalších 16 nových trolejbusů.

Obrázek 9.12: Trolejbus IMC na trase 6 v St. Gallenu



Zdroj: MM

9.6.9 Schaffhausen

Schaffhausen má jednu trolejbusovou linku dlouhou 8,8 km, která byla zařazena do městské strategie elektrifikace autobusové dopravy. Rozvoj trolejbusové trati se skládal ze dvou prvků – 7 trolejbusů Swisstrolley 3 ve vozovém parku bylo přestavěno na trolejbusovou technologii IMC s osazením baterií a odstraněním pomocných dieselových motorů.

Trasy byly následně upraveny tak, aby úsek v Schaffhausenu mezi Feuerwehrzentrum a Muhlentorem a v Neuhausenu mezi Zentrum a Scheideggem fungoval na baterie s odstraněným vedením. Jedná se o jediný švýcarský příklad použití parciálních trolejbusů, kde bylo odstraněno vedení v centru města. Elektrifikace ostatních autobusových linek ve městě probíhá s využitím bateriových elektrobusů Irizar, tj. s příležitostným dobíjením pro všechny linky na nádraží.

Obrázek 9.13: Trolejbus v Schaffhausenu na nádraží v bateriovém režimu



Zdroj: MM

Obrázek 9.14: Strategie trolejbusů v Schaffhausenu



Zdroj: MM

9.7 Souhrn kapitoly

- Švýcarská města vidí potřebu přeměnit svůj stávající dieselový vozový park na elektrický před rokem 2030. Technologie IMC je jednou z možností, jak tuto proměnu realizovat.

- Parciální trolejbusy využívají města, která již trolejbusy mají, k zavádění nových linek jako přestavbu autobusových linek. Tyto investice obvykle doprovází výstavba krátkých nových úseků trakčního trolejového vedení.
- Pro elektrifikaci městských linek s přiměřenou poptávkou je technologie IMC levnější alternativou než bateriový elektrobuses (za předpokladu existujících sítí) a umožňuje zachování provozních parametrů stávajících autobusových linek.
- Téměř veškerá elektřina používaná ve švýcarských městech pochází z vodních, solárních nebo jiných obnovitelných zdrojů, takže se jedná o ekologickou elektřinu.
- Parciální trolejbusy IMC se nepoužívají k přestavbě dlouhých příměstských linek (zde zatím zůstávají dieselové autobusy) nebo naopak krátkých přípojných linek (s využitím malých autobusů, resp. elektrobuses).

10 Srovnávací studie v České republice

Cílem této kapitoly je poskytnout přehled zkušeností a srovnání technických či provozních parametrů sériově nasazených vozidel s čistými pohony mezi dopravci MHD v České republice. Pozornost byla zaměřena na získání podkladů ke konvenčním trolejbusům, parciálním trolejbusům a elektrobusům, a to vždy ve dvou obvyklých délkových kategoriích (12 a 18 m).

Tým zhotovitelů koncepce vytvořil společně se zástupci DPMB strukturovaný dotazník, který byl následně distribuován dopravcům, v jejichž flotile a běžném provozním nasazení najdeme alespoň dva různé zástupce vozidel s čistými pohony. Dotazník, který je součástí přílohy této zprávy, byl zaměřen na získání následujících porovnatelných parametrů:

- **vozidlo** – identifikace typu vozidla, pořizovací cena a rok pořízení, počet vozidel ve flotile, kapacita vozidla, technologie topení a klimatizace;
- **elektromotor** – typové označení, výkon, spotřeba, rekuperace;
- **baterie** (vyjma konvenčních trolejbusů) – Kapacita / energie trakční baterie a garantovaný dojezd na nabitou baterii;
- **dobíjení** (vyjma konvenčních trolejbusů) – způsob dobíjení vozidel, vzdálenosti a časové intervaly s/bez možností dobíjení trakční baterie;
- **provoz** – průměrné a maximální ujeté vzdálenosti za den / období u daného typu vozidla;
- **údržba** – smluvní záruky a očekávaná živostnost vozidla / trakční baterie.

S ohledem na skutečnost, že DPMB je největším provozovatelem (konvenční) trolejbusové dopravy, slouží údaje poskytnuté ke konvenčním trolejbusům z ostatních dopravních podniků především ke stanovení srovnávací hladiny. O to zajímavější je pak srovnání napříč různými typy čistých pohonů v rámci jednoho provozovatele / dopravního systému.

Data užívaná ve srovnání různých typů vozidel pocházejí od dopravních podniků z Chomutova a Jirkova, Jihlavy, Hradce Králové, Ostravy, Plzně a Prahy. S ohledem na dohodnuté podmínky poskytnutí těchto podrobných provozních údajů nejsou v koncepci data spojována s konkrétními dopravci, ale jsou uváděny průměrné hodnoty i jejich rozmezí u srovnatelných typů vozidel, spolu s vysvětlujícím komentářem.

10.1 Konvenční trolejbusy

Konvenční trolejbusy standardní velikostní kategorie (délka 12 metrů) jsou součástí flotily čtyř zapojených dopravců. Zastoupeny jsou typy Škoda 26 Tr Solaris a také Škoda 30 Tr SOR se shodnými typy elektromotorů o výkonu 160 kW a totožnou elektrickou výzbrojí, avšak odlišnou karosérií. Celková průměrná obsaditelnost vozidla je 100 cestujících. Vozidla byla pořízena v letech 2011 až 2018 v ceně kolem 10 milionů Kč bez DPH.

Průměrná spotřeba konvenčních trolejbusů ve standardní délce se pohybuje těsně pod 1 kWh na kilometr, přičemž pozitivní dopad na tuto hodnotu má moderní elektrická výzbroj se schopností rekuperace. Konkrétní hodnotu množství energie navrácené do sítě však většina dopravců přímo nesleduje; údaj 0,15 kWh/km tak pochází od jediného dopravce (lze však předpokládat obdobné hodnoty i pro další dopravce, s ohledem na shodu elektrické výzbroje).

Denní výkony průměrného vozidla zůstávají pod 200 km, průměrná ujetá vzdálenost na vozidlo pak představuje 165 km. Tomu odpovídají i relativně nižší roční ujeté vzdálenosti, které lze očekávat do 50 tis. kilometrů na průměrné vozidlo. S ohledem na zjištěné provozní parametry elektrobusů jde o podprůměrné hodnoty, což je v určitém protikladu vůči technologickým

předpokladům (konvenční trolejbus má teoreticky nekonečný dojezd, zatímco dojezd na trakční baterie bývá častým limitem provozního nasazení elektrobuse).

Záruka na vozidlo se pohybuje mezi dvěma až pěti lety, zatímco očekávaná životnost vozidel je obvykle 15 let. Vyjádříme-li životnost ujetou vzdáleností, pohybuje se kolem 850 tis. kilometrů.

Tabulka 10.1: Konvenční trolejbusy sólo

Oblast	Parametr	Průměrná hodnota	Rozsah hodnot
Vozidlo	Rok výroby	-	2011 – 2018
	Pořizovací cena	10,0 mil. Kč	9,7 – 10,5 mil. Kč
	Míst k sezení	34	32 – 34
	Míst ke stání	66	58 – 70
Elektromotor	Výkon motoru	160 kW	160 kW
	Spotřeba trakční energie	0,96 kWh/km	0,80 – 1,12 kWh/km
	Rekuperace energie	0,15 kWh/km ²⁸	-
Provoz	Průměrná ujetá vzdálenost za den	165 km	111 – 198 km
	Průměrná ujetá vzdálenost za 1. pololetí	16 000 km	4 000 – 25 000 km
	Maximální ujetá vzdálenost za 1. pololetí	24 000 km	19 000 – 31 000 km

Zdroj: MM

Kloubové trolejbusy s konvenčním pohonem a délkou kolem 18 metrů jsou opět zastoupeny u stejných čtyř dopravců z našeho srovnání. Jde převážně o typy Škoda 27 Tr Solaris a také Škoda 31 Tr SOR. Pořízeny byly v rozmezí let 2011 až 2018 za cenu kolem 13 milionů Kč. Udávaná celková přepravní kapacita prvního z typů je 167 osob, u druhého pak 132 osob.

Opět totožná je i elektrická výzbroj s jedním motorem o výkonu 250 kW, pohánějícím třetí nápravu. Průměrná spotřeba trakční energie dosahuje 1,42 kWh/km a hodnoty rekuperace, měřené jedním z dopravců, jsou obvykle 0,23 kWh/km. Denní a roční proběhy jsou velmi podobné konvenčním trolejbusům standardní velikosti; roční ujetá vzdálenost tedy nepřesáhne 50 tis. kilometrů.

Rovněž záruka na vozidlo se pohybuje mezi dvěma až pěti lety (totožně se standardními vozidly u příslušných dopravců), zatímco očekávaná životnost vozidel je obvykle 15 let.

Tabulka 10.2: Konvenční trolejbusy kloubové

Oblast	Parametr	Průměrná hodnota	Rozsah hodnot
Vozidlo	Rok výroby	-	2011 – 2018
	Pořizovací cena	13,1 mil. Kč	12,5 – 13,6 mil. Kč
	Míst k sezení	49	46 – 50
	Míst ke stání	109	86 – 117
Elektromotor	Výkon motoru	250 kW	250 kW
	Spotřeba trakční energie	1,42 kWh/km	1,22 – 1,55 kWh/km
	Rekuperace energie	0,23 kWh/km ²⁹	-
Provoz	Průměrná ujetá vzdálenost za den	164 km	120 – 205 km
	Průměrná ujetá vzdálenost za 1. pololetí	14 000 km	3 000 – 19 000 km
	Maximální ujetá vzdálenost za 1. pololetí	26 000 km	21 000 – 33 000 km

Zdroj: MM

²⁸ Údaj sleduje pouze jeden z dopravců

²⁹ Údaj sleduje pouze jeden z dopravců

10.2 Parciální trolejbusy

Sólo parciální trolejbusy ve standardní délkové kategorii (12 metrů) jsou v našem srovnání zastoupeny typy Škoda 26 Tr Solaris, Škoda 30 Tr (také jako SOR TNB 12) a SOR TNS 12, pořízené v rozmezí let 2017 až 2023 celkem u čtyř dopravců. Nižší věk vozidel s sebou přináší i vyšší pořizovací cenu, která se pohybuje v rozmezí od 11,9 mil. Kč až po 16,1 mil. Kč bez DPH, přičemž nejnižší i nejvyšší cena byly dosaženy s odstupem jednoho roku. Parciální trolejbusy typu Škoda 26 Tr Solaris udávají nižší obsaditelnost ve srovnání se svými konvenčními kolegy; klesá o 22 cestujících na rovných 80. U výrobce SOR Libchavy je podle obdržených podkladů teoretická kapacita zachována, přestože i zde dochází k zástavbě trakčních baterií do konstrukce vozidla.

Průměrná spotřeba sólo parciálních trolejbusů vychází na 1,10 kWh/km, je tedy zhruba o 15 % vyšší než v případě konvenčních trolejbusů. Obdobné rozdíly najdeme i v rozsahu minima a maxima vykazovaných hodnot spotřeby mezi různými dopravci. Také parciální trolejbusy zajišťují rekuperaci elektrické energie; nižší průměrná hodnota je však dána započtením údajů dvou různých dopravců (u totožného dopravce se prakticky neliší). Ve třech případech jsou trolejbusy osazeny trakčním motorem z produkce Škody Electric s výkonem 160 kW, zatímco typ SOR TNS 12 má motor ATM 180 s výkonem 175 kW od dodavatele Tram For Envi s.r.o.

Údaj o kapacitě trakční baterie byl poskytnut pouze pro typ Škoda 26 Tr Solaris a činí 70 Ah. Z toho vycházející energie uskladněná v trakční baterii je na úrovni 50 kWh. Při těchto parametrech je garantovaný dojezd na baterii v rozmezí 12–16 km; oba dopravci tento limit využívají v běžném provozu na 83–92 %, tedy blízko garantovaným hodnotám. Garantovaný dojezd vozidla SOR TNS 12 je rovněž 12 km a dopravce jej využívá v plném rozsahu 100 %. Pro vozidlo typu Škoda 30 Tr naopak máme k dispozici údaj o poklesu kapacity baterie vlivem jejího opotřebení; hodnotu -0,34 % lze považovat za velký úspěch.

Provozní nasazení vozidel se poměrně odlišuje. U jednoho z dopravců slouží parciální trolejbus na prodloužení vybraných spojů na lince do vzdálenosti 2 km, což odpovídá osmi minutám jízdy. Následuje čtyřikrát delší úsek jízdy pod trakčním trolejovým vedením, který spolu s přestávkou na konečné zastávce umožňuje velkorysých 50 minut nabíjení.

U zbývajících třech dopravců je podíl jízdy bez / s napájením již vyrovnanější:

- **SOR TNS 12:** Vzdálenost 12 km jízdy bez trolejového vedení je kompenzována 16 km jízdy pod trolejovým vedením; v časovém vyjádření jde 30 minut jízdy bez možnosti nabíjení, následovaných 65 minutami jízdy a přestávkou s možností nabíjení.
- **Škoda 26 Tr:** Vzdálenost 11 km jízdy bez trolejového vedení je kompenzována 23 km jízdy pod trolejovým vedením; časově jde o poměr 20:30 minut ve prospěch doby s možností nabíjení.
- **Škoda 26 Tr:** Vzdálenost 13,3 km jízdy bez trolejového vedení je kompenzována 11,8 km jízdy pod trolejovým vedením; ovšem v časovém vyjádření se poměr obrací na 37:60 minut ve prospěch doby s možností nabíjení.

Z uvedeného je tedy patrné, že ve stabilním provozu lze pro parciální trolejbusy s energií trakční baterie na hodnotě kolem 50 kWh ujet více než 10 km mimo trolejové vedení, a to i za situace poměru vzdáleností blízko 1:1 vůči trase pokryté trolejovým vedením, pokud ovšem zároveň je zajištěná taková organizace provozu na lince, aby celková doba nabíjení (tj. jízdy a pobytu v konečných zastávkách) převažovala nad dobou odběru energie z trakční baterie.

Ve všech popisovaných případech probíhá dobíjení dvoupólově z trakčního trolejového vedení se stejnosměrným proudem o napětí 600 V, přičemž dopravci prozatím nepoužívají izolované úseky trolejového vedení na konečných zastávkách, které nejsou součástí trolejbusové sítě.

Z hlediska výkonnostních parametrů parciálních trolejbusů u třech referenčních dopravců se průměrný denní proběh pohybuje stabilně kolem 150 km, tedy zhruba na úrovni konvenčních trolejbusů stejné velikosti. V rámci vozového parku je však nasazení vozidel vyrovnanější, což se odráží ve vyšší průměrné i maximální ujeté vzdálenosti za sledované období prvního pololetí roku 2024. Očekávaná roční ujetá vzdálenost má tedy potenciál dosáhnout 60 tis. kilometrů.

Záruka na kompletní vozidlo se pohybuje mezi dvěma a pěti lety. Záruka na baterii pak obvykle činí 6 let, přičemž je v některých případech ohraničena ujetím 100 až 150 tis. kilometrů. Předpoklad celkové životnosti vozidla je obvyklých 15 let. U baterie pak očekávaná životnost klesá na 7 let, ovšem jeden dopravce i tak neplánuje baterii vyměňovat; změní jen způsob využití konkrétního vozidla.

Tabulka 10.3: Parciální trolejbusy sólo

Oblast	Parametr	Průměrná hodnota	Rozsah hodnot
Vozidlo	Rok výroby	-	2018 – 2023
	Pořizovací cena	13,7 mil. Kč	11,9 – 16,1 mil. Kč
	Míst k sezení	31	26 – 34
	Míst ke stání	57	46 – 70
Elektromotor	Výkon motoru	164 kW	160 – 175 kW
	Spotřeba trakční energie	1,10 kWh/km	0,93 – 1,35 kWh/km
	Rekuperace energie	0,12 kWh/km	0,08 – 0,16 kWh/km
Baterie	Kapacita / energie trakční baterie	70 Ah / 50 kWh	³⁰
	Úbytek kapacity trakční baterie	-0,34 % za 5 let	³¹
	Garantovaný dojezd na baterii	13 km	12 – 16 km
Dobíjení	Vzdálenost bez nabíjení / s nabíjením	10 / 15 km	2 / 8 km
			12 / 16 km
			11 / 23 km
			13 / 12 km
	Doba na lince bez nabíjení / s nabíjením	24 / 51 min	8 / 50 min
			30 / 65 min
			20 / 30 min
Provoz	Průměrná ujetá vzdálenost za den	148 km	37 / 60 min
			-
			-
	Dobíjení na konečných zastávkách	Trakční trolejové vedení	-
Provoz	Průměrná ujetá vzdálenost za den	148 km	127 – 167 km
	Průměrná ujetá vzdálenost za 1. pololetí	24 000 km	21 000 – 31 000 km
	Maximální ujetá vzdálenost za 1. pololetí	30 000 km	27 000 – 34 000 km

Zdroj: MM

Kloubové parciální trolejbusy v délce 18–19 m reprezentují typy Škoda 27 Tr Solaris a SOR TNS 18, který je, pořízené v letech 2022 až 2023 dvěma dopravci. Pořizovací cena se pohybuje v poměrně velkém rozmezí 14,6–17,0 mil. Kč. Trolejbusy typu Škoda 27 Tr Solaris udávají obsaditelnost pouhých 115 osob, oproti 167 cestujícím u konvenčního trolejbusu stejného typu a dopravce. Pro typ SOR TNS 18 je zajištěna kapacita 146 cestujících.

Průměrná spotřeba kloubových parciálních trolejbusů vychází na 1,75 kWh/km, avšak v rámci jednoho města a se stejným typem vozidla nejsou vykazovány rozdíly mezi parciálním a konvenčním trolejbusem. Trolejbusy jsou osazeny rozdílnými typy trakčních motorů a elektrické výzbroje, oba pracují s maximálním výkonem 240 kW.

³⁰ Údaj platí pouze pro typ Škoda 26 Tr

³¹ Údaj sleduje pouze jeden z dopravců

Garantovaný dojezd vychází v obou případech na 12 km. Provozní nasazení typu Škoda 27 Tr Solaris spočívá ve velké míře na jízdě pod trolejovým vedením; z průměrných denních 158 km je na trakční baterii ujetu méně než 11 km. Zato typ SOR TNS 18, s ohledem na charakter jediné linky, kde je provozován, ujede denně průměrně 201 km, z nichž téměř 95 km čerpá elektromotor energii z trakční baterie. Při těchto hodnotách dosáhne průměrná roční ujetá vzdálenost vozidla rozmezí 60–70 tis. kilometrů.

Pokud se zaměříme na parametry stálých linek, kde jsou vozidla nasazována k mezím jejich garantovaného dojezdu, můžeme zjistit následující:

- Vzdálenost 13,3 km jízdy bez trolejového vedení je kompenzována 11,8 km jízdy pod trolejovým vedením; ovšem v časovém vyjádření se poměr obrací na 37:60 minut ve prospěch doby s možností nabíjení.
- Vzdálenost 7,5 km jízdy bez trolejového vedení je kompenzována 8 km jízdy pod trolejovým vedením; časově jde o 20 minut jízdy a 7 minut stání bez trakčního vedení, které je kompenzováno 20 minutami jízdy a 20 minutami stání s možností nabíjení.

Lze tedy potvrdit závěry učiněné již pro parciální trolejbusy standardní velikosti, tj. při poměru vzdáleností blízko 1:1 bez/s možností nabíjení je zároveň zapotřebí, aby celková doba nabíjení převažovala nad dobou odběru energie z trakční baterie. Doba nabíjení představuje zhruba 2/3 celkové doby pobytu vozidla na lince, včetně přestávek.

Záruka na kompletní vozidlo se pohybuje mezi dvěma a devíti lety. Záruka na baterii pak obvykle činí 6–7 let, přičemž může být limitována ujetím 40 kilometrů denně na trakční baterii. Předpoklad celkové životnosti vozidla je 15–17 let, pro životnost baterie pak platí totožné závěry jako u sólo parciálních trolejbusů.

Tabulka 10.4: Parciální trolejbusy kloubové

Oblast	Parametr	Průměrná hodnota	Rozsah hodnot
Vozidlo	Rok výroby	-	2022 – 2023
	Pořizovací cena	15,8 mil. Kč	14,6 – 17,0 mil. Kč
	Míst k sezení	41	38 – 44
	Míst ke stání	90	77 – 102
Elektromotor	Výkon motoru	240 kW	240 kW
	Spotřeba trakční energie	1,75 kWh/km	1,55 – 1,95 kWh/km
	Rekuperace energie	-	-
Baterie	Kapacita / energie trakční baterie	70 Ah / 55,7 kWh	³²
	Úbytek kapacity trakční baterie	-	-
	Garantovaný dojezd na baterii	12 km	12 km
Dobíjení	Vzdálenost bez nabíjení / s nabíjením	10 / 10 km	13 / 12 km 7,5 / 8 km
	Doba na lince bez nabíjení / s nabíjením	32 / 50 min	37 / 60 min 27 / 40 min
	Dobíjení na konečných zastávkách	Trakční trolejové vedení	-
Provoz	Průměrná ujetá vzdálenost za den	180 km	158 – 201 km
	Průměrná ujetá vzdálenost za 1. pololetí	27 000 km	²⁸
	Maximální ujetá vzdálenost za 1. pololetí	30 000 km	²⁸

Zdroj: MM

³² Údaj platí pouze pro typ Škoda 27 Tr

Pro parciální trolejbusy obecně je důležité, jakými parametry je definován garantovaný dojezd na trakční baterii. Někteří dopravci se odkazují na trasu a jízdní řád referenční linky, ze které lze odvodit poměr jízdy pod trolejí / mimo trolej, vzdálenosti ujeté na baterii, denní počet nabíjecích cyklů a z toho plynoucí garantovaný dojezd při zapnutém topení či klimatizaci. Podrobněji uvádí jeden z dopravců tato kritéria:

- Podmínkou výdrže na 1 cyklus jízdy na trakční baterie bez trolejového vedení je garantované ujetí 13 km jízdy po celou záruční dobu trakčních baterií při plném vytížení vozidla rychlostí min. 50 km/hod, při současném zastavování na zastávkách, křižovatkách a ostatních překážkách, při 30% výkonu topení, plném větrání a osvětlení salonu pro cestující a plném výkonu topení popřípadě chlazení kabiny řidiče, a to včetně výdrže 15 minut přestávky zapnutého vozidla s dostatečným výkonem topení popřípadě chlazení a osvětlení kabiny řidiče na všech profilech tras autobusových a trolejbusových linek.
- Při jízdě na trakční baterie na rovině při přímém směru pohybu a výše uvedenými podmínkami je požadována akcelerace z nulové rychlosti na 40 km/h do 18 sekund a z nulové rychlosti na 65 km/h do 45 sekund. Trolejbusy musí splňovat tuto dynamiku po celou dobu záruky.
- Podmínkou opakování cyklů jízdy na trakční baterii bez trolejového vedení v denním režimu provozu je možnost dobíjení energie z trolejového vedení v délce 50 minut pod trolejovým vedením mezi jednotlivými cykly při běžném poměru jízdy a stání.
- Dobíjení trakční baterie z trolejového vedení i při stání trolejbusu v zastávce, s automatickým snížením odběrového proudu (pomalejší dobíjení), délka 100% dobití při samotném stání pod trolejovým vedením při maximální povolené hloubce vybití nepřesáhne 90 minut.
- Dobíjení a balancování trakčních baterií z trakčního vedení po odstavení ve vozovně probíhá bezobslužně, řidič před opuštěním vozu nastaví noční režim dobíjení. Po dobití a vybalancování baterií je vozidlo automaticky a bezpečně odpojeno od trakční sítě. Během a po dokončení procesu dobíjení a balancování trakčních baterií po odstavení ve vozovně je palubní počítač v takovém stavu, aby bylo možné přehrávat data.
- Minimální požadovaná využitelná kapacita trakční baterie je 42 kWh. Využitelnou kapacitou se rozumí energie dostupná pro jeden cyklus jízdy na trakční baterii.

10.3 Elektrické autobusy

Ve srovnání elektrických autobusů jsou zastoupeny tři typy vozidel ve standardní délkové kategorii s rozdílnými konfiguracemi nabíjení a z toho plynoucích kapacit baterií a garantovaného dojezdu:

- SOR NS 12 electric, dodaný v roce 2018, s pomalým nabíjením a dojezdem 250 km;
- Škoda E'City 36BB, dodaná v roce 2022, se dvoupólovým nabíjením a dojezdem 100 km;
- Urbino 12 electric, dodané v roce 2022, se čtyřpólovým nabíjením a dojezdem 30 km.

Ve srovnání nenajdeme kloubové elektrické autobusy, které jsou zatím na českém trhu vzácné.

Ačkoliv jsou ve výběru vozidla různých výrobců a bateriových technologií, jejich pořizovací cena byla vzácně vyrovnaná, s průměrnou cenou 11,7 milionu Kč bez DPH za vozidlo. Převážná kapacita vozidel se pohybuje od 83 do 103 osob, blíže má tedy k parametrům parciálních trolejbusů nežli konvenčních.

V parametru spotřeby elektrické energie dosahuje průměr 1,10 kWh/km stejné hodnoty jako v případě parciálních trolejbusů stejné velikosti. Při brzdění je rekuperovaná energie ukládána zpět do trakční baterie, díky tomu je dosahováno příznivých hodnot celkové spotřeby. Kapacita trakčních baterií se značně liší podle jejich určení; údaj máme dostupný pouze k rychle nabíjené

baterii autobusu Solaris Urbino 12 electric, jehož 138 Ah je přibližně dvojnásobných proti parciálnímu trolejbusu stejného výrobce. Výkon trakčního motoru se pohybuje kolem 190 kW.

Z hlediska denního dobíjení při pobytu vozidel na lince (resp. na konečných zastávkách) nedává smysl sledovat typ SOR NS 12 electric vybavený bateriemi s dlouhým dojezdem, které jsou dobíjeny při nočním stání ve vozovně. U zbylých dvou vozidel je nutné vnímat rozdíl mezi dvou- a čtyřpólovou technologií, která ovlivňuje dobu nabíjení a tím i potřebný dojezd. Čtyřpólová technologie standardu OppCharge u typu Solaris Urbino 12 electric nabízí dojezd na jedno rychlé dobítí maximálně třicet kilometrů. Každý autobus se za den na trase otočí až dvanáctkrát a po tuto dobu se pravidelně na konečné průběžně dobíjí zhruba deset minut. Poté zajíždí do depa na noční dobíjení a balancování trakčních baterií. Naproti tomu typ Škoda E'City 36BB je nabíjen pouze z troleje (dvoupólová technologie), nabíjení pro každou linku probíhá na jedné konečné v době okolo 20 minut, přičemž obvyklá ujetá vzdálenost je opět do 30 kilometrů. Na konečné je možno současně nabíjet 3 až 4 elektrobusy. Při konstrukci jízdního řádu jsou tyto parametry ověřovány v energetickém managementu vozidel.

Denní výkony průměrného vozidla jsou 275 km, přičemž u elektrobusů s rychlým denním nabíjením stoupá až na 400 km, zatímco u elektrobusů s nočním nabíjením klesá na 175 km. Tomu odpovídají i relativně vyšší roční ujeté vzdálenosti, které lze očekávat nad 60 tis. kilometrů na průměrné vozidlo, s možnými výkyvy až ke 100 tis. km ročně.

Záruka na kompletní vozidlo se v tomto srovnání pohybuje mezi 4–6 lety, zatímco u trakční baterie je to 6–7 let; tato doba je zároveň očekávanou životností. S ohledem na celkovou očekávanou životnost vozidla 10–15 let se tedy uvažuje s jednou výměnou trakčních baterií v polovině životnosti vozidla.

Tabulka 10.5: Elektrické autobusy sólo

Oblast	Parametr	Průměrná hodnota	Rozsah hodnot
Vozidlo	Rok výroby	-	2018 – 2022
	Pořizovací cena	11,7 mil. Kč	11,0 – 12,3 mil. Kč
	Míst k sezení	33	28 – 34
	Míst ke stání	58	49 – 67
Elektromotor	Výkon motoru	189 kW	160 – 220 kW
	Spotřeba trakční energie	1,10 kWh/km	0,95 – 1,25 kWh/km
	Rekuperace energie	-	-
Baterie	Kapacita / energie trakční baterie	138 Ah ³³	-
	Úbytek kapacity trakční baterie	-	-
	Garantovaný dojezd na baterii	-	30, 100, 250 km
Dobíjení	Vzdálenost bez nabíjení	26 km ³⁴	25 – 26 km ³⁰
	Nejdelší doba bez nabíjení	84 min ³⁰	68 – 100 min ³⁰
	Doba nabíjení na konečné zastávce	15 min ³⁰	10 – 20 min ³⁰
Provoz	Průměrná ujetá vzdálenost za den	275 km	175 – 400 km
	Průměrná ujetá vzdálenost za 1. pololetí	29 000 km	24 000 – 35 000 km
	Maximální ujetá vzdálenost za 1. pololetí	44 000 km	30 000 – 57 000 km

Zdroj: MM

³³ Údaj platí pouze pro typ Urbino 12 electric

³⁴ Údaje platí pouze pro typy Škoda E'City 36BB a Urbino 12 electric s denním dobíjením na konečných

10.4 Závěry pro Brno

Ze srovnání různých typů a technologií vozidel v kategorii čistých pohonů, provedeném napříč zkušenostmi vybraných dopravních podniků v České republice, vyplývají pro Brno tyto závěry:

- Ohledně **pořizovacích cen nových vozidel** se jeví parciální trolejbusy jako mírně dražší než elektrické autobusy, ovšem v úvahu musí přijít také investice do nabíjecí infrastruktury, která je synergická u dvoupólové technologie (využívající současné napájení z tramvajových a trolejbusových měnících), avšak významněji odlišná u čtyřpólového standardu OppCharge.
- V otázce **užitných vlastností vozidel** jsou technologie srovnatelné z hlediska dynamiky jízdy, ovšem u parciálních trolejbusů i elektrických autobusů je nutné počítat s omezením přepravní kapacity o pětinu oproti konvenčním trolejbusům (minimálně teoretické hodnoty obsaditelnosti, která však není v provozu běžně dosahována).
- V parametru **spotřeby trakční elektrické energie** lze u sólo parciálních trolejbusů i elektrobusů počítat se spotřebou 1,10 kWh/km, což je zhruba o 15 % vyšší hodnota než v případě konvenčních trolejbusů. V případě parciálních kloubových trolejbusů pozorujeme nárůst kolem 20 % proti konvenčním kloubovým trolejbusům. Spotřeba ovšem závisí na obvyklém obsazení vozidel a výškovém profilu trasy, které se mezi městy odlišují.
- Z hlediska **garantovaného dojezdu na baterii** přirozeně mezi parciálními trolejbusy a elektrickými autobusy nastávají rozdíly; u trolejbusů jde o obvyklé hodnoty do 12 kilometrů (s následným dobíjením za jízdy), pro elektrické autobusy pak lze uvažovat cokoliv od 30 km až po maximální denní ujetou vzdálenost, vždy v závislosti na způsobu nabíjení a od toho zvolené kapacity baterie.
- Pro **parciální trolejbusy** je vybíráno takové nasazení na linkách, kde poměr vzdáleností ujetých s/bez možností průběžného nabíjení dosahuje 50:50, avšak současně je k dispozici poměr alespoň 60:40 ve prospěch času s možností nabíjení vozidla při jízdě nebo při stání na konečných. Teoreticky lze navyšovat garantovaný dojezd nad obvyklých 12 kilometrů a měnit i výše uvedené poměry, ovšem za cenu zvětšování trakční baterie a doby stání na konečných, tedy obecně směřovat k řešení typickému spíše pro elektrické autobusy.
- Pro **elektrické autobusy** se předpokládá, že alespoň na jedné konečné zastávce bude možné nabíjet vozidlo při každém obratu na lince, alespoň v délce 20 minut při dvoupólovém nabíjení. Použití nabíjení přímo z troleje se stejnosměrným proudem o napětí 600 V se pro Brno jeví výhodně s ohledem na rozsáhlou tramvajovou a trolejbusovou síť a k ní náležející energetická zařízení. Ovšem v evropských městech se více prosazuje čtyřpólové nabíjení, protože zde často chybí vazba na existující systémy stejnosměrného napájení.
- Zřizování **statického nabíjení** na konečných zastávkách, které jinak nejsou součástí trolejbusové sítě, sice není v současné době v ČR příliš časté, ale většina dopravců k němu směřuje při dalších fázích zavádění čistých pohonů na delších a výkonnostně náročnějších autobusových linkách. Pro elektrické autobusy je takové řešení zásadní při hledání kompromisu mezi dojezdem a velikostí baterie, pro parciální trolejbusy jde spíše o doplňkové opatření (vyžaduje delší dobu stání na konečných zastávkách).
- S ohledem na **dosahované denní proběhy vozidel** lze konstatovat, že nasazení moderních technologií čistých pohonů neznámá větší omezení, snad s výjimkou elektrobusů s nočním nabíjením, které lze nabíjet pouze ve vozovně. Nicméně někteří dopravci připouštějí, že při nasazení elektrických autobusů byly záměrně zvoleny linky s nižšími denními proběhy, případně byla organizace provozu na lince upravena navýšením výpravy vozidel tak, aby zůstal dostatek času pro denní nabíjení v konečných zastávkách.
- **Životnost vozidla** se pohybuje kolem 15 let, u elektrických autobusů může být i méně. Principiální otázkou je životnost baterie, která se často kryje s dobou záruky kolem 6–7 let. Pro elektrobusy je obměna bateriové sady zásadní, pro parciální trolejbusy existuje alternativa ve změně jejich provozního využití (z pravidelné jízdy na trakční baterii se může stát řešení pouze pro mimořádné situace, kde vystačí omezená kapacita baterie).

11 Seznam zkratek

Zkratka	Popis
CSD	Celostátní sčítání dopravy
CNG	Stlačený zemní plyn
DPMB a.s.	Dopravní podnik města Brna
DPmML	Dopravní podnik měst Mostu a Litvínova
DPO	Dopravní podnik Ostrava
DPP	Dopravní podnik hl. m. Prahy
EU	Evropská unie
EU ETS	EU Emissions Trading System
HVO	Hydrogenovaný rostlinný olej
IDS JMK	Integrovaný dopravní systém Jihomoravského kraje
IMC	In Motion Charging (nabíjení za jízdy) – parciální trolejbus
IROP	Integrovaný regionální operační program
JIVE	Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe
LBG	Zkapalněný bioplyn
LNG	Zkapalněný zemní plyn
LPG	Zkapalněný ropný plyn
MK	Místní komunikace
MHD	Městská hromadná doprava
MD ČR	Ministerstvo dopravy ČR
MM	Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
MMB	Magistrát města Brna
MRR	Méně rozvinutý region
MÚK	Mimoúrovňová křižovatka
OD	Odbor dopravy
OPD	Operační program Doprava
POK	Politika ochrany klimatu
PR	Přechodový region
SEK ČR	Státní energetická koncepce ČR
SFŽP	Státní fond životního prostředí ČR
SSZ	Světelné signalizační zařízení
VHD	Veřejná hromadná doprava

