

Možnosti energetických úspor v městské hromadné dopravě v ČR

Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie na období 2017–2021 – program EFEKT 2 pro rok 2020

prosinec 2020

Obsah

1	Uvedení do problematiky	5
1.1	Zaměření publikace	6
2	Současný stav městské dopravy	7
2.1	Stav a vývoj v ČR	7
2.2	Stav a vývoj v evropských zemích	8
3	Dokumenty EU a ČR	9
3.1	Dopravní politika EU	9
3.2	Dopravní politika ČR	12
4	Složení vozových parků dopravních podniků	17
4.1	Vozový park DP v ČR	17
4.1.1	Metro	17
4.1.2	Tramvaje	17
4.1.3	Trolejbusy	18
4.1.4	Autobusy	19
4.1.5	Elektrobusy	21
4.2	Energetická náročnost dopravních prostředků	21
4.2.1	Trakční vozidla – tramvaje a trolejbusy	21
4.2.2	Autobusy	24
4.2.3	Shrnutí	25
5	Plány rozvoje vybraných dopravních podniků	27
5.1	DP hl. města Praha	27
5.2	DP města Brna	28
5.3	DP města Ostrava	29
5.4	Plzeňské městské podniky	29
5.5	DP města Liberec a Jablonec nad Nisou	30
5.6	DP Mostu a Litvínova	30
5.7	DP města Olomouc	31

6	Stanovení potenciálních úspor v MHD	32
6.1	Energetická náročnost dopravních prostředků	32
6.2	Extramodální úspory	37
6.3	Intramodální úspory	39
6.4	Vyčíslení potenciálů úspory energií	43
6.5	Celkové možné úspory energie v MHD v ČR	50
7	Závěr	51
	Seznam zkratk	53
	Zdroje informací	54

1 Uvedení do problematiky

Městská osobní hromadná doprava jako jedna ze součástí všeobecné dopravy zaznamenává trvalý rozvoj především s ohledem na rostoucí požadavky na její kapacitu a územní rozsah. Je to způsobeno tím, že zvyšování dopravních výkonů osobní přepravy v městských aglomeracích naráží na své limity v oblasti infrastruktury a další rozšiřování individuální osobní dopravy ve městech je prakticky nemožné. Přeplněné dopravní tepny, nemožnost jejich rozšiřování, ekologické aspekty a omezené parkovací plochy limitují další rozvoj individuální osobní automobilové dopravy ve městech. Toto vše vede k trvalému rozvoji MHD, která však musí splňovat ekologické a ekonomické podmínky efektivního provozu a zároveň zajistit požadované přepravní výkony v dostatečné kvalitě a objemu.

Doprava zatěžuje životní prostředí stále vyšší měrou, proto je nezbytné se zaměřit na její trvale udržitelný rozvoj. I přes trvalý růst celého sektoru dopravy lze dosáhnout energetických úspor a nižší zátěže pro životní prostředí v mnoha oblastech. V rámci energetických úspor v dopravě obecně je třeba hledat efektivní a levnější možnosti energetických zdrojů, tedy využívat možnosti úspor energií v kombinaci s obnovitelnými zdroji energie. V ČR se doprava podílí na konečné spotřebě energií 27 %, tedy podobně jako spotřeba domácností (28 %) i průmyslu (30 %). Přibližně ze sumy 80 mld. kWh/rok, což je spotřeba pro sektor dopravy pro ČR, je podíl elektrifikované dopravy pouze 3 %, přičemž zajišťuje 18 % přepravních výkonů (zejména v železniční dopravě, ale i v MHD). Zbylou část zdrojů tvoří fosilní paliva a biopaliva (diesel, benzin, plyn). Motory spalující fosilní paliva jsou energeticky výrazně méně účinné než pohony využívající elektrickou energii. Dopravní prostředky na fosilní paliva se ale vyznačují výraznější svobodou pohybu a také nižší cenou, a to jak investiční, tak provozní. Dopravní prostředky využívající pro svůj pohyb elektřinu jsou více omezené potřebnou infrastrukturou a obvykle vyšší cenou, nicméně jsou výrazně méně energeticky náročné, ekologičtější. Tyto skutečnosti se promítají výrazným vlivem na lidské zdraví. Ovšem i samotnou elektrickou trakci lze optimalizovat k větší efektivitě a úsporám emisí. Typickým příkladem je unifikace a optimální využívání infrastruktury i vozového parku.

Primárním účelem MHD je zajištění dopravy obyvatel z místa bydliště na pracoviště a zpět. Jestliže v minulosti byl způsob přepravy osob omezen neexistencí vhodných individuálních dopravních prostředků pro tuto přepravu, v současné době problém individuální osobní přepravy ve městech je limitován průjezdností a kapacitou městských komunikací, omezením parkovacích ploch u pracovišť a nemalou mírou výraznou lokální ekologickou zátěží ovzduší v městských aglomeracích. V tomto směru je efektivní a dobře organizovaná MHD nezastupitelná a nenahraditelná jak z hlediska ekologických dopadů celospolečenského významu, tak z hlediska individuálních úspor (časových a ekonomických) pro její uživatele.

Městská hromadná doprava prošla složitým vývojem od animálního pohonu přes parní stroje až ke klasické elektrické trakci, stranou však nezůstaly ani spalovací motory. Počátky městské hromadné dopravy spadají již do první poloviny předminulého století. V té době růst měst spojený s rozvojem průmyslu přinesl změny v životě společnosti. Zvýšila se cestovní vzdálenost mezi bydlištěm a pracovištěm, čímž vznikla nutnost přepravy mnoha osob v určité době do zaměstnání a zpět domů. To se projevilo potřebou vhodných dopravních prostředků pro hromadnou dopravu osob.

V českých zemích začíná historie pouliční hromadné dopravy v poslední třetině předminulého století, kdy vznikala a úspěšně se rozvíjela koněspřežná nekolejová doprava (nazývaná též omnibusy) a také koněspřežná kolejová (tramvajová) doprava, přičemž koňské potahy byly posléze v některých městech nahrazeny parními lokomotivami. Označení „omnibus“ se používalo též pro vozidla poháněná spalovacím motorem, proto je dnes obtížné mapovat, jak po světě postupoval rozvoj tohoto druhu dopravy. Teprve později se pro odlišení začalo používat označení automobilní omnibus, z čehož se následně zkrácením ujal termín autobus.

První pouliční elektrická tramvaj byla v tehdejší Rakousku-Uhersku vybudována Františkem Křižíkem v Praze v roce 1891. Na přelomu 19. a 20. století byla zavedena elektrická dráha v Teplicích, následně v Olomouci, Plzni, Ústí nad Labem, Brně, Jablonci, Mostu, Ostravě, Mariánských Lázních, Opavě, Českých Budějovicích, Jihlavě a Českém Těšíně. Tramvajová doprava se postupně rozrůstala, její zlatý věk nastal v období mezi oběma světovými válkami a v některých případech byla využívána i k jiným účelům (přeprava materiálu a zásobování) než k osobní přepravě.

Po druhé světové válce převládl názor, že nevhodnější městská doprava je autobusová, protože nepotřebuje vkládat investiční prostředky do kolejové a trolejové výstavby, nevyžaduje zřizování napájecích systémů a svou nezávislostí na těchto zařízeních je schopna operativně přizpůsobit vedení linek, případně plnit evakuační potřeby. Proto řada měst začala rušit tramvajovou dopravu, čemuž napomohlo i vládní rozhodnutí o přednostním využívání ropných produktů (nafty) v dopravě, která byla levně dovážena z bývalého Sovětského svazu. Tramvajová doprava byla zrušena v Jihlavě, Českých Budějovicích, Mariánských Lázních, Opavě, Teplicích, Jablonci, Ústí nad Labem i Českém Těšíně. V řadě z těchto měst byla kromě autobusové dopravy nahrazena též trolejbusovou dopravou. Posledním z rušených trakční provozů v této fázi vývoje bylo zrušení trolejbusové dopravy v Praze v letech 1971–1972, kde se však již v této době připravovalo zahájení provozu metra.

Největší význam v městské dopravě má metro, které je ovšem v našich podmínkách záležitostí pouze hlavního města a o jeho energeticky efektivním způsobu provozu nelze pochybovat. Proto se analýzy energetické efektivity a úspor zaměřují především na oblast tramvajové a trolejbusové dopravy a jejich srovnání s energetickou náročností autobusové dopravy. Přitom jsou hodnoceny a porovnávány energetické náročnosti a přínosy nových technologií pohonů vozidel MHD – ať už jsou to parciální trolejbusy umožňující jízdu i v úsecích bez trolejových vedení, nebo elektrobusy. Využití těchto nových moderních vozidel MHD se uplatňuje především ve městech, které mají pouze omezené investice na zajištění rozvoje MHD a komplexní elektrizace všech tratí MHD je pro ně neefektivní a ekonomicky nedosažitelná. Trend parciálních trolejbusů a elektrobusů narůstá a je z hlediska úspor emisí a energií ve vztahu k ekonomickým nákladům oproti jiným druhům dopravy úsporný a zároveň šetrný k životnímu prostředí.

1.1 Zaměření publikace

Publikace se věnuje možnostem energetických úspor v městské hromadné dopravě provozované v ČR a je určena pro širokou laickou i odbornou veřejnost včetně studentů středních a vysokých škol. Publikace nastiňuje a kvantifikuje také možné úspory pro potřeby státní sféry, např. MPO a MD.

Cílem je zpracování širšího přehledu o aktuálních možnostech zejména v oblasti energetických úspor v městské hromadné dopravě. Výstupem publikace, které je primárně určena pro širokou odbornou veřejnost a státní správu, je podrobný souhrn možných opatření k zefektivnění a úsporám energie v provozu městské hromadné dopravy.

Tato publikace navazuje na minulé dílo "Možnosti řešení energetických úspor na železnici v prostředí ČR". Tato publikace je zaměřena na získání nových poznatků a možností městské hromadné dopravy, ať už elektrifikované, tak také založené na jiném zdroji energie pro pohon, ve vztahu k energetickým úsporám, potažmo úsporám CO₂.

2 Současný stav městské dopravy

Městská hromadná doprava ve své historii předběhla individuální automobilovou dopravu ve městech. Ve druhé polovině 19. století byly ve městech zřizovány první koněspřežné dráhy, které byly předchůdcem tramvajové dopravy. V prvopočátcích byla městská hromadná doprava zpravidla chápána jako výdělečný podnik v soukromém vlastnictví jednotlivců nebo ve formě akciové společnosti. S postupem času bylo stále potřebnější pokrytí dopravních potřeb rozvíjejících se měst bez ohledu na ekonomickou efektivnost provozu městské hromadné dopravy. To bylo důvodem k tomu, aby starost o provoz městské hromadné dopravy a budování nových tratí na sebe postupně převzala města sama. To často souviselo s budováním městských elektráren a s postupným zaváděním elektrické trakce v městské dopravě. Častou formou například bylo, že elektrickou dráhu v dohodnutém rozsahu vybudovala elektrárenská či elektrotechnická společnost s tím, že po stanovené době (například po 10 letech) dráha přešla do majetku města. S rozvojem městské hromadné dopravy se měnil názor i na její poslání. Dnes je obvykle chápána jako služba veřejnosti a jízdné je stanovováno tak, aby cestující dávali v potřebné míře přednost hromadné dopravě před dopravou individuální. Ta totiž ve světových velkoměstech už od 20. let minulého století rostla natolik, že vznikaly časté dopravní zácpy ochromující život celého města, nehledě na ekologické důsledky, které v té době ještě nebyly brány v potaz. Rozdíl mezi tržbami a provozními náklady MHD je dotován z městské pokladny právě proto, že vytvoření odpovídající podmínky pro silniční dopravu bývá mnohonásobně dražší, mnohem náročnější na prostor a někdy (například v historických jádrech měst z důvodů památkové ochrany) zcela nemožné.

Přepravní potřeba MHD je dána poptávkou na jejím využití. Je ovlivněna geografickým uspořádáním města, hustotou osídlení a mění se i v průběhu dne, například podle začátku a konců pracovní doby v jednotlivých podnicích, pořádáním velkých sportovních, kulturních nebo společenských akcí. Má-li doprava dobře a efektivně fungovat musí se těmto okolnostem pružně přizpůsobovat. To lze řešit několika základními způsoby, které se dají vzájemně kombinovat. Obvykle se v průběhu dne mění počet spojů na pravidelných linkách a tím i časové intervaly mezi odjezdy jednotlivých spojů (například zavedením tzv. dělených směn na pokrytí přepravních špiček – období nejhustší přepravy ráno a odpoledne v pracovních dnech).

V současné době se pro zajištění proměnlivé poptávky po přepravní kapacitě využívá též různé sestavy jízdních souprav, a to především v tramvajové trakci. Kromě velkokapacitních vícečlánkových souprav se v době špiček nasazují dvou nebo tří vozové soupravy. Od poloviny devadesátých let 20. století městská hromadná doprava jednotlivých měst postupně splývá s příměstskou a regionální dopravou v rámci integrovaných dopravních systémů. Současně dochází k propojování systému hromadné dopravy s veřejnou i soukromou nehromadnou dopravou, například prostřednictvím parkovišť P+R. Dopravní prostředky jsou nedílnou součástí našeho života, v reflexi současného vývoje.

2.1 Stav a vývoj v ČR

Začátek městské hromadné dopravy na území dnešní České republiky byl v Brně, kde byla zřízena koňská dráha (17. srpna 1869), čímž se Brno stalo třetím městem v Rakousku-Uhersku (po Vídni a Budapešti) s veřejnou městskou hromadnou dopravou. Postupem času se městská hromadná doprava začala rozvíjet i v dalších našich městech. V současné době je v České republice provozováno 7 tramvajových a 14 trolejbusových provozů. Tramvajová doprava je provozována ve městech Brno, Liberec-Jablonec nad Nisou, Most-Litvínov, Olomouc, Ostrava, Plzeň a Praha. Trolejbusové provozy jsou ve městech Brno, České Budějovice, Chomutov a Jirkov, Hradec Králové, Jihlava, Mariánské Lázně, Opava, Ostrava, Pardubice, Plzeň, Teplice, Zlín a Otrokovice a Ústí nad Labem. V Praze je od roku 1974 v provozu podzemní dráha. Pražské metro má v současné době tři linky v celkové délce 65,2 km a má 61 stanic. Připravuje se výstavba čtvrté linky metra.

Obecně lze konstatovat, že MHD ve městech ČR je strukturována tak, že jí tvoří páteřní síť obvykle elektrické trakce (v některých městech kombinovaná tramvajovými i trolejbusovými linkami), na kterou navazují autobusové linky do okrajových částí městských aglomerací. Kromě radiálního uspořádání linek směrem z centra do okrajových částí byly v některých městech zřízeny i okružní linky, které propojují obvodové části městské aglomerace. Přístup k rozvoji infrastruktury MHD je v jednotlivých městech individuální, například v Praze se intenzivně připravuje výstavba trasy D metra, v Brně se s výstavbou metra nepočítá. Místo toho se v zásadách územního rozvoje Jihomoravského kraje a města Brna předpokládá výstavba tzv. Severojižního kolejového diametru, který by propojil železniční síť přes centrum Brna severojižním směrem a převzal stávající velmi vytíženou přepravní kapacitu tramvajové dopravy v tomto koridoru.

Vývoj MHD v ČR směřuje ke komplexnímu řešení veřejné osobní dopravy integrovaným dopravním systémem (IDS) podobně jako i v ostatních vyspělých evropských zemích. Integrovaný dopravní systém, zahrnuje tramvaje, trolejbusy, vlaky, městské a příměstské autobusové linky a další prostředky hromadné dopravy v daném regionu. Integrovaný dopravní systém rozšiřuje dopravní obslužnost na velké území obvykle velikosti kraje a navazuje na MHD krajského města. IDS zahrnuje všechny druhy hromadné dopravy v daném regionu, které vzájemně spolupracují, efektivně využívá jejich předností a je komfortní pro cestující. Cestujícím přináší tarifní výhody a návaznost spojů. Objednatelům dopravy (město, kraj) přináší vyšší ekonomickou efektivitu prostředků vynakládaných na veřejnou dopravu. Odstraňuje souběhy dotované dopravy a zajišťuje naplnění standardů dopravní obslužnosti v příslušném regionu. Zvyšuje možnosti mobility obyvatelstva při nižším ekologickém zatížení, které by bylo způsobeno individuální osobní dopravou

2.2 Stav a vývoj v evropských zemích

Městská hromadná doprava je jedním ze systémů, který vznikl při přeměně tradičních středověkých měst na nová střediska průmyslu a obchodního podnikání. Její vznik byl reakcí na vzrůstající potřebu přepravy relativně značného počtu cestujících uvnitř zastavěných území. Tento úkol nemohl s objektivních příčin daných způsobem provozu a vedení svých tratí zpravidla plnit železnice a individuální doprava byla v době vzniku větších provozů MHD dostupná jen velmi úzké vrstvě obyvatel. V podmínkách běžného evropského města s postupně se rozrůstající zástavbou bylo zřejmé, že uliční síť má pouze omezenou kapacitu, zpravidla neschopnou bez zásahů do okolní zástavby pojmout větší objemy individuální dopravy. Rozvoj průmyslu přivedl do měst a přilehlých obcí mnoho nových obyvatel a zastavěné oblasti se rychle rozrůstaly do velkých aglomerací. To vyvolávalo tlak na zajišťování dopravy mezi obytnými a průmyslovými čtvrtěmi. Obyvatelé Londýna, Paříže, Bruselu a některých dalších evropských měst začali užívat prvních autobusových linek s koňským potahem tzv. omnibusů v roce 1830. Malá kapacita těchto dopravních prostředků vedla k nutnosti její náhrady vícekapacitní kolejovou dopravou, v první fázi koněspřežnou tramvají. Později s rozvojem parních lokomotiv začaly vznikat první městské železnice, které daly základ vzniku tramvajové dopravy a ve městech, kde zástavba neumožňovala vedení pouličních kolejových tratí, začaly vznikat první podzemní dráhy, které byly předchůdcem dnešních moderních drah – metra. Za zajímavost stojí ojedinělé řešení MHD v německém městě Wuppertal, kde z důvodů nedostatku místa pro standardní umístění kolejí vybudovali visutou dráhu v délce 13,3 km. Dráha je nesena na pilířích ve tvaru obráceného V ve výšce 8 až 12 metrů nad zemí. Dráha je v provozu od roku 1901 a v takovém rozsahu je evropským unikátem.

Ve velkých evropských metropolích tvoří páteřní dopravní síť podzemní dráha, kterou doplňují další prostředky MHD. Tato městská síť obvykle navazuje na regionální příměstskou dopravu, která zajišťuje spojení metropole s okolními sídly. Koncepce linek metra je obvykle tvořena tak, že spojuje okraje města s jeho centrem. Velkoměsta pak mají okružní prstence propojující linky metra mimo centrum.

3 Dokumenty EU a ČR

Dopravní prostředky jsou nedílnou součástí našeho života, v reflexi současného vývoje, technologického i společenského, je na dopravu stále častěji pohlíženo z pohledu udržitelného rozvoje a mnohem více jsou reflektovány její dopady na občany a životní prostředí. V současnosti doprava způsobuje ve městech kolem 40 % CO₂ a 70 % ostatních polutantů, přičemž trend automobilové dopravy ve městech je rostoucí. Doprava je tak jedním z významných zdrojů znečištění ovzduší. Prostřednictvím tohoto zdroje se do ovzduší dostávají především oxidy dusíku (zejména oxid dusičitý), suspendované částice frakce PM₁₀ a PM_{2,5} (prachové částice), oxid uhelnatý a uhlovodíky. Všechny výše uvedené znečišťující látky mají řadu negativních dopadů na lidské zdraví i vegetaci. Jedním z řešení této problematiky je omezování provozu vozidel na fosilní paliva ve městech, v kombinaci s rozvojem čisté městské hromadné dopravy. Tímto směrem se mimo jiné ubírají i unijní a národní strategie a plány rozvoje dopravy. V této podkapitole představujeme souhrn těch nejvýznamnějších dokumentů, které definují hlavní cíle či jiná klíčová opatření upravující směřování městské přepravy v EU a ČR.

3.1 Dopravní politika EU

Cílem dopravní politiky Evropské unie (EU) je zajistit hladký, efektivní, bezpečný a volný pohyb lidí a zboží po celé EU prostřednictvím integrovaných sítí využívajících všechny způsoby dopravy (silniční, železniční, vodní a letecká). Politika EU se také zabývá širokou škálou úzce souvisejících témat, jako je změna klimatu, práva cestujících, čistá paliva a další.

Doprava se řídí hlavou VI (články 90 až 100) Smlouvy o fungování EU, a je jednou ze společných strategických politik EU. Základním dokumentem politiky je Bílá kniha z roku 2011 – **Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje**. Bílá kniha obsahuje 40 iniciativ pro období 2012–2020 s výhledem do roku 2050, jež mají přispět ke vzniku růstu, pracovních míst, snížení závislosti na dovážené ropě a snížení emisí uhlíku v tomto odvětví o 60 % do roku 2050. Bílé knize předcházela zelená kniha z roku 2007 – **Na cestě k nové kultuře městské mobility**, jejíž význam je především v tom, že otevřela debatu o městské mobilitě, problémech s ní spojených a iniciovala sdílení příkladů dobré praxe v rámci EU.

Bílou knihu dále rozvíjí: **Balíček pro městskou mobilitu** (2013), **Čisté zdroje energie pro dopravu: Evropská strategie pro alternativní paliva** (2013), **Evropská strategie pro nízkoemisní mobilitu** (2016), **Městská mobilita v EU** (2020), **Udržitelná městská mobilita** (2017). Obecně jsou pak významné **Strategie 2020**, **Strategie 2030** a **Roadmap 2050**, které stanovují cíle pro snižování emisí k danému roku ve srovnání s rokem 1990, energetickou účinností a podíl obnovitelných zdrojů.

Tabulka 3.1 Klimatické cíle na úrovni EU

cíl	2020	2030	2050
Snížení emisí CO ₂ (oproti roku 1990)	-20 % Z	-40 % Z	-80 až -95 % N
Podíl OZE na konečné spotřebě	20 % Z	32 % Z	nestanoveno
Zvýšení energetické účinnosti (oproti scénáři PRIMES 2007)	+ 20 % N	+ 32,5 % N	nestanoveno

(pozn. N = nezávazný cíl, Z = závazný cíl na úrovni EU, který musí být dosažen kolektivní snahou národních států)

Hlavní roli v prosazování čisté veřejné dopravy by podle dokumentů měla mít především města a lokální autority. Důraz je kladen na zvýšení využívání prostředků hromadné veřejné dopravy, ale i cyklistiku a chůzi. Z dokumentů vyplývají následující obecné cíle, jako je snižování spotřeby paliv, snižování využívání fosilních paliv, zvyšování efektivity, využívání moderní infrastruktury, zvyšování kvality služeb mobility, snižování negativního dopadu na životní prostředí a ochrana přírodních zdrojů. Těchto cílů se má dosáhnout skrze zavádění alternativních energií ve všech druzích dopravy, zajištění pravidelnosti provozu (= úspory energií), větší využití energeticky účinnějších druhů dopravy, zavádění prvků moderní

infrastruktury a částečné změny chování spotřebitelů. Přehled specifických cílů jednotlivých dokumentů je níže:

Bílá kniha (2011)

- snížení používání „konvenčně poháněných“ automobilů v městské dopravě do roku 2030 na polovinu; doporučuje je postupně vyřadit z provozu ve městech do roku 2050; do roku 2030 dosáhnout ve velkých městech zavedení městské logistiky v podstatě bez obsahu CO₂,
- zvýšení používání nízkouhlíkových udržitelných paliv v letecké dopravě na 40 % do roku 2050,
- snížení emisí CO₂ v EU z lodních paliv o 40 % do roku 2050,
- převedení 30 % silniční přepravy nákladu nad 300 km na železnici do roku 2030 a do roku 2050 by to mělo být více než 50 %,
- ztrojnásobení délky stávajících vysokorychlostních železničních sítí do roku 2030. Většina objemu přepravy cestujících na střední vzdálenost by do roku 2050 měla probíhat po železnici,
- do roku 2030 plné zprovoznění celounijní „hlavní síť“ TEN-T integrující všechny formy dopravy,
- propojení významných letišť na železniční síť do roku 2050 a zajištění, že všechny hlavní mořské přístavy jsou napojeny na železnici a vnitrozemské vodní cesty,
- zavedení systémů řízení dopravy pro různé druhy dopravy, například pro železniční a silniční dopravu,
- vytvoření multimodálního dopravního informačního řídicího a platebního systému do roku 2020,
- do roku 2020 snížení dopravních nehod na polovinu a do roku 2050 téměř na nulu,
- plné uplatňování zásad „uživatel platí“ (tj. za infrastrukturu platí ti, kdo ji používají) a „znečišťovatel platí“ (tj. za znečišťování platí ti, kdo jsou za ně zodpovědní).

Balíček pro městskou mobilitu (2013)

- vyzývá k zavedení postupů a mechanismů finanční podpory na evropské úrovni pro přípravu plánů městské mobility,
- předpokládá, že by v budoucnu měly být vytvořeny tarify pro vjezd do měst a celkové omezení přístupu pro účastníky silničního provozu ve městech,
- klade důraz na městskou logistiku, regulaci, městské inteligentní dopravní systémy a městskou bezpečnost,
- zavádí koncept tzv. udržitelných plánů mobility (SUMP = Sustainable Mobility Plan).

Čisté zdroje energie pro dopravu: Evropská strategie pro alternativní paliva (2013)

- Plyn: využití možností zkapalněného ropného plynu, zemního plynu včetně biomethanu, zkapalněného zemního plynu, stlačeného zemního plynu a zkapalněného plynu.
- Elektřina: využití elektrických vozidel (EV), které budou díky technologickému rozvoji stále čtenější.
- Biopaliva: nejvýznamnější typ alternativního paliva pro dosažení 10% cíle obnovitelných zdrojů energie v dopravě do roku 2020 a dále.
- Vodík: využití vodíkových palivových článků v autech, autobusech, lehkých užitkových vozech a ve vnitrozemské lodní dopravě.

Evropská strategie pro nízkoemisní mobilitu (2016)

- zvyšování efektivity dopravních systémů skrze co největší využívání digitálních technologií,

- přechod k novým nízkoemisním modelům dopravy,
- klade důraz na rozšiřování nízkoemisních vozidel ve veřejné dopravě, aktivní cestování (kolo, chůze), nebo různé formy sdílení dopravních prostředků.

Udržitelná městská mobilita (2017)

- dokument stanovuje nástroje ELTIS a CIVITA,
- zavádí fondy které mohou města využít k podpoře udržitelné městské mobility.

Dalším významným krokem na nadnárodní úrovni bylo založení **Dopravního Společenství** mezi EU a šesticí zemí západního Balkánu v jihovýchodní Evropě: Albánskou republikou, Bosnou a Hercegovinou, Republikou Severní Makedonie, Kosovem, Černou Horou a Republikou Srbsko. Smlouva uvádí dopravní legislativu EU (železniční, silniční, námořní, vnitrozemská vodní doprava a infrastruktura) a pravidla v oblastech životního prostředí, veřejných zakázek a hospodářské soutěže a procesní pravidla, která jsou smluvní strany povinny provádět. Smlouva vstoupila v platnost dne 1. května 2019.

Z pohledu závazných legislativních opatření můžeme zmínit:

Nařízení (EU) 2019/631 o stanovení výkonnostních norem pro emise CO₂ pro nové osobní automobily a nová lehká užitková vozidla. Nařízení požaduje, aby byly průměrné emise CO₂ vozového parku EU u nových automobilů a dodávek oproti roku 2021 sníženy:

- o 15 % pro období 2025–2029,
- o 37,5 % pro nové automobily a 31 % pro nové dodávky počínaje rokem 2030.

Cíle pro specifické emise CO₂, které jsou pro výrobce závazné, jsou založeny na těchto cílech pro vozový park EU, zohledňují však průměrnou hmotnost jejich vozového parku. Výrobci, kteří překročí cíle pro specifické emise, budou muset uhradit poplatek za překročení emisí v hodnotě 95 EUR za každý překročený g/km („překročení“) za každé nové registrované vozidlo.

Směrnici 2009/33/ES o podpoře čistých a energeticky účinných silničních vozidlech, která byla aktualizovaná v roce 2018.

- orgány veřejné správy a některý další provozovatelé veřejné dopravy mají povinnost zohlednit dopad těchto vozidel v průběhu jejich životnosti,
- vztahuje se na zakázky na nákup silničních vozidel zadané veřejnými zadavateli nebo jinými zadavateli, nebo provozovateli plnicími závazky veřejné služby vyplývající ze smlouvy o veřejné službě,
- země EU musí zajistit, aby všichni veřejní zadavatelé, jiní zadavatelé a provozovatelé vázaní smlouvou o veřejné službě, zohledňovali při nákupu silničních vozidel energetické a ekologické dopady provozu těchto vozidel za dobu jejich životnosti, především: spotřebu energie, emise CO₂, emise NO_x, uhlovodíků jiných než methan a částic.

Mezi dalšími můžeme zmínit Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 **o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva**. A Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/842 **o závazném každoročním snižování emisí skleníkových plynů členskými státy v období 2021–2030**, přispívajícím k opatřením v oblasti klimatu za účelem splnění závazků podle Pařížské dohody a o změně nařízení (EU) č. 525/2013. Dále legislativní akty balíčku Čistá energie pro všechny Evropany (2019).

3.2 Dopravní politika ČR

Obsah výše zmíněných dokumentů spoluvytváří českou dopravní politiku, která je tak v souladu se závazky vyplývajícími z členství ČR v Evropské unii, reflektující mezinárodní dohody. Problematika energetických úspor je obsažena v mnoha státních dokumentech, legislativního i nelegislativního charakteru. Doprava je významným sektorem s negativními dopady na životní prostředí a kvalitu ovzduší, v ČR představuje přibližně 32 % celkových emisí oxidů dusíku, cca 5 % celkových emisí VOC, cca 7 % celkových emisí primárních částic PM₁₀, cca 6 % celkových emisí primárních částic PM_{2,5}, (ANPSE, 2019) a je zde značný potenciál pro změnu. Rámcově to reflektují i hlavní dokumenty jako je Státní energetická koncepce (2015), Politika ochrany klimatu v ČR (akt. 2017), nebo Státní politika životního prostředí České republiky 2012–2020. Stěžejními dokumenty v dopravě jsou Národní plán snižování emisí (2015) a Národní plán čisté mobility (2015). Tyto dokumenty nastavují směřování české dopravní politiky udržitelným směrem a podporují nízkoemisní dopravu (využití elektrifikované dopravy, nebo rozšíření CNG), podrobněji se ale k problematice rozvoje udržitelné městské hromadné dopravy nevyjadřují, ta je přímo řešena až v lokálních strategických dokumentech.

Státní energetická koncepce (2015) v oblasti dopravy pracuje s vizí, podle níž bude do budoucna nutné snížit dopady na životní prostředí vznikající v souvislosti s tímto odvětvím cestou většího zastoupení alternativních paliv nahrazujících dnešní závislost na ropě, resp. palivech z ní vyráběných. SEK reflektuje cíle Bílé knihy (2011). Konkrétním cílem SEK je:

- snížení konečná spotřeba ropných paliv mezi roky 2015 a 2030 z 59 TWh/rok na 50 TWh/rok a zároveň zvýšení využití elektrické energie z 2,4 TWh/rok na 4,3 TWh/rok.

Problematice se podrobně věnuje hlavní rámcový dokument Vlády ČR pro sektor dopravy **Dopravní politika ČR pro léta 2014–2020 s výhledem do roku 2050**. Dokument identifikuje hlavní problémy sektoru a navrhuje opatření na jejich řešení. Mimo jiné zmiňuje, že legislativní úprava musí umožnit obcím zavádět zpoplatnění vjezdu do center měst. Důležitou roli zde pak musí hrát MHD a nemotorová doprava. Podrobně jsou jednotlivé problematiky a jejich řešení zahrnuta v navazujících strategických dokumentech k dopravní politice.

Národní akční plán čisté mobility (NAP CM) pro období 2015–2018 s výhledem do roku 2030 vznikl na základě požadavku směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Smyslem směrnice bylo, aby členské státy EU přijaly národní rámce politiky na podporu rozvoje alternativních paliv v dopravě a vytvořily tak dostatečně příznivé prostředí pro širší uplatnění vybraných alternativních paliv a pohonů, a to primárně v sektoru silniční dopravy. Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility zpracovaná v roce 2019 reaguje na dosavadní postup plnění a některé nové výzvy v této oblasti a reflektuje, mj. nejnovější vývoj legislativy EU. S ohledem na důraz kladený na úrovni EU na dosažení dekarbonizace ve všech druzích dopravy je aktualizovaný NAP CM zaměřen na rozvoj elektromobility a posilování infrastruktury pro elektromobily a na využívání alternativních paliv včetně využití vodíkových technologií (resp. technologií palivových článků) v české dopravě. Vláda podporuje rozvoj alternativních paliv v dopravě ve smyslu plnění stanovených cílů ČR v oblasti energetiky, dopravy, životního prostředí a ochrany klimatu. Cíle jsou definovány ve Vnitrostátním plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu (Vnitrostátní plán) – viz níže.

Skutečností je, že sektor dopravy je v ČR druhým největším zdrojem emisí skleníkových plynů. V období 2000–2018 se emise CO₂ z dopravy zvýšily o 66 %. V rámci sektoru dopravy je pak největším producentem emisí CO₂ individuální automobilová doprava, následovaná silniční nákladní dopravou a silniční veřejnou dopravou (viz graf produkce CO₂ jednotlivými druhy dopravy v letech 1993–2017).

- Klíčovým principem NAP CM je princip technologické neutrality

NAP CM zahrnuje také podkapitulu věnující se Smart Cities a plánu udržitelné mobility měst, která stanovuje, že v případě, že budou města chtít čerpat finanční prostředky EU v programovém období 2014–2020, mají za povinnost předložit tzv. plány udržitelné mobility měst (tzv. SUMF – Sustainable Urban Mobility Framework). Dokument také zvažuje využití vodíkové technologie ve veřejné dopravě. Čistá veřejná doprava je podporována i finančními programy typu IROP¹, nebo z operačního programu Doprava II².

Aktualizovaný národní program snižování emisí ČR (ANPSE), schválený 16. prosince 2019, plní roli národního programu omezování znečištění ovzduší, jehož zpracování požaduje evropská legislativa, konkrétně článek 6 směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/2284 o snížení národních emisí některých látek znečišťujících ovzduší. Mezi hlavní cíle patří dosažení nových závazků stanovených legislativou EU k roku 2020, 2025 a 2030 prostřednictvím stanovených opatření ke snižování emisí vybraných látek znečišťujících ovzduší. Aktualizace NPSE ponechala prioritní opatření NPSE z roku 2015 v platnosti.

- Obecné východisko NPSE:
 - zlepšit kvalitu ovzduší v lokalitách, kde jsou imisní limity překročeny, udržet a usilovat o zachování co nejlepší kvality ovzduší v lokalitách, kde jsou imisní limity dodržovány.
- Strategický cíl NPSE:
 - v souladu s článkem 23 Směrnice č. 2008/50/ES co nejrychlejší snížení rizik plynoucích ze znečištění ovzduší pro lidské zdraví (zejména zkrácení očekávané doby dožití vlivem expozice suspendovanými částicemi PM_{2,5}, předčasná úmrtí vlivem přízemního ozónu) a snížení negativního vlivu na ekosystémy a vegetaci (acidifikace, eutrofizace, vliv přízemního ozónu).
- Hlavní specifické cíle:
 - národní cíl snížení expozice PM_{2,5} je stanoven ve výši 18 µg.m⁻³,
 - plnění od roku 2020 emisních stropů pro skupiny stacionárních a mobilních zdrojů dle scénáře NPSE-WaM (2015),
 - maximální nepřekročitelné emise od roku 2020 na SO₂ 92 kt/rok, NO_x 143 kt/rok, VOC 129 kt/rok, NH₃ 64 kt/rok, PM_{2,5} 19 kt/rok.

V roce 2017 byl aktualizován **Národní akční plán energetické účinnosti ČR (NAPEE)**, který byl vytvořen na základě požadavku směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU o energetické účinnosti, která stanovuje, že členské státy Unie jsou povinny v tříletých intervalech předkládat vnitrostátní akční plány energetické účinnosti. NAPEE popisuje plánovaná opatření zaměřená na zvýšení energetické účinnosti a očekávané nebo dosažené úspory energie, včetně úspor při dodávkách, přenosu či přepravě a distribuci energie, jakož i v konečném využití energie.

- kumulativní cíl úspor energie v konečné spotřebě (po započtení části úspory z programu Zelená úsporám a programu EKO-ENERGIE OPPI) je 204,4 PJ (56,8 TWh) a plán nově přidává další politická opatření v oblasti bytové výstavby, průmyslu, dopravy, zemědělství a zvýšení energetické účinnosti na úrovni samosprávy.

¹ Například: S7 Podpora pořízení vozidel na alternativní paliva do flotil dopravních podniků a do flotil dopravců zajišťujících městskou hromadnou dopravu a veřejnou linkovou dopravu, E2 Podpora pořízení trolejbusů a tramvají s bateriovým pojezdem do flotil dopravních podniků a do flotil dopravců zajišťujících městskou hromadnou dopravu a veřejnou linkovou dopravu, nebo S12 Podpora budování neveřejné nabíjecí infrastruktury pro MHD.

² Například: P4 Podpora pořízení hnacích drážních vozidel na CNG/LNG do flotil dopravních podniků a do flotil dopravců zajišťujících městskou hromadnou dopravu a veřejnou linkovou dopravu.

Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu (VPEK) byl schválen Vládou ČR 13. ledna 2020. Dokument podrobně popisuje cíle a hlavní politiky ve všech pěti dimenzích energetické unie. Skrze tento dokument mají členské státy mimo jiné povinnost informovat Evropskou komisi o vnitrostátním příspěvku ke schváleným evropským cílům v oblasti emisí skleníkových plynů, obnovitelných zdrojů energie, energetické účinnosti a interkonektivity elektrizační soustavy. Mezi rizika pro zlepšování stavu životního prostředí dokument mimo jiné řadí nárůst intenzity dopravy. ČR má v evropském kontextu podprůměrný podíl dopravy na celkových emisích skleníkových plynů, který se pohybuje v současné době okolo 14 %, lze však předpokládat jeho nárůst. Emisní intenzita je v ČR v porovnání s průměrem EU vyšší, a to vzhledem k vyššímu podílu průmyslu na tvorbě HDP a vyšší emisní náročnosti dopravy.

Dokument nastiňuje odhadované trajektorie pro odvětvový podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie v období 2021–2030. V odvětví dopravy to bylo 14 197 TJ v roce 2016 s plánem 23 446 TJ pro rok 2025 a 30 577 TJ v roce 2030. Podílově to činí v odvětví dopravy 6,4 % v roce 2016 a plánováno je 9,5 % v roce 2025 a 14 % v roce 2030.

Tabulka 3.2 Očekávaný rozvoj OZE v sektoru dopravy (TJ)

	2016	2020	2025	2030
Biopaliva 1. generace	12 580	18 557	19 825	20 390
Biopaliva 2. generace (část A)	0	0	2 832	13 108
Biopaliva 2. generace (část B)	0	0	2 500	4 952
Elektřina z OZE	4 167	4 818	1 767	2 330
Celkem	16 747	23 376	26 925	40 781

Zdroj: VPEK, zpracování MPO pro účely Vnitrostátního plánu

V sektoru dopravy dochází již dlouhodobě k nárůstu spotřeby energie. Spotřeba energie v dopravě v roce 2017 meziročně stoupla o více než 3 %, což v celkovém objemu činí přibližně 8 PJ. Nárůst spotřeby byl způsoben zejména nárůstem počtu osobokilometrů, který meziročně narostl o téměř 4,5 %. I navzdory meziročnímu nárůstu osobokilometrů se v roce 2017 meziročně snížila spotřeba energie na osobokilometr (zahrnuje individuální automobilovou dopravu i veřejnou dopravu), a zvýšila se tak efektivita v oblasti osobní dopravy. Pokles hodnot elektřiny z OZE je dán kombinací více faktorů, které ovšem dokument nekonkretizuje.

Konečná spotřeba v odvětví dopravy byla v ČR 249 PJ v roce 2014 a 277 PJ v roce 2017 a byl předpoklad, že spotřeba bude 285 PJ v roce 2025 a 294 PJ v roce 2030. Očekávaný vývoj konečné spotřeby v sektoru dopravy vychází zejména z očekávaného vývoje dopravních výkonů v osobní a nákladní dopravě, které zároveň vycházejí z předpokladů ohledně vývoje hospodářského růstu a ostatních socioekonomických veličin.

Tabulka 3.3 Vývoj přepravních výkonů v osobní dopravě (mil. oskm)

	2010	2016	2020	2025	2030	2040
Automobilová doprava	63 570	72 255	76 200	77 300	77 732	78 602
Železniční doprava	6 591	8 843	9 753	10 410	11 203	12 356
Autobusová doprava	10 336	10 257	12 579	13 725	14 860	16 360
Letecká doprava	10 902	10 203	12 646	13 487	14 337	15 917
Vnitrozemská vodní doprava	13	12	15	15	15	16
Městská hromadná doprava	15 617	17 387	18 398	19 364	20 259	21 456
Výkony v osobní dopravě	107 029	118 957	129 592	134 302	138 406	144 706

Zdroj: VPEK, zpracování MPO pro účely Vnitrostátního plánu

Tabulka 3.4 Vývoj zdrojů paliv v dopravě dle metodiky EUROSTAT (PJ)

	Celkem	Ropa a produkty	Zemní plyn	OZE	Elektrina
2016	268	248	2	13	6
2020	275	246	4	19	7
2025	285	248	7	22	8
2030	293	245	9	29	10

Zdroj: VPEK, zpracování MPO pro účely Vnitrostátního plánu

Dokument dále reflektuje čl. 7 směrnice 2012/27/EU pro období 2021–2030, podle které je cíl ČR:

- pro období 2021–2030 ve výši 84 PJ nových úspor energie, tj. celkem 462 PJ kumulovaných úspor energie do roku 2030.

Průměr konečné spotřeby ČR (2016–2018) byl 1 050 PJ. Výše závazku respektuje požadavek dodržení minimální úrovně roční úspory energie ve výši 0,8 % konečné spotřeby energie.

- Cíle v oblasti snížení emisí skleníkových plynů do roku 2020 je alespoň 32 Mt CO₂ekv. v porovnání s rokem 2005 (odpovídá snížení emisí o 20 % oproti roku 2005) a do roku 2030 alespoň o 44 Mt CO₂ekv.

Úspory energií v osobní dopravě jsou podle VPEK založeny na větším využívání veřejné hromadné dopravy a v nákladní dopravě zvýšením výkonů železniční dopravy na úkor dopravy silniční. Koncepce veřejné dopravy, připravená jako výchozí strategický dokument Ministerstva dopravy pro oblast veřejné dopravy na roky 2015 až 2020, s výhledem do roku 2030, proto cílí na zlepšování systému veřejné hromadné dopravy. Ke zvyšování efektivity, úspor energií a ke snižování emisí skleníkových plynů v dopravě přispívá **Integrovaný regionální operační program (IROP)**, který podporuje rozvoj čisté mobility v oblasti veřejné dopravy. **Operační program Doprava 2014–2020** podporuje především rozvoj dopravní infrastruktury, což vede ke snížení spotřeby paliv a energie, následníkem je **Operační program Doprava 2021+** a **Modernizační fond**, který podporuje nákup vozidel na alternativní pohon, výstavbu podpůrné infrastruktury pro vozidla na alternativní pohon. Z programu IROP lze čerpat prostředky například na obnovu vozového parku. Ta bude nezbytná, pokud má být plněno nařízení vlády č. 49/2015 Sb., aby průměrné stáří vozů ve veřejné linkové dopravě nebylo vyšší než 9 let, v roce 2018 bylo průměrné stáří 14,75 let. Dokument dále předpokládá zvýšení efektivity systémů a prostředků hromadné dopravy včetně vozidel elektrické trakce a jejich pohonů. Mimo elektrifikaci veřejné dopravy se dále věnuje podpoře biometanu, zemního plynu a vodíku.

Tabulka 3.5 Historické údaje a projekce emisí skleníkových plynů v dopravě (MtCO₂ eq.)

	Historické emise			Projekce emisí skleníkových plynů				
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
WEM[5]								
A. Spalování paliva (sektorový přístup)	114	107	95	92	82	79	70	65
Z toho doprava	17	17	18	18	17	16	14	12
B. Fugitivní emise	6,41	5,79	4,39	4,03	3,86	3,31	3,24	2,7
Tuhá paliva	5,51	4,89	3,77	3,38	3,07	2,68	2,58	2,02
Ropa a zemní plyn a další emise z výroby energie	0,9	0,9	0,61	0,65	0,79	0,63	0,65	0,69

Zdroj: VPEK, zpracování MPO pro účely Vnitrostátního plánu

Politika ochrany klimatu v České republice představuje strategii do roku 2030 a zároveň plán rozvoje nízko emisního hospodářství do roku 2050. Definuje hlavní cíle a opatření v oblasti ochrany klimatu na národní úrovni tak, aby zajišťovala splnění cílů snižování emisí skleníkových plynů v návaznosti na povinnosti vyplývající z mezinárodních dohod. Dokument definuje zásadní opatření s největším potenciálem pro snižování emisí skleníkových plynů v jednotlivých sektorech ekonomiky (energetika, konečná spotřeba energie, průmysl, doprava, zemědělství a lesnictví, odpadové hospodářství). Úspory energií mají být založeny v osobní dopravě na větším využívání veřejné hromadné dopravy.

Z pohledu MHD je klíčové opatření 6H) *Zaměřit se na osvětu v oblasti čisté mobility* (alternativní pohony, nemotorová doprava a veřejná hromadná doprava), respektive snižování emisí a energetické účinnosti obecně. A to ve formě zohlednění při vyhlásování výzev na osvětové aktivity v rámci (PO6) NPŽP. Hlavní cíle jsou:

- Snižít emise ČR do roku 2020 alespoň o 32 Mt CO₂ekv. v porovnání s rokem 2005 (odpovídá snížení emisí o 20 % oproti roku 2005).
- Snižít emise ČR do roku 2030 alespoň o 44 Mt CO₂ekv. v porovnání s rokem 2005 (odpovídá snížení emisí o 30 % oproti roku 2005).

Z dlouhodobého hlediska:

- Směřovat k indikativní úrovni 70 Mt CO₂ekv. vypouštěných emisí v roce 2040 (odpovídá snížení o 50 % oproti roku 1990).
- Směřovat k indikativní úrovni 39 Mt CO₂ekv. vypouštěných emisí v roce 2050 (odpovídá snížení o 80 % oproti roku 1990).

4 Složení vozových parků dopravních podniků

4.1 Vozový park DP v ČR

Vozový park dopravních podniků je na rozdíl od dřívějších dob velmi rozmanitý. Skládá se z různých modifikací jednotlivých typů a také se projevuje snaha dopravních podniků o pořizování nových moderních nízkopodlažních a ekologických vozidel. Zatímco u dopravních podniků, které provozují tramvaje je obměna finančně náročnější, a tudíž i pomalejší, tak u dopravních podniků provozujících trolejbusy a autobusy jsou tato vozidla v dnešní době téměř všechna již obměněna za moderní ekologická a v nízkopodlažním provedení.

4.1.1 Metro

Metro je nejvýkonnějším, nejrychlejším, a nejefektivnějším prostředkem městské hromadné dopravy. Vysoká přepravní kapacita i poměrně vysoká cestovní rychlost jsou dány zcela oddělenou kolejovou sítí (tělesem) od ostatních druhů dopravy, většími vzdálenostmi zastávek a opatřeními pro co nejjednodušší a nejrychlejší výměnu cestujících. Nevýhodou je obtížnější přístup na nástupiště, vyšší náklady na vybudování i provozování podzemních tras, a to i s ohledem na bezpečnost provozu a přepravy cestujících. Provoz metra v Praze byl zahájen v roce 1974 a v současné době má pražské metro 3 trasy o délce 65,2 km. Původně byly od konce 60. let v ČKD Tatra vyvíjeny lehké dvoudílné rychlodrážní vozy typu R1. Prototypy byly dokončeny v roce 1971, ale jejich výroba nebyla zahájena, protože bylo rozhodnuto o nákupu ruských vozů typu Ečs, které však byly od roku 1977 postupně nahrazovány novými vozy řady 81-71. Tyto soupravy byly od poloviny 90. let komplexně rekonstruovány a modernizovány s označením 81-71M. Po přelomu tisíciletí došlo k dodávkám nových vozů metra typu M1, které jsou produktem mezinárodního konsorcia ADtrans, Siemens a ČKD. Vlakové soupravy jsou řazeny vždy v pětivozovém uspořádání.

Tabulka 4.1 Přehled typů a počtu souprav metra v Praze

Typ vozidla	počet souprav
81-71M	93
M1	53

4.1.2 Tramvaje

Zatímco na začátku milénia ještě dominovaly ve vozových parcích dopravních podniků legendární tramvaje typu T3, většinou upravena po různých modernizacích a rekonstrukcích, které značně prodloužily životnost tramvaje tohoto typu, tak se nyní setkáváme s jejich výměnou za nové modernější velkokapacitní tramvaje. Po ukončení výroby tramvaje typu T3 (v roce 1989) měl být nástupcem typ T6A5, který již nenavázal na úspěch typu T3. Nicméně tramvaje T6A5 jezdí v několika městech v ČR i zahraničí. Dopravní podnik hl. města Prahy postupně vyřazuje tyto vozy a nahrazuje je novými moderními tramvajemi typu 15T, které jsou článkové, nízkopodlažní, vybaveny klimatizací a připojením Wi-fi pro cestující. Dále za zmínku stojí typ tramvaje VarioLF v různých variantách, které jsou provozovány v mnoha městech v ČR. Tato tramvaj koncepčně vychází z typu T3, avšak má nízkopodlažní střed vozu pro snazší nástup. Nejnovějším typem tramvaje je typ EVO, která je již v provozu v některých dopravních podnicích. V Brně typ EVO2 nahradí dosluhující tramvaje typu K2. Novinkou v ČR je v zahraničí vyráběná tramvaj provozovaná Dopravním podnikem Ostrava Stadler Tango NF2.

Tabulka 4.2 Přehled typů a počtů tramvají v jednotlivých dopravních podnicích

Dopravní podnik Typ vozidla	Brno	Liberec-Jablonec	Most-Litvínov	Olomouc	Ostrava	Plzeň	Praha	Celkem
T3 - vč. modifikací	75	37	41	19	73	33	388	666
T3R.PLF		17				18	35	70
K2	37							37
T6A5	28				38		29	95
KT8D5	38				16	12	48	114
ASTRA/TRIO	17		2	7	23	10		59
Vario LF1	32		4	34	63	32		165
Vario LF2	32				4	4		40
Vario LF3					5			5
EVO1			1	8				9
EVO2		1				9		10
K3R	4					4		8
13T	49							49
14T							55	55
15T							250	250
Vlek VV60LF	4				2			6
Stadler Tango NF2					40			40
Celkem	316	55	48	68	264	122	805	1678

V tabulce jsou pod typem tramvaje T3 zahrnuty všechny modifikace a modernizace včetně elektrické výzbroje. V současné době klasické tramvaje T3 s odporovou elektrickou výzbrojí prakticky nejsou provozovány. Modernizované tramvaje T3 jsou vybaveny pulzní regulací, některé s možností rekuperace.

4.1.3 Trolejbusy

Základním pilířem trolejbusové dopravy byly trolejbusy z produkce Škoda Ostrov nad Ohří typu 14 Tr a jeho kloubová verze 15 Tr. Dnes jsou však tyto vozy postupně vyřazovány a nahrazovány novějšími vozidly. Vozidla 21 Tr a 22 Tr byly první nízkopodlažní trolejbusy, které se objevovaly v českých městech, byly však zároveň poslední typy výrobce Škoda Ostrov, než ukončil výrobu. V současné době jsou trolejbusy vyráběny na bázi autobusů, jejichž pohon je zajištěn trakčním motorem a elektrickou výzbrojí od Škoda Electric Plzeň. Jedná se o karoserie a podvozky od výrobců Iveco, Solaris a SOR. Na základě požadavků dopravních podniků byly do trolejbusů montovány dieselagregáty, které umožňují jízdu trolejbusu i mimo trakční trolejové vedení. Trolejbusy, které mají možnost jízdy bez připojení k trakčnímu vedení, se nazývají parciální. Parciální trolejbusy vybavené dieselagregáty vykazují poměrně nízkou efektivitu provozu a nedosahují jízdních vlastností srovnatelných s jízdu při napájení z trolejového vedení. Proto jsou nahrazovány parciálními trolejbusy, které jsou osazeny akumulátory umožňující prakticky stejné dynamické vlastnosti vozu jako při odběru proudu z trolejového vedení. V současné době jsou trolejbusy typu 26Tr, 27Tr (kloubová verze) a 30Tr kromě klasického provedení též v provedení jako parciální trolejbusy, a to jak s dieselagregátem, tak s akumulátory.

Tabulka 4.3 Přehled typů a počtů trolejbusů v jednotlivých dopravních podnicích

Dopravní podnik	Brno	České Budějovice	Hradec Králové	Chomutov a Jirkov	Jihlava	Mariánské Lázně	Opava	Ostrava	Pardubice	Pízeň	Teplice	Ústí nad Labem	Zlín	Celkem
14Tr	23								6	1	1			31
15Tr	3	9		2							1	30		45
21Tr	64							10	14	1		3		92
22Tr	8							30						38
24Tr					6				6	7	7		20	46
24Tr DG										16				16
25Tr	9	31									2	6	14	62
25Tr DG										5				5
26Tr				6	23		21		10	22	6		6	94
26Tr Baterie	10							10		18				38
26Tr DG							2			4				6
27Tr		17		10				12		11		10	11	71
27Tr DG										5				5
27Tr Baterie										7				7
28Tr								4	10		6	18		38
30Tr			16			7		1	18		10		7	59
30Tr DG			2											2
30Tr Baterie			9						4					13
31Tr	30		13					1						44
32Tr							10							10
35Tr													1	1
Celkem	147	57	40	18	29	7	33	68	68	97	33	67	59	723

4.1.4 Autobusy

V dopravních podnicích jsou vyřazovány autobusy značky Karosa různých typů a nahrazovány nízkopodlažními autobusy, které splňují požadavky emisních norem EURO. Dále jsou také vyřazovány nejstarší nízkopodlažní autobusy Iveco Citybus a Citelis a jsou nahrazovány modernějším typem Iveco Urbanway. V současné době je více než 90 % autobusů v dopravních podnicích nízkopodlažních. Nejvíce jsou zastoupeny značky Iveco, Solaris a SOR. V posledních letech se čím dál více provozovatelů přiklání k ekologičtějším autobusům na stlačený zemní plyn (CNG). Jedná se o běžný autobus dovybavený tlakovými láhvemi na střeše pro uchovávání zemního plynu s přizpůsobeným motorem tomuto palivu.

Tabulka 4.4 Přehled typů a počtů autobusů v jednotlivých dopravních podnicích

Dopravní podnik Typ vozidla	Břno	České Budějovice	Děčín	Hradec Králové	Chomutov a Jirkov	Jihlava	Karlovy Vary	Liberec-Jablonec	Mariánské Lázně	Mladá Boleslav	Most-Litvínov	Olomouc	Opava	Ostrava	Pardubice	Pízeň	Praha	Teplice	Ústí nad Labem	Zlín-Otrokovice	Celkem
Karosa B 931	26															2					28
Karosa C 934/ LC 936															2						2
Karosa B 941		5												5					1		11
Karosa B 951						4	6								10		70				90
Karosa B 961	19													3			25		1		48
Citybus 12 M		9							3		8					19	17		8	8	72
Citybus 18 M								3											2	6	11
Citelis 10,5 M																				7	7
Citelis 12 M	22	10	4	29	2	14	5	6	2		6		14	11			74			5	204
Citelis 18 M		19		25	1		1												1		47
Cibus	2																				2
Crossway	28	5					29			5	18				5		9	2			101
Urbanway 10,5 M																					0
Urbanway 12 M	15			13			6	15							16					8	73
Urbanway 18 M							2													2	4
SKD Trade LF38	20	2	5		2		2	1											1		33
Solaris 8,6												2									2
Solaris 8,9																	40				40
Solaris 10														18							18
Solaris 12		3			4							52	5	60							124
Solaris 15		3												20		12			2		37
Solaris 18	36	3			3							23		7		54					126
SOR 8,5																	21				21
SOR 9,5																1		2			3
SOR 10,5																		8			8
SOR 12								15	2		47					54	448	7			573
SOR 18																	452				452
Heuliez		1																			1
Ares 15 M							4														4
Rošero CNG						2															2
Urbanway 10,5 M CNG					2								7								9
Urbanway 12 M CNG	56				4	9	10	17		14			8						32		150
Sor 12 M CNG	54																				54
Urbanway 18 M CNG	44						2												5		51
Citelis 12 M CNG	6					11	20								22						59
Citelis 18 M CNG																			1		1
Solaris 12 CNG		19			12									130					2		163
Solaris 15 CNG																			2		2
Solaris 18 CNG		5			2			10						25					1		43
SOR 9,5 CNG					4																4
Dekstra LF 38 CNG							5														5
MAN Lion's City CNG			18																		18
MAN Lion's City G CNG			3																		3
Tedom C 12 CNG								20													20
Tedom C 18 CNG																			1		1
MAN A21 CNG											7										7
MAN A23 CNG											2										2
Tedom C 12										6									5		
Tedom C 18 G																			1		1
Mercedes-Benz Citaro O 530 II			15					6		9									3		33
Mercedes-Benz Citaro O 530 G II			2																2		4
Mercedes-Benz Citaro L 530 G II			8					6													14
Mercedes-Benz Conecto LF			9																3		12
Mercedes-Benz Conecto LF G			1																		1
Mercedes-Benz 412 D														1							1
Mave Fiat														1							1
Iveco – 70C14G CNG														7							7
IVECO Magelys															1						1
IVECO Evadys															1						1
Ikarus E91																	4				4
Irisbus SFR 161 Low Entry																			2		2
Celkem	328	84	65	67	36	40	92	99	7	34	88	77	34	288	76	140	1143	19	76	36	2829

4.1.5 Elektrobusy

Poměrně novinkou ve vozových parcích dopravních podniků jsou elektrobusy. Jedná se o vozidla, která kombinují výhody autobusu a trolejbusu. Elektrobus má trakční motor napájený z akumulátoru ve vozidle, dojezd elektrobusů se liší dle typu, nicméně u elektrobusu typu SOR NS 12 electric činí 150 až 180 km. Elektrobusy pořizují zejména města, kde již provozují tramvajovou nebo trolejbusovou dopravu, protože mají vybudovanou síť měřičů, u nichž lze poměrně jednoduše a s nízkými náklady vybudovat dobíjecí stanice pro elektrobusy. To výrazně snižuje investice do dobíjecí infrastruktury pro elektrobusy. Tímto způsobem lze zajistit nabíjení akumulátorů elektrobusů na konečných stanicích, a nikoliv pouze ve vozovně, aby vůz mohl odjet celou směnu dle grafikonu. Dopravní podnik hl. m. Prahy zatím testuje různé typy elektrobusů ve zkušební provozu se záměrem nákupu nejvhodnějšího typu pro podmínky hlavního města.

Tabulka 4.5 Přehled typů a počtů elektrobusů v jednotlivých dopravních podnicích

Dopravní podnik Typ vozidla	České Budějovice	Hradec Králové	Olomouc	Ostrava	Praha	Celkem
ŠKODA 29 BB	11					11
SOR 9,5		1				1
Škoda 26H01 Perun		1				1
SOR 11		1				1
SOR NS 12 electric		20	1			21
SOR 10,5				4		4
Electron 12				3	1	4
Rošero				3		3
Celkem	11	23	1	10	1	46

4.2 Energetická náročnost dopravních prostředků

Dopravní podniky při obnově vozového parku posuzují výběr nových vozidel podle řady kritérií. Kromě ceny a specifikace použití v provozu jsou kritéria zaměřena též na ekologii provozu a úsporu elektrické energie. Všeobecným požadavkem jsou nízkopodlažní vozidla, splňující ekologická kritéria. Důležitou úlohu hraje ekonomika provozu. V oblasti trakční dopravy – tramvaje a trolejbusy – se klade důraz na větší a efektivní využívání rekuperace, v oblasti autobusové dopravy se nahrazují autobusy s klasickými naftovými motory pohonnými jednotkami spalujícími stlačený zemní plyn (CNG) na místo tradiční nafty.

4.2.1 Trakční vozidla – tramvaje a trolejbusy

Hlavním ukazatelem ekonomiky provozu je energetická náročnost vozidla – spotřeba elektrické energie v kWh vztažená na 1 vozokilometr (vkm). V následující tabulce je uvedena energetická náročnost jednotlivých typů tramvají a velikost výkonu pohonných jednotek.

Tabulka 4.6 Ekonomická náročnost jednotlivých typů tramvají

Typ vozu		Výkon motorů (kW)	Hmotnost vozidla (tun)	Typ elektrické výzbroje (způsob regulace)	Spotřeba el. energie na km (kWh/km)	Úspora trakční energie oproti vozu T3 (%)
1.vůz	2.vůz	Krátké jízdní soupravy 15 m				
T3	-	4x44	16	odporová	3,041	0
T3M	-	4x44	16	pulzní	2,608	13
T3R.P	-	4x44	16	pulzní s rekuperací	1,783	40
T3R.PLF	-	4x44	20,5	pulzní s rekuperací	1,814	40
T6A5	-	4x44	19	pulzní	2,531	16
1.vůz	2.vůz	Dlouhé jízdní soupravy 30 m				
T3	T3	8x44	32	odporová	6,082	0
T3M	T3M	8x44	32	pulzní	5,216	13
T3R.P	T3R.P	8x44	32	pulzní s rekuperací	3,566	40
T3R.PLF	T3R.P	8x44	36,5	pulzní s rekuperací	3,597	40
T6A5	T6A5	8x44	38	pulzní	5,062	16
KT8D5R.N2P		8x45	38,5	pulzní s rekuperací	4,118	32
14T		6x90	38,3	pulzní s rekuperací	3,811	37
15T		16x45	42	pulzní s rekuperací	4,123	32
15T-Klimatizace		16x45	42	pulzní s rekuperací	4,451	26

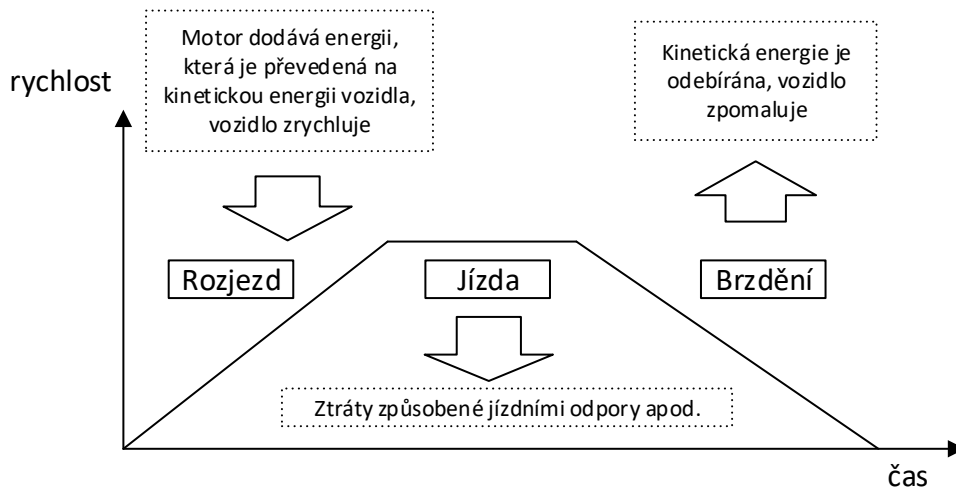
V tabulce je úspora el. energie vztažena vůči spotřebě tramvaje typu T3 s odporovou regulací. Tyto tramvaje se již v běžném provozu téměř nevyužívají, ale vzhledem k tomu, že tramvaje T3 se základní elektrickou výzbrojí tvořily donedávna převážnou část vozových parků většiny dopravních podniků ČR provozujících tramvajovou trakci, je vhodným referenčním vozidlem pro porovnání energetické náročnosti následných typů používaných tramvají. Z porovnání energetické náročnosti jednotlivých tramvají na 1 vozokilometr je zřejmé, že spotřeba energie závisí na typu elektrické výzbroje (způsob regulace a napájení trakčního motoru) a také na velikosti (hmotnosti) tramvaje. Z tabulky vyplývá, že moderní tramvaje (14T, 15T) vybavené pulzní regulací motoru s rekuperací vykazují výrazně vyšší úspory vůči tramvajím s odporovou regulací i když je jejich hmotnost vyšší.

Spotřeba elektrické energie trakčních vozidel – tramvají a trolejbusů se skládá ze dvou částí. První částí je elektrická energie potřebná pro pohon vozidla a druhá část je napájení příslušenství pro provoz (osvětlení, ovládání dveří, topení/klimatizace, informační systémy atd).

Elektrická energie pro pohon vozidla – trakční energie – představuje cca. 60–80 % celkové spotřeby, zbývajících 20–40 % je energie spotřebovaná v zařízeních potřebných pro provoz. Konkrétní hodnoty závisí na typu vozidla, typu pohonných jednotek a způsobu jejich regulace. Spotřeba příslušenství pro provoz závisí na vybavenosti a požadovaném komfortu pro řidiče a cestující komfortu vybavení vozidla.

Pro trakční pohon se používají různé typy elektromotorů – stejnosměrné, synchronní a asynchronní motory. Jejich účinnost přeměny elektrické energie na točivou energii se pohybují kolem 90 % a jsou na mezi technologických možností konstrukce těchto trakčních elektromotorů. Obdobně účinnost měničů je velmi vysoká. Lze tedy konstatovat, že trakční pohon je na nejefektivnějším stupni využití el. energie pro pohyb trakční soupravy. Jediným aspektem v této oblasti se tedy jeví využití rekuperace, tj. energie získané při brzdění trakčního vozidla.

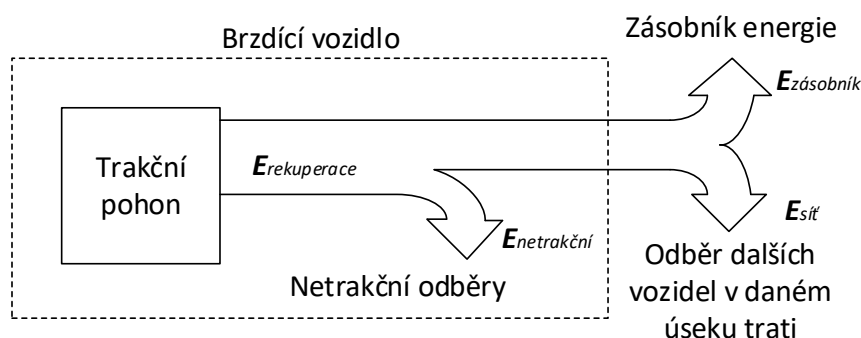
Obrázek 4.1 Energetická bilance jízdy vozidla



Spotřeba energie v pomocných zařízeních představuje, jak již bylo uvedeno, 20 až 40 % celkové spotřeby. Pomocná zařízení jsou různého druhu, mezi nezbytná patří vnější a vnitřní osvětlení vozidla, pohon obsluhy dveří, topení a informační systémy. Pro komfort řidiče a cestujících slouží vybavení kabiny klimatizací, elektrické ovládání pantografu a sběračů dále vybavení bezdrátovém připojení k internetu (WiFi).

Hlavním faktorem úspor v trakční dopravě je využití potenciálu energie při brzdění rekuperací zpět do trolejového systému. Původní způsob využití této rekuperované elektrické energie předpokládal, aby v daném úseku tratě bylo vozidlo, které se právě rozjíždí a může rekuperovanou energii využít. Toto omezuje využití tohoto způsobu rekuperované energie u dopravních podniků s menší sítí a menší hustotou provozu. Proto se hledají i další možnosti využití rekuperované energie například ukládání do zásobníků energie přímo ve vozidle nebo v trakční měničce. Existují však i další možnosti využití rekuperované energie. Například v Dopravním podniku měst Liberec-Jablonec nad Nisou s velkým úsekem jednokolejné trati využívají rekuperovanou energii na vyhřívání nástupišť u zastávek v zimním období.

Obrázek 4.2 Schéma využití rekuperované energie



Parciální trolejbusy, které jsou schopny jízdy mimo trolejové vedení využívají pohon z akumulátorů nebo z pomocného dieselaagregátu. Velké zkušenosti s provozem parciálních trolejbusů obou typů má dopravní společnost Zlín-Otrokovice, která též prováděla porovnání spotřeby energie obou typů netrakčního pohonu. Spotřeba energie na nezatrolejovaném úseku byla změřena zhruba 1 kWh/km, a to jak v případě provozu na baterie u vozu typu 26Tr, tak v případě jízdy s využitím dieselaagregátu u vozu typu 24Tr. Průměrná spotřeba nafty v pomocném dieselaagregátu na 100 km jízdy činí 56 litrů, což

v daných podmínkách odpovídá zhruba dvojnásobku spotřeby klasického autobusu. Přitom není zajištěna potřebná dynamika jízdy trolejbusu s pomocným dieselagregátem.

Lze konstatovat, že trakční pohony (motory i měniče) vozidel MHD jsou vyvinuty a zkonstruovány na vysoké technologické úrovni s maximální možnou účinností. Největší potenciál ke zvýšení efektivity provozu trakčních vozidel MHD je vybavení všech trakčních vozidel elektrickou výzbrojí umožňující rekuperaci a následně efektivní využití rekuperované energie v trakčním systému. Úspora elektrické energie v pomocných zařízeních vybavenosti moderních vozidel by snížila komfort řízení a cestování. Další možností úspor energie představuje zvýšení trakčního napětí z 600 V na 750 V. Trakční napětí 750 V používá Dopravní podnik České Budějovice a dále Plzeňský městský dopravní podnik. Při rekonstrukcích měníren dimenzují nová zařízení na možnost přechodu na napětí 750 V. Z hlediska efektivního využití energie v parciálních trolejbusích je výhodnější pro netrakční jízdu využívat akumulátory na místo dieselagregátu. Využití akumulátorů je výrazně ekologičtější a umožňuje využití energie z rekuperace.

Vozy metra jako nejmodernějšího trakčního prostředku MHD jsou poháněny trakčními motory s nejvyšší mírou efektivnosti využití energie k pohonu souprav. Vlaky pražského metra jezdí v pětivozových soupravách, přičemž každý vůz je vybaven 4 trakčními motory. Od počátku provozu pražského metra roku 1974 byly postupně vybaveny třemi základními typy vlakových souprav, které byly v průběhu svého provozu postupně modernizovány. V následující tabulce jsou uvedeny výkony trakčních motorů jednotlivých typů vozů metra.

Tabulka 4.7 Výkon trakčních motorů vozů metra

Typ vozidla	výkon trakčních motorů (kW)	počet vozů v soupravě
Esč	4x72	5
81-71M	4x110	5
M1	4x141,5	5

Výkony motorů u modernějších vozů jsou vyšší tak, aby dynamika jízdy umožňovala co nejrychlejší akceleraci a zkrácení jízdní doby mezi stanicemi. U vozů M1 je vedle nízké údržbové náročnosti oceňována především nízká hmotnost (o 32 tun méně než u ruského vlaku 81–71), a tím je tedy i výrazně nižší spotřeba energie.

4.2.2 Autobusy

V posledních letech je kladen větší důraz na ekologii a ekonomické faktory provozu při pořizování nových vozů. Část dopravních podniků přechází v oblasti autobusové dopravy k autobusům poháněným stlačeným zemním plynem (CNG) na místo tradiční nafty. V současné době přes 20 % autobusů ve sledovaných dopravních podnicích využívá jako palivo stlačený zemní plyn (CNG). Využití CNG je ekonomicky výhodnější a ekologicky příznivější než spalování nafty v autobusech s dieselovými motory.

V následující tabulce je uvedeno srovnání měrné spotřeby energie na vozokilometr pro různé druhy „paliv“.

Tabulka 4.8 Měrná spotřeba energie na vozokilometr

Typ vstupního média	kWh/km
Spotřeba plynu CNG	5,17
Spotřeba el. energie (trolejbus)	1,60
Spotřeba nafty	5,00

Dále je uveden přehled obsahu energie v jednotlivých palivech na jeden kg paliva.

Tabulka 4.9 Obsah energie v jednotlivých palivech

Energie v palivech	kWh/kg
CNG	13,3
Benzín	11,5
Nafta	11,3
LPG	12,4

Se zpřísnujícími se normami emisních limitů (EURO) se použití CNG jeví jako vhodné palivo pro splnění těchto norem v provozu autobusů v městské hromadné dopravě.

4.2.3 Shrnutí

Obnova vozových parků v dopravních podnicích vychází z potřeby obnovy podle staří a technického stavu vozidel. Výběr nových vozidel probíhá podle kritérií výběrových řízení dopravních podniků, která zohledňují ekonomické ukazatele, ekologické normy a provozní požadavky. U tramvají je obměna pomalejší, dochází k náhradě starších tramvají typu T3 a K2 za nové nízkopodlažní tramvaje s moderní elektrickou výzbrojí. Tramvaje typu T3 prošly různými modernizacemi, a tak v mnoha dopravních podnicích tvoří pořad základ vozového parku. I přesto jsou nahrazovány novými nízkopodlažními vozidly různých typů, zejména VarioloF1 a EVO1 a v Praze vozy 14T a 15T.

Nejstarší trolejbusy typu 14Tr a odvozená kloubová verze 15Tr jsou nahrazovány novými moderními nízkopodlažními trolejbusy s karoserií značky Iveco, Sor, Solaris a s elektrickou výzbrojí od Škoda Electric. Některá města nakupují parciální trolejbusy a využívají jejich výhod možnosti jízdy mimo trakční trolejovou síť.

Autobusová flotila se také za poslední dekádu změnila. Vyřazují se autobusy značky Karosa a nahrazují se nejčastěji novými nízkopodlažními vozidly značky Iveco, Sor a Solaris. Mnoho měst se přiklání k ekologičtější verzi autobusů, které používají jako palivo stlačený zemní plyn CNG. Novinkou v dopravních podnicích jsou elektrobuses, které jsou poháněny elektromotorem využívající energii z akumulátoru ve vozidle. Nejvíce zastoupené typy elektrobuses jsou vozidla s karoserií Sor a Solaris.

Z provedené analýzy skladby vozového parku, který dopravní podniky trvale obnovují a modernizují, vyplývá, že nová trakční vozidla – tramvaje a trolejbusy – jsou vybaveny moderní elektrickou výzbrojí s vysokou účinností přeměny elektrické energie na pohon trakčního vozidla. Významným opatřením pro zvýšení hospodárnosti v této oblasti je vybavení všech trakčních vozidel elektrickou výzbrojí umožňující rekuperaci, a především efektivní využití rekuperované energie.

V následující tabulce je uvedeno porovnání spotřeby energie vozidel jednotlivých typů dopravy v závislosti na ujeté vzdálenosti a počtu míst

Tabulka 4.10 Spotřeba energie vozidel jednotlivých druhů dopravy

Dopravní prostředek	kWh/km	Počet míst (50 % obsaditelnost vozidla)	Wh/km/os
Metro - souprava 5 vozů	9,70	732	13
Tramvaj 30m	3,50	105	33
Trolejbus 12m	1,60	47	35
Autobus - nafta 12m	5,00	47	105
Autobus - CNG 12m	5,17	47	110
Elektrobus 12m	1,50	47	33
Osobní automobil	0,64	5	128

Z porovnání spotřeby energie vyplývá, že nejefektivnější je metro a elektrobusy a dále další trakční vozidla. Autobusy na CNG sice vykazují větší měrnou spotřebu energie na místokilometr než klasické autobusy na naftu, nicméně ekonomická a ekologická kritéria je upřednostňují před autobusy s dieselovými motory. Osobní automobilová doprava je výrazně energeticky náročnější.

5 Plány rozvoje vybraných dopravních podniků

Jedním z nástrojů pro vytváření systému udržitelné městské dopravy je vypracování strategických udržitelných plánů městské mobility, o kterých mluví evropský Balíček pro městskou mobilitu. Cílem těchto plánů má být komplexní řešení problematiky mobility ve větších městech s vazbou na příměstské oblasti, a to nejen v problematice dopravy, ale rovněž i v možnostech ovlivňování mobility a způsobech jejího uspokojování. Strategické plány udržitelné městské mobility by měly být zpracovány a pravidelně aktualizovány ve městech nad 40 tisíc obyvatel. Ambicióznost těchto cílů a jejich realizování je odlišné město od města. Níže je vybráno sedm největších dopravních podniků v ČR, které mají zpracovaný strategický plán rozvoje.

Rozvojové plány dopravních podniků mohou být významně ovlivněny současnou ekonomickou situací a dopady opatření zavedených z důvodu Covid-19. Podle Euroskopu dopady krize silně zasáhly dopravní podniky napříč Evropou, pokles počtu cestujících dosahuje někde až 90 %. Mezinárodní unie veřejné dopravy (UITP) spojila 89 evropských dopravních podniků a měst v žádosti EU o podporu v rámci koronavirových opatření, mezi nimi jsou i dopravní podniky ČR. UITP argumentuje, že městská, příměstská a regionální veřejná doprava má klíčovou úlohu při plnění mnoha politických cílů EU a udržitelného rozvoje. Zároveň je podle UITP její fungování zásadní pro oživení ekonomiky, tvorbu pracovních míst, sociální začleňování a zdraví obyvatel (Euroskop, 2020).

5.1 DP hl. města Praha

Hlavní město Praha se dlouhodobě potýká s rostoucím provozem, nedostatečnou infrastrukturou a velkým znečištěním. Jednotlivé části Prahy mají a rozvíjí vlastní plány, jak tuto problematiku řešit a zastřešující institucí je Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy (IPR HMP). Hlavní město Praha také schválilo klimatický závazek hl. m. Prahy snížit emise CO₂ v Praze o minimálně 45 % do roku 2030 (oproti roku 2010) a dosáhnout nulových emisí CO₂ nejpozději do roku 2050.

Hlavní strategií pro Prahu je *Strategický plán HMP*, aktualizovaný v roce 2016, který se v rámci strategického cíle udržitelná mobilita věnuje bodům: Preferování veřejné dopravy, Rozvoj kolejové dopravy, nebo Nová propojení, a v rámci nich určuje směr dalšího rozvoje. Jednou ze strategií IPR HMP je *Strategie rozvoje tramvajových tratí v Praze do roku 2030*. Cílem strategie je aktualizovat základní koncepci rozvoje tramvajové sítě v Praze do roku 2030 s ohledem na ekologické a rozvojové cíle města, státu i EU. V důsledku má tento dokument přinést ucelený pohled na možnosti rozvoje tramvajových tratí a vyplývající nároky na zajištění příslušných lidských i finančních zdrojů v rámci strategie rozvoje Dopravního podniku hl. m. Prahy, a. s., jako obchodní společnosti s výhledem do roku 2030. Realizací Strategie by se stávající trať rozrostla o nových 37,4 km. Jednotlivé městské části Prahy tyto strategie pak dále rozvíjí.

Dopravní podnik má dále rozpracované vlastní strategické projekty, za zmínku stojí plánovaná výstavba tratě metra D a kontinuálně probíhá modernizace stanic metra. DP také plánuje nové tramvajové tratě. Tratě jsou připravovány v relacích nahrazujících vytížené autobusové spoje a v oblastech s předpokladem rozvoje poptávky po dopravě. Významným impulsem pro zvyšování podílu tramvajové dopravy je otázka ekologická, neboť bylo expertními analýzami vypočteno, že při naplnění platné státní energetické koncepce ČR bude do roku 2040 poměrná hodnota emisí oxidu uhličitého vzniklá přepravením jednoho cestujícího v tramvaji poloviční v porovnání s jízdou autobusem. Výstavba nových tramvajových tratí a systematická obnova stávajících tak přispívá k trvale udržitelnému rozvoji. Z pohledu vozové flotily probíhá postupná výměna tramvajových vozů a je nahrazován typ T3. Modernizace probíhá

i u vozů metra, celkovou rekonstrukci postupně podstupují vozy typů 81-71M a byl vyvinut i nový typ MA. Dále je u autobusů snaha zvyšovat podíl kloubových autobusů a midibusů, a zajištění tak lepšího přizpůsobení nabídky poptávce cestujících. Plánovaný je i rozvoj elektrobuses. Rada hlavního města Prahy v dubnu 2020 schválila novou *Koncepci využití alternativních paliv v podmínkách autobusové dopravy*. Všech více jak 1 100 autobusů je v současnosti na klasický spalovací motor. I tak je ale nutno podotknout, že se až 75 % osob v hlavním městě přepravuje tramvajemi a metrem, tedy dopravními prostředky na elektrický pohon. To představuje zhruba 65 % všech výkonů realizovaných Dopravním podnikem hlavního města Prahy. Zbýlých 35 % pak tedy zůstává v kompetenci autobusové dopravy.

5.2 DP města Brna

Efektivní a udržitelná mobilita je důležitou součástí dokumentu *Vize a Strategie Brno 2050* z roku 2017. Cílem strategie v oblasti dopravy je vytváření kvalitní, spolehlivé a ekologické veřejné dopravy, která bude integrovaná a bude využívat inovativní řešení. Město Brno tak podporuje udržitelnou mobilitu (veřejná, pěší a cyklistická doprava) a efektivní využívání energie v dopravě, které přináší městu především zlepšení životního prostředí, příjemné a kvalitní veřejné prostory a jeho obyvatelům zvýšení kvality života.

Tyto cíle rozvíjí strategický dokument *Plán udržitelné městské mobility města Brna* z roku 2017, který na základě komplexní analýzy dopravních, ekonomických i demografických údajů stanovil opatření, jejichž realizace umožní uspokojení potřeb mobility lidí i firem ve městě a jeho okolí. Dokument klade důraz na udržitelný rozvoj a zlepšení kvality života ve městě Brně. Plán mobility je také strategickým dokumentem z hlediska čerpání dotací Evropské unie na podporu rozvoje dopravní infrastruktury. Konkrétními strategickými cíli jsou (mimo jiné):

- zvýšit podíl cest (modal split) veřejné, cyklistické a pěší dopravy,
- zvýšit integraci udržitelných druhů dopravy (podíl multimodálních cest) a zrychlit veřejnou dopravu (cestovní rychlost na referenčních cestách MHD o 15 % vyšší v r. 2030),
- zvýšit dostupnost a atraktivitu udržitelných forem dopravy města a jeho zázemí (např. příměstské železnice, podíl příměstské železnice na referenčních cestách vzroste do r. 2030 o 20 % na úkor IAD),
- snížit emise skleníkových plynů a snížit energetickou náročnost dopravy na cestujícího (čtyřnásobný pokles emisí skleníkových plynů do r. 2050 oproti roku 2010, nebo: 1 tuna ekv. CO₂ na osobu a rok do r. 2050); pokles celkové energetické spotřeby v dopravě na cestujícího o 20 % do r. 2050).

Konkrétní kroky dopravního podniku jsou zaměřené na obnovu vozového parku a projekty podporující čistou mobilitu a její lepší dostupnost, například rozvoj tramvajových a trolejbusových tratí. Podobně jako v Praze, i v Brně je podporováno zavádění kloubových autobusů a midibusů k efektivnějšímu pokrytí poptávky. V letech 2014–2015 byl v rámci Operačního programu Životní prostředí podporovaného z Fondu soudržnosti EU realizován projekt nákupu 88 nízkopodlažních 12 m autobusů s pohonem na CNG. V roce 2017 bylo nakoupeno 23 plně bezbariérových a nízkopodlažních kloubových autobusů IVECO URBANWAY 18M s pohonem na CNG splňující emisní normu EURO 6 a v roce 2018 16 standardních (12 m) nízkopodlažních autobusů SOR NGB 12 a 11 kloubových IVECO URBANWAY 18M. V druhé polovině roku 2018 byla zatím realizovaná poslední fáze obnovy a nakoupeno 10 kloubových autobusů IVECO URBANWAY 18M. Díky těmto novým vozům byly vyřazeny z provozu starší autobusy nižších emisních tříd. Tímto došlo při zachování současného rozsahu dopravy ke snížení produkce emisí o téměř 20 tun za rok. Nové vozy nakoupené od roku 2017 jsou schopny dosáhnout snížení produkce škodlivých emisí o více než 80 % v porovnání s vyřazovanými vozidly.

5.3 DP města Ostrava

Strategický plán města Ostravy pro roky 2017–2023 a vize do roku 2030 je důležitým strategickým dokumentem pro rozvoj města. Doprava je součástí strategického cíle *1 Propojit město uvnitř i se světem*, *6 Kultivovat město pro život všech generací* a *7 Přiblížit město přírodě*. Cíl 1 mimo jiné podporuje větší propojování a zrychlování dopravy, cíl 6 chce omezovat automobilovou dopravu ve městě, cíl 7 pak zahrnuje snahu o zlepšení všech složek životního prostředí, zejména pak v kvalitě ovzduší a rychlé likvidaci stávajících ekologických zátěží. Strategie řadí dobrou úroveň individuální a městské dopravy mezi silné stránky městského rozvoje a infrastruktury, zároveň ale jako slabou stránku vnímá nárůst individuální dopravy, že město neuplatňuje dostatečně principy udržitelné mobility a že hromadné a alternativní formy dopravy nejsou preferovány před automobilovou. Pod klíčovou oblastí C.6.3 tak má zařazenou udržitelnou mobilitu, jejímž cílem je podporovat využívání ekologických forem dopravy na úkor individuální automobilové dopravy, a zpříjemnit tak lidem pohyb v městském prostoru. Do roku 2023 jsou plánované projekty jako například: ekologizace veřejné dopravy, prodloužení tramvajové tratě v Ostravě-Porubě, dokončení obměny vozidel MHD za nízkoemisní a nízkopodlažní nebo analýza nízkoemisních zón a jejich zavedení. Město má také vytvořený plán Konceptu dopravy.

Samotný dopravní podnik města Ostravy (DPO) je velmi pokrokový, jeho vizí je být nejmodernějším městským dopravním podnikem v zemi. Je zde první bezpapírová MHD a je lídrem v rozvoji CNG autobusové dopravy.

V letech 2017–2018 plánoval DP díky čtyřem projektům s názvem *Obnova vozového parku MHD v DPO I. – IV.* rozšířit vozový park o několik moderních bezemisních a nízkoemisních vozidel, jako jsou trolejbusy, elektrobusesy a středněkapacitní tramvaje. Městská hromadná doprava v Ostravě je zařazena do Integrovaného dopravního systému Moravskoslezského kraje ODIS a je zajišťována DPO, který se snaží kontinuálně obnovovat a rozšiřovat vozový park.

V realizaci je rovněž projekt s názvem *Obnova referentských vozidel v DPO*, jehož předmětem je obnova vozového parku referentských vozidel žadatele DPO pořízením nových referentských vozidel v souladu s cílem vyhlášené 13. výzvy Národního programu Životní prostředí, kterým je snížení negativních vlivů dopravy na zdraví obyvatel a životní prostředí zejména snížením emisí z dopravy a snížením hlukové zátěže, a to prostřednictvím podpory využívání vozidel s alternativním pohonem. Hlavním záměrem projektu je především pokračovat v nastaveném procesu obnovy vozového parku DPO a také ve snižování emisních limitů provozováním ekologických vozidel.

5.4 Plzeňské městské podniky

Město Plzeň dává sektoru dopravy velký význam, doprava je jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících život města, ale ne vždy s pozitivním dopadem. V reflexi tohoto a ve snaze zabezpečit uspokojení požadavků na dopravní obsluhu a zároveň snížit negativní vlivy dopravy Rada města Plzně schválila v dubnu 2011 dokument *Zásady rozvoje dopravního systému města Plzně*, který je zaměřen na vztahy mezi jednotlivými prvky dopravního systému a na zajištění provázanosti jednotlivých druhů dopravy.

V první polovině roku 2014 byl podniknut velmi důležitý krok k vytvoření udržitelného dopravního systému města Plzně prostřednictvím strategického materiálu *Plán udržitelné mobility Plzně do roku 2025* (PUMP). Jde o strategický dokument, který podporuje rozhodování o realizaci investičních i neinvestičních opatření v dopravní obsluhu Plzně. Soustředí se na diskuzi o prioritách v širším zastoupení veřejnosti, měřitelné rozhodování a zkoumání širších dopadů uvažovaných opatření. PUMP je důležitým podkladem pro financování projektů z fondů EU v období 2014–2020. Zahrnuje soubor aktivit, které zkoumají všechny prvky systému ovlivňujícího městskou mobilitu, jejichž cílem je zajistit udržitelný městský dopravní systém. Mezi cíle PUMP patří snížení znečištění ovzduší, znečištění

hlukem, emisí skleníkových plynů, spotřeby energie a zlepšení účinnosti a hospodárnosti přepravy osob a zboží.

Aktualizace z roku 2018 vyhodnotila realizaci a postup přípravy jednotlivých opatření. V letech 2016–2018 bylo zrealizováno 13 opatření, která se týkala všech řešených oblastí dopravy. Je zřejmé, že základní myšlenku Plánu, rozvíjet jednotlivé druhy dopravy dle principů udržitelnosti, se daří plnit. V souladu s vybraným scénářem bylo do plánu zařazeno 9 nových opatření, které zefektivní proces naplnění vytčených cílů. V současnosti Plán zahrnuje 77 opatření.

DP mimo to přijal strategii „PMDP – aktivní partner 2021“, ve které došlo k nastavení nových cílů a směrů vývoje společnosti na další období. Pro naplnění vyznávaných hodnot se vedení společnosti zavázalo klást větší důraz na životní prostředí a společenskou odpovědnost a provozovat ekologickou trakci, snižovat spotřeby energií a identifikovat potřeby komunity. V rámci dotačních projektů se zaměřují na obnovu vozového parku – nákup CNG a elektromobilů a snižování uhlíkové stopy v regionu. Veřejná doprava v Plzni patří mezi neekologičtější městské dopravní systémy v Evropě – dvě třetiny dopravních výkonů zajišťují tramvaje a trolejbusy, které nezatažují životní prostředí města škodlivinami.

5.5 DP města Liberec a Jablonec nad Nisou

Stejně jako u ostatních měst i v Liberci i Jablonci nad Nisou je doprava důležitou součástí strategických dokumentů rozvoje. V průběhu období 2014–2020 obě statutární města plánovala významné projekty, jako je výstavba nových přestupních terminálů, prodloužení tramvajové trati z Liberce do centra Jablonce nad Nisou, nákupy autobusů, cyklostezky apod. V současnosti město připravuje Strategii 2021+.

Na konkrétní cíle se poté zaměřuje *Plán udržitelné městské mobility – chytře na cestu (SUMF)*, který je i podmínkou čerpání dotačních prostředků z EU a operačních programů Doprava a IROP. Plán je strategickým dokumentem, který se tvoří k uspokojení potřeb mobility lidí a podniků v obou městech a jejich okolí obsluhovaném společnou městskou hromadnou dopravou a ke zajištění lepší kvality života. Úkolem plánu je vytvoření systému udržitelné dopravy tak, aby dostupnost dopravního systému byla k dispozici všem cílovým skupinám, dále zlepšení bezpečnosti dopravy, zvýšení efektivity osobní i nákladní dopravy a v oblasti ochrany životního prostředí snížení znečištění ovzduší, hladiny hluku a spotřeby energie. Dokument vychází z existujících dokumentů plánování a bude sloužit jako podklad pro zpracování dopravních a regulačních plánů. Mezi aktivity plánu patří Průzkum dopravního chování, vytvoření dopravního modelu (IAD, VD, cyklodoprava, pěší), vytvoření Plánu rozvoje veřejné dopravy (akční plán 2017–2023) a Plánu rozvoje cyklodopravy (akční plán 2017–2023) a zlepšení komunikační strategie (zapojení veřejnosti, cílových skupin, akterů v dopravě).

Z dotačních projektů EU DP financuje obnovu vozového parku, například v roce 2018 byly nakoupeny bezbariérové CNG autobusy a dochází také k postupné modernizaci tramvajových tratí.

5.6 DP Mostu a Litvínova

Plán udržitelné městské mobility měst Mostu a Litvínova je strategický dokument, který na základě komplexní analýzy dopravních, ekonomických i demografických údajů stanovuje opatření, jejichž realizace umožňuje uspokojení potřeb mobility lidí i firem ve městě a jeho okolí. Dokument klade důraz na udržitelný rozvoj a zlepšení kvality života ve městech. Jeho druhá aktualizace je z května 2019. Plán mobility komplexně řeší dopravní dostupnost pro všechny, zlepšení účinnosti a hospodárnosti systému, zvýšení bezpečnosti v dopravě a snížení negativních vlivů dopravy na životní prostředí. Dokument staví na již existujících aktivitách v plánování a rozvoji měst, pracuje s nimi tak, aby všechny aktivity Plánu mobility směřovaly ke zlepšení kvality života.

V souvislosti s implementací Plánu udržitelné městské mobility měst Mostu a Litvínova realizuje město Most zajímavý projekt *Mostem odpovědně: Rozjedme čistou mobilitu* navazující na projekt *Mostem*

odpovědněji: Poznejte čistou mobilitu. Projekt je zaměřen na prohlubování povědomí obyvatel města Mostu a okolí o tématu čisté mobility a na motivování veřejnosti ke snaze o zlepšení veřejného prostoru snížením automobilové zátěže větším využitím nemotorového způsobu dopravy a městské hromadné dopravy.

Cílem projektu je:

- dosažení vyššího povědomí obyvatel Mostecka o problematice čisté mobility a o alternativních formách dopravy, které v důsledku povedou ke zkvalitnění ovzduší a zlepšení celkové kvality života v regionu,
- motivace veřejnosti k častějšímu využívání městské hromadné dopravy,
- popularizace nemotorové formy dopravy (chůze, cyklistika),
- změna zažitých vzorců chování v dopravě po městě.

5.7 DP města Olomouc

Město Olomouc vytvořilo *Strategický plán rozvoje města*, ve kterém je podrobně řešen i rozvoj udržitelné městské hromadné dopravy, zlepšení kvality ovzduší a snižování energetické náročnosti. Olomouc je nakloněná ekologicky šetrnému způsobu dopravy a chce snižovat podíl individuální automobilové dopravy. Cílem města je primárně zvýšit využití potenciálu udržitelných forem dopravy zejména MHD, pěší a cyklo dopravy.

Veškeré aktivity tohoto cíle jsou plánovány a koordinovány v souladu s paralelně zpracovávaným *Plánem udržitelné městské mobility Olomouc 2018–2030* (SUMP). SUMP se na dopravu dívá ve střednědobém horizontu, tj. stav v roce 2030 s výhledem na rok 2050. Základem budoucí dobře fungující dopravy je integrované plánování, které umožní, aby se rovnoměrně a vyváženě rozvíjela městská hromadná doprava (MHD), individuální automobilová doprava (IAD), cyklo doprava, pěší koridory a veřejná prostranství, parkování, citylogistika. V rámci podpory veřejné hromadné dopravy bude řešeno propojení mezi městskou hromadnou dopravou a příměstskou hromadnou dopravou, nedostatečná kapacita stávajících vozoven a neustálá potřeba obnovy vozového parku. Posílena bude podpora pěší a cyklistické dopravy za účelem každodenní dojížděky či docházky do zaměstnání, do škol a za službami. Snahou bude optimalizovat dopravu zejména v centru, v problémových sídlištích i ve vazbě na přestupní terminály (v souladu s připravovaným SUMP). V rámci tohoto cíle bude také zlepšena průjezdnost městem, zejména podporou dobudování systému inteligentního řízení dopravy, budováním infrastruktury pro cyklisty a podporou bezbariérových úprav. Město také podporuje aktivity na podporu snižování znečištění ovzduší, Olomouc je zařazena mezi města s překročenými imisními limity. Mezi kroky ke zlepšení kvality ovzduší jsou i různá dopravní opatření, která jsou specifikována v SUMP.

Z fondů EU, operačního programu Doprava, čerpá dopravní podnik především finance na modernizaci a posilování tramvajových tratí. Z prostředků ROP střední Morava realizovalo obnovu vozového parku tramvají a autobusů.

6 Stanovení potenciálních úspor v MHD

6.1 Energetická náročnost dopravních prostředků

V rámci městské hromadné dopravy (MHD) se v ČR uplatňuje řada dopravních módů, které reprezentuje následující výčet:

1. Autobusová doprava
2. Trolejbusová doprava
3. Doprava parciálními elektrobusey (trolejbusy s přídatnou trakční baterií)
4. Tramvajová doprava
5. Metro
6. Městská železnice
7. Lanovky
8. Lodní doprava (přivozy)

Kromě těchto konvenčních dopravních módů MHD se, i na základě zkušeností ze zahraničí, mohou ukázat pro budoucnost výhodné další dopravní módy:

1. Operativně řízená nepravidelná doprava mikrobusey či malými elektrobusey v oblastech s nízkou poptávkou přepravy (flexibilní jízdní řády a trasy orientované na okamžitou poptávku)
2. Systémy autonomně řízené tramvajové dopravy s modulární koncepcí souprav (operativně adaptované kapacity souprav podle okamžité poptávky po přepravních službách)
3. Vlakotramvaj (Tram-train) – systém souprav umožňujících jízdu po tramvajových tratích i po drážní infrastruktuře v příměstské železniční dopravě
4. Další specifické dopravní módy dle podmínek (S-bahn, visuté dráhy, výtahy aj.)

Pro účely této studie nebudou uvažovány specifické dopravní módy z výše uvedených čtyř bodů, které nejsou dosud v ČR aplikovány a v blízké době nelze předpokládat jejich významné rozšíření, možná s výjimkou vlakotramvaje. Z osmi dopravních módů, uvedených v úvodu této podkapitoly, nebudou pro účely této studie uvažovány následující dopravní módy, a to z níže uvedených důvodů:

- Lanovky a lodní doprava – nepodstatné zastoupení v objemu přepravy i ve spotřebě energie v rámci systémů MHD v ČR
- Metro a městské železnice – trasování linek a celkový charakter těchto dopravních módů jsou významně zafixovány stávající infrastrukturou, vozovým parkem a koncipováním provozu – zde neexistuje významný prostor pro rychlou změnu organizace dopravy a energetiku provozu (velmi nákladná drážní infrastruktura, dlouhá životnost drážních vozidel a velmi pomalá obnova vozového parku, specifika řízení drážního provozu, dnes již z velké části s automatizovaným řízením souprav – automatické vedení vlaků v metru i u velkého množství železničních vozidel pro příměstskou dopravu)

Naopak zbývající dopravní módy mají výrazně vyšší flexibilitu jak po stránce obnovy vozového parku, tak po stránce linkového vedení a celkové organizace dopravy. To platí nejvíce pro dopravu autobusy a elektrobusey, naopak ve znatelně menší míře v případě dopravy tramvajové. V těchto módech je tedy

významnější potenciál pro nalezení energetických úspor v kratším časovém horizontu jak z hlediska konstrukce vozidel, tak z hlediska organizace a řízení dopravy.

Základem analýzy možných energetických úspor v MHD na úrovni celé ČR je dostatečné zmapování stávajícího stavu spotřeb energie jednotlivých uvažovaných dopravních prostředků. Na základě rozboru stávajícího stavu je poté možno přistoupit k výpočtům potenciálních úspor energie cestou konstrukce vozidel i cestou změn v organizaci a řízení dopravy.

I v rámci ČR existuje extrémní rozptyl podmínek v provozování MHD v jednotlivých městech i na jednotlivých linkách, proto je nutné počítat s tím, že níže uvedená Tabulka 6.1 spotřeb vozidel v MHD uvádí zprůměrované hodnoty, od kterých mohou mít aktuální hodnoty spotřeb v konkrétních podmínkách konkrétního dopravního podniku významné výkyvy. Z důvodu zvýšení přehlednosti dat v této tabulce jsou navíc uvažována referenční vozidla, jejichž zastoupení je ve vozových parcích MHD v ČR nejvyšší. Pro vyčíslení průměrné spotřeby vozidel MHD v ČR jsou proto uvažovány tyto kategorie vozidel:

- Autobus 12 m s dieselovým pohonem (nafta)
- Elektrobus 12 m s akumulátorovým napájením
- Trolejbus 12 m
- Tříčlánková tramvaj 30 m

V tabulce 6.1 nejsou tedy uváděna následující vozidla, a to z těchto důvodů:

- Kloubové autobusy a trolejbusy 18 m – jejich zastoupení v dopravních podnicích je v ČR nižší, energetické poměry těchto delších vozidel je možno přibližně vyčíslit lineárním přepočtem přes hmotnost.
- Parciální elektrobusy (trolejbusy s pomocným akumulátorovým napájením) – i když se i v rámci ČR jejich nasazení rozšiřuje, jejich početní zastoupení je stále relativně malé, a navíc jsou jejich parametry blízké trolejbusům a elektrobusům.
- Trolejbusy s pomocným spalovacím motorem – jejich početní zastoupení je v ČR malé, navíc se jedná o technické řešení, které není rozvíjeno – s rozvojem Li akumulátorů jsou upřednostňovány trolejbusy s pomocným akumulátorovým napájením.
- Autobusy CNG – po technické stránce se jedná o řešení blízké dieselovým autobusům (použití spalovacího motoru, nemožnost rekuperace, nejedná se o lokálně bezemisní vozidlo ani o vozidlo CO₂ neutrální), u vozidel CNG přistupují navíc zvýšené energetické nároky spojené se stlačováním CNG.
- Jednodílné tramvaje typu T – i když jsou ve vozových parcích v MHD v ČR stále významně tato vozidla zastoupena, nejvýznamnější výrobci tramvajových vozidel tyto typy v podstatě již nenabízejí, jsou standardně nabízena článková vozidla.

I když se pohled na průměrnou energetickou spotřebu vozidel MHD významně zjednoduší a zpřehlední zavedením čtyř výše uvedených kategorií vozidel (autobus 12 m diesel, elektrobus 12 m, trolejbus 12 m, článková tramvaj 30 m), je stále nutné mít na zřeteli, že konkrétní spotřeby jednotlivých vozidel vykazují oproti průměru významný rozptyl. To je dáno zejména těmito faktory:

- Velká různorodost vedení linek MHD v rámci ČR z hlediska převýšení – od tras prakticky bez převýšení, (např. Pardubice, Hradec Králové) po trasy s převýšením až několik set m (Jablonec n. N., velkými převýšeními tras linek výrazně nad 100 m se vyznačuje i Praha). V závislosti na nadmořské výšce se spotřeba může lišit i více než o 100 %, s převýšením se výrazně mění i efekt rekuperace elektrických vozidel.

- Velká různorodost vedení linek z hlediska četnosti zastavování a průměrné rychlosti, kde se projevují významné rozdíly i v rámci denních dob (četnost zastavování od přibližně 100 m až do několika km, tomu odpovídající průměrné rychlosti od přibližně 15 km/h do hodnot v okolí 30 km/h).
- V případě vozidel závislé elektrické trakce (tramvaje, trolejbusy) jsou rozdíly v podmínkách pro rekuperaci, což je dáno rozdílnou infrastrukturou, hustotou provozu a rozdíly v rámci denních a nočních dob.
- Velký vliv klimatických podmínek na pomocné spotřeby vozidel (topení, klimatizace) – rozdíly mezi regiony, závislost na aktuálním počasí, závislost na denní a roční době (v případě nízkých venkovních teplot může být pomocná spotřeba srovnatelná s trakční spotřebou).
- Vliv technického řešení, jízdních odporů (velký vliv jízdního odporu pneumatik v závislosti na opotřebení a nahuštění, vliv aerodynamického řešení vozidla), vliv stáří a technického stavu vozidel (například u autobusů se spotřeby ve srovnatelných podmínkách jednoho města liší až o desítky %).
- Vlivy stylu řízení (lidský faktor).
- Vliv stavu trati jak u silniční, tak u kolejové dopravy.
- Vliv aktuální dopravní situace a hustoty provozu.

Pro přehledné vyčíslení tabulky 6.1 stávajících průměrných spotřeb vozidel MHD byly dále zavedeny následující předpoklady:

- Průměrná rychlost vozidla je 20 km/h.
- Vozidlo je obsazeno cestujícími z 50 % kapacity.
- Při provozu elektrobuse se uplatňují ztráty v akumulátorové baterii při nabíjení a vybití a ztráty v nabíječce při nabíjení. Tyto ztráty jsou řádově srovnatelné se ztrátami v trolejovém vedení v případě trolejbusové dopravy.
- Průměrné využití a přínosy rekuperace jsou vyšší u elektrobuse (úspora energie až 40 %), než u trolejbusu a tramvaje (úspora energie cca. 20 % až 30 %). To je dáno nemožností rekuperace vozidel závislé trakce v případě, že na stejné napájecí sekci není zajištěn odběr, v tom případě se brzdná energie maří v odporníku). Efekt rekuperace je závislý významně i na výškovém profilu tratě a rychlostním profilu jízdní trajektorie.
- V tabulce průměrných spotřeb jsou uváděny hodnoty odpovídající co nejmodernějším provozovaným vozidlům v MHD. Například u starších autobusů je ve srovnatelných podmínkách provozu spotřeba nafty vyšší až o 20 %.
- V tabulce 6.1 je pro co nejlepší srovnání uvažováno v případě trolejbusu, autobusu a elektrobuse prakticky totožné vozidlo. To odpovídá unifikaci výrobků u výrobců vozidel (například SOR, IVECO).

Klíčový význam má při vyjádření průměrné spotřeby vozidel volba použitých fyzikálních jednotek. Prvním problémem je standardní vyjadřování spotřeby jiným způsobem u vozidel s dieselovým pohonem (litrů/100 km) a u vozidel s elektrickým pohonem (zpravidla kWh/km). Pro komplexní a jednotné posouzení energetické spotřeby vozidel MHD je proto nutné zavést jednotný způsob posuzování, tj. jednotné fyzikální veličiny pro vozidla dieselová a elektrická. Pro účely této studie je použito vyjadřování energetické spotřeby v kWh/km resp., ve Wh/km, resp. vyjádření pomocí středního výkonu, nebo přesněji příkonu v kW. Je tedy nutno přepočítat energetickou spotřebu dieselových vozidel z l nafty na

100 km na kWh/km resp. Wh/km resp. kW středního příkonu. Tento převod se uskutečňuje za následujících předpokladů:

- Na vozidle s dieselovým pohonem je počítán celkový příkon, tj. vychází se z celkové uvolněné energie ve vozidle z paliva, kde tato energie se skládá z užitečně využití energie vozidla pro pohon a pro pomocné spotřeby a ze ztrátové tepelné energie. Jedná se tedy o analogii celkové energetické spotřeby na sběrači vozidla závislé elektrické trakce (tramvaj, trolejbus) nebo analogii energie odebrané z akumulátorové baterie u akumulátorových vozidel. Je tedy zachován postup, který řeší celkovou energetickou spotřebu na vozidle, ať se jedná o vozidlo dieselové nebo elektrické, tj. řeší se energetická spotřeba, kterou mají možnost ovlivnit provozovatelé vozidel, tj. městské dopravní podniky (městské dopravní podniky nemají možnost ovlivnit účinnost výroby a rozvodu energie).
- Výchozí skutečností pro přepočet energetické náročnosti dieselových vozidel je to, že primárním zdrojem energie je nafta, jejíž chemická vnitřní energie je přeměňována ve spalovacím motoru na kinetickou energii. Typickou hodnotou energetické výtěžnosti nafty ve vznětovém (dieselovém) motoru je 1 kWh kinetické energie z 200 g nafty. S uvažováním hustoty nafty 0,84 kg/l se pak z 1 l nafty získá 4,2 kWh kinetické energie. Pro určení celkové uvolněné energie, resp. výkonu je však nutno zohlednit střední účinnost vznětového motoru. Maximální účinnost přepřehnaného vznětového motoru může dosahovat hodnot až okolo 40 %, okamžitá účinnost však závisí zejména na poloze pracovního bodu vznětového motoru v souřadnicích otáčky – moment. Při provozu dieselového motoru ve vozidle se poloha pracovního bodu mění a kolísá s tím i okamžitá účinnost, navíc vznětový motor vykazuje nezanedbatelnou spotřebu paliva i při volnoběhu, například při stání autobusu v zastávkách. Střední hodnota účinnosti motoru je uvažována 33 %. Z 1 l nafty se tedy v motoru při uvolnění 4,2 kWh kinetické energie navíc uvolní přibližně dvojnásobná hodnota tepelné energie, tj. 8,4 kWh. Při získání 4,2 kWh kinetické energie se celkově z 1 l nafty uvolní 12,6 kWh energie. S touto hodnotou je dále v analýze počítáno.
- U dieselových autobusů MHD pro vytápění interiéru nepostačuje odpadní teplo ze spalovacího motoru, proto je instalováno ve vozech i naftové topení. V tomto topení je uvolňována jen tepelná energie, tedy účinnost se blíží 100 %. S instalací tohoto topení analýza počítá.

Významnou součástí energetické spotřeby dieselových i elektrických vozidel jsou spotřeby pomocné. U elektrických vozidel je primární energie těchto spotřeb dodávána výhradně v elektrické formě, u dieselových vozidel jsou některé technologie zásobovány energií z nafty (topení), kinetickou energií přímo ze spalovacího motoru (pomocné pohony – kompresor, ventilátor) nebo elektrickou energií z palubní baterie nabíjené přes alternátor poháněný spalovacím motorem. Do elektrických pomocných spotřeb se řadí zejména napájení řídicích systémů, informačních systémů, osvětlení atp. Vyčíslení přesné energetické bilance pomocných spotřeb je velmi náročné, neboť energetický odběr je v čase velmi proměnný, vázaný na denní i roční dobu (osvětlení, topení, klimatizace) a na aktuální stav technologií vozidla (kompresor, čerpadla). Pro účely této analýzy byly určovány průměrné hodnoty výkonu pomocných spotřeb za dobu celého roku ze statistik a technických dat vozidel MHD.

Jak bylo uvedeno výše, i trakční spotřeba vozidel MHD je značně závislá na řadě faktorů. Pro účely této analýzy byly průměrné hodnoty trakčních spotřeb získány kombinací studia provozních dat vozidel MHD a simulačních výpočtů jízd vozidel MHD. I zde je však velmi široký prostor pro variabilitu dat v kontextu s parametrizací výpočtového simulačního programu (například jízdní odpory vozidla, účinnosti komponent pohonného řetězce, parametrizace jízdní trajektorie reprezentující určitý styl jízdy).

Zavede-li se jednotná forma veličin popisujících energetickou náročnost jízdy vozidla MHD, je dále nutné zohlednit rozdílné složení vozových parků napříč dopravními podniky v ČR a napříč vozidly z hlediska

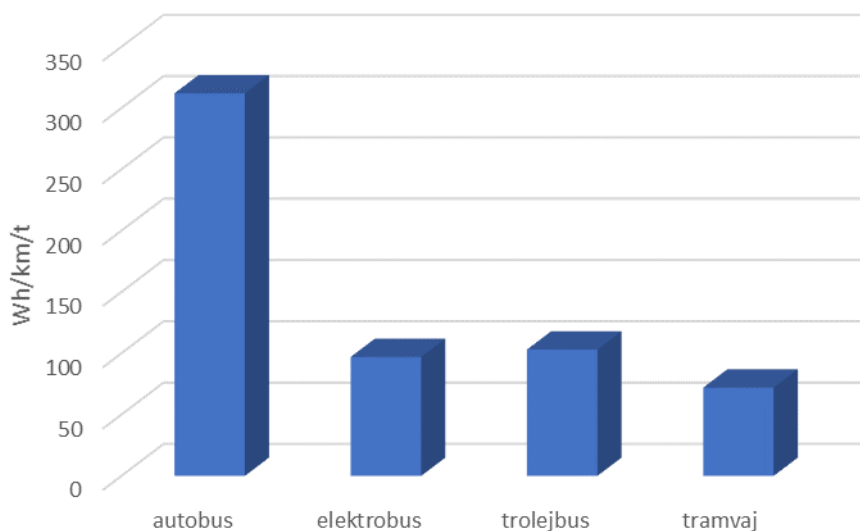
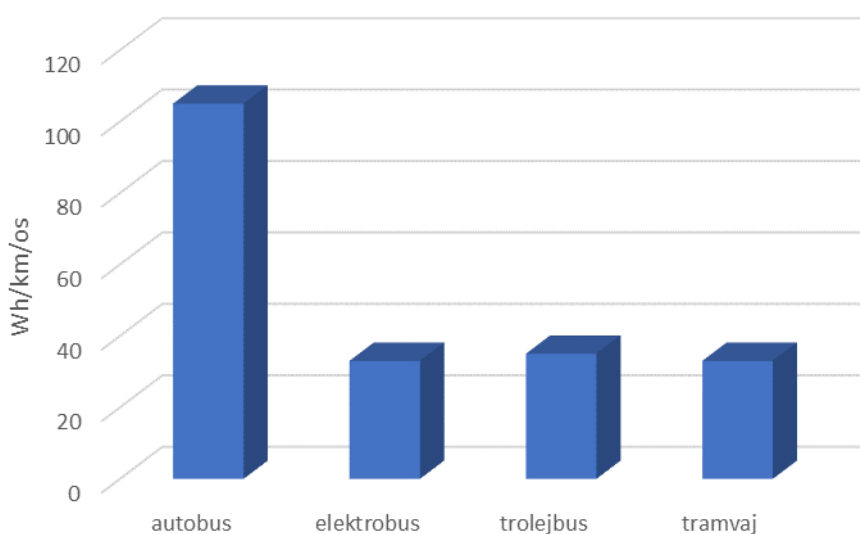
jednotlivých trakcí (tramvaje, trolejbusy, autobusy, elektrobusy). Z toho důvodu je vhodné zavést i poměrné energetické veličiny. Technicky exaktní veličinou je poměrná energie ve Wh/km/t. Tato veličina reprezentuje přesně energetickou náročnost potřebnou na přepravení určité hmotnosti, nepodává však přesnou informaci z hlediska dopravního výkonu při přepravě osob, což je dáno tím, že neexistuje přesná a neměnná relace mezi hmotností vozidla a jeho obsaditelností. Z hlediska přepravního výkonu proto lépe popisuje energetickou náročnost poměrná energie udávaná ve Wh/km/osobu (Wh/km/os). Ukazuje se, že ani zde se nejedná o jednoznačně vypovídající veličinu vzhledem k údajům obsaditelnosti vozidel. Lze uvést tento příklad. U autobusů/elektrobusů/trolejbusů délky 12 m udávají výrobci obsaditelnost 85 až 95 osob, což je dáno i konceptem uspořádání interiéru a sedaček. Šířka takového vozidla je 2,5 m, plocha je tedy 30 m². U člankové tramvaje délky 30 m je šířka rovněž přibližně 2,5 m. Plocha je tedy 75 m². Při obsazení tramvaje 5 osob/m² se udává obsaditelnost 210 osob. Oproti autobusu 12 m má tedy tramvaj plochu větší 2,5krát, udávaná obsaditelnost je ale oproti autobusu větší pouze 2,3krát. Je tedy zřejmé, že tramvaj tímto poskytne cestujícím větší komfort, na druhou stranu je u ní znevýhodněn parametr měrné energie ve Wh/km/os. Zcela relevantním řešením není ani výpočet s jednotným počtem cestujících na jeden m², neboť obsaditelnost výrazně ovlivňuje i koncept interiéru, rozmístění a typ sedaček. Jen pro úplnost je možno dodat, že z hlediska pevnostního dimenzování konstrukce vozidel je uvažováno 8 osob na m², z hlediska běžného provozu se však reálná obsaditelnost může uvažovat v rozmezí 4 až 5 osob na m².

Tabulka 6.1 Tabulka průměrných spotřeb vozidel MHD

Vozidlo	Autobus (diesel) 12m	Elektrobus 12m	Trolejbus 12m	Članková tramvaj 30m
Hmotnost (t)	16	16	16	48,5
Obsaditelnost	95	95	95	210
Trakční výkon (kW) (Výkon sp. motoru)	210 (sp. motor)	160	160	600
Střední trakční příkon (kW)	80	21	23	48
Střední příkon pomocných spotřeb (kW)	20	10	10	22
Celkový střední příkon (kW)	100	31	33	70
Měrná spotřeba (kWh/km)	5 (40l/100km)	1,5	1,6	3,5
Měrná spotřeba (Wh/km/t)	312	97	103	72
Měrná spotřeba (Wh/km/os)	105	33	35	33

Výše uvedené odstavce měly za cíl dokreslit velmi širokou škálu podob provozu vozidel v MHD a ukázat souvislosti s jejich energetickou spotřebou. Uvedená tabulka 6.1 průměrných energetických spotřeb vozidel MHD byla vyčíslena na základě provozních dat, měření na vozidlech, studia literatury a simulačních výpočtů, z výše uvedeného textu je ale zřejmé, že aktuální hodnoty energetických spotřeb vozidel MHD se v konkrétních podmínkách konkrétního dopravního podniku mohou relativně výrazně lišit, a to až o desítky %.

Z tabulky 6.1 jsou zřejmé relace mezi dopravními prostředky. Evidentní je výrazně větší měrná spotřeba u dieselových autobusů, což je dáno malou účinností spalovacího motoru. Měrná spotřeba energie vztažená na osobu je srovnatelná u tramvajů, trolejbusů i elektrobusů. Zatímco silniční vozidla vykazují vyšší jízdní odpory dané odporem valení pneumatiky po vozovce, mají naproti tomu nižší hmotnost. Do měrné spotřeby tramvaje vztažené na osobu se rovněž promítá nižší počet cestujících vztažených k ploše vozidla, tj. vyšší cestovní komfort pro cestující.

Obrázek 6.1 Průměrná měrná spotřeba vozidel MHD vztažená na hmotnost**Obrázek 6.2 Průměrná měrná spotřeba vozidel MHD vztažená na osoby**

6.2 Extramodální úspory

Energetická i emisní

Jak bylo uvedeno v kapitole o stávající energetické náročnosti provozu vozidel MHD, je použita metodika, kdy je energetická spotřeba kalkulována z hlediska celkového výkonu, resp. energie, která je uvolněna ve vozidle, tj. se započítáním ztrátové energie přeměněné na teplo, přičemž tato ztrátová energie je významná a tvoří přes 50 % celkové uvolněné energie u vozidel se spalovacím motorem. V rámci této metodiky tedy není u elektrických vozidel postihnuta efektivita výroby, přenosu a distribuce elektrické energie. Tyto segmenty nespádají do kompetencí dopravních podniků, ale do kompetencí segmentů výroby, přenosu a distribuce elektrické energie, kde je stále potenciál ke zlepšování hospodaření s energiemi. Z hlediska samotných dopravních podniků existují jen omezené možnosti v cestách k úsporám energie. Jedná se jednak o možnost instalace fotovoltaických zdrojů na

infrastruktury tvořící zázemí provozu dopravních podniků, dále pak využívání možností, které se vyskytují z hlediska snížení ztrát na trakčním vedení u tramvajové a trolejbusové dopravy.

Možnost instalace fotovoltaických panelů na infrastrukturu dopravních podniků je využívána v některých případech v zahraničí (například umístování fotovoltaických panelů na střechách tramvajových vozoven u některých dopravních podniků v Německu). Zde je možno počítat s vyrobeným elektrickým výkonem v průměru 50 až 150 W/m² fotovoltaických panelů. Energie získaná tímto způsobem je v zahraničí u dopravních podniků však využívána spíše pro napájení stacionárních spotřeb, význam pro trakční napájení je velmi malý.

Z hlediska energetické bilance elektrického provozu v MHD se relativně výrazně projevují ztráty na trakčním tramvajovém a trolejbusovém vedení. Velikost těchto ztrát může v závislosti na aktuálním charakteru provozu dosahovat podílu i přes 10 %. Hlavním důvodem těchto nezanedbatelných ztrát je poměrně nízké napětí pro napájení vozidel MHD závislé elektrické trakce (600 nebo 750 V stejnosměrných), přičemž trakční síť je charakteristická svou nízkou napěťovou tvrdostí a při významném poklesu napětí v troleji o desítky voltů, vlivem zvýšení celkového odběru, dále narůstají ztráty na trakčním vedení vlivem odběru trakčního výkonu při vyšších proudech (ztrátový výkon na odporu vedení je úměrný druhé mocnině protékajícího proudu). Ztráty na trakčním vedení je možno snížit těmito způsoby:

1. Snížení odporu vedení – volbou materiálu nebo průřezu trolejového drátu – toto je cesta komplikovaná a nákladná vzhledem k navýšení ceny pevných trakčních zařízení a vzhledem k unifikaci v oblasti trakčních vedení.
2. Zkrácení úseků, tj. zvětšení hustoty napájecích bodů, čímž by se zvýšila tvrdost napájecí trakční sítě. U stávajících systémů závislé elektrické trakce je napájecí infrastruktura vybudována a bylo by nesmírně komplikované budování dalších trakčních měníren. Na vhodné rozmístění napájecí infrastruktury je však nutné dbát při budování nových tras pro závislou elektrickou trakci v MHD.
3. Vhodná kombinace linek s trolejovým napájením a linek s akumulátorovými vozidly – akumulátorová vozidla mají potenciál nabíjení akumulátorů s nižšími ztrátami oproti velikosti ztrát na trakčním vedení v nepříznivých případech. Naproti tomu akumulátorová vozidla mají vyšší pořizovací ceny a výroba a likvidace akumulátorů má významné environmentální dopady. Proto je i potenciál úspor energie ve vhodném rozložení dopravních výkonů mezi vozidla závislé a akumulátorové elektrické trakce. Velmi dobrým a flexibilním řešením je v této oblasti používání parciálních elektrobuses.
4. Zvýšení jmenovitého napětí trakční sítě a přenos výkonu trakčním vedením s nižším proudem a nižšími ztrátami. U novějších trolejbusových provozů v ČR byla proto použita stejnosměrná napájecí soustava 750 V místo tradičních 600 V. Konverze trakční sítě ze 600 V na 750 V u stávajících provozů je zvažována, jedná se však o dlouhodobou záležitost s úzkou vazbou na konstrukci a napěťovou odolnost stávajících trakčních zařízení i vozidlového parku. U nových provozů MHD je nutno preferovat použití trakční soustavy pro co nejvyšší možné napětí. Například v zahraničí se začíná u nových linek metra používat stejnosměrná soustava se jmenovitým napětím 1500 V, zatímco konvenční hodnota jmenovitého napětí pro trakční napájení metra je 750 V (včetně stávajících provozů metra v ČR).

Kromě výše uvedených možností hledání energetických úspor v oblasti energetického napájení – výroba a přenos energie – existují v širších souvislostech další cesty ke zvýšení energetické hospodárnosti. Potenciál energetických úspor v environmentálně příznivé městské dopravě je ve vyšším využívání pěší a cyklistické dopravy na menší a střední vzdálenosti. Zejména pro cyklistickou dopravu je dopravní infrastruktura ve městech v ČR stále velmi nedostatečná.

V širších souvislostech spočívá velký potenciál úspor v MHD v celkové optimalizaci urbanistického řešení rozvojových a nově budovaných částí měst z hlediska dopravní obslužnosti. Efektivní a energeticky příznivou MHD je nutno koncipovat již jako nedílnou součást plánů urbanistického rozvoje, neboť zásadní změny dopravní obslužnosti již zastavěného území jsou prakticky nemožné. To se týká volby trakcí MHD v rozvojových územích včetně optimální kombinace souvislého (liniového) a akumulátorového napájení, volby příznivých tras MHD v nových územích i určení umístění napájecích bodů pro závislou elektrickou trakci a nabíjecích bodů pro akumulátorovou trakci.

6.3 Intramodální úspory

Energetická i emisní

V užších souvislostech, v podmínkách stávajícího urbanistického řešení, stávající infrastruktury MHD a nejvýznamnějších a nejzastoupenějších stávajících dopravních módů lze rovněž spatřovat potenciál pro několik typů energetických úspor. Z pohledu energetických úspor při vlastním provozu vozidel, tedy z hlediska hlavních specifik dopravního provozu, lze cesty ke zvýšení energetické hospodárnosti rozdělit do čtyř hlavních skupin:

1. Dílčí změny v organizaci dopravy, linkovém vedení a v rámci tvorby jízdních řádů, změny ve struktuře nasazovaných trakcí vozidel na linky MHD.
2. „Chytré řízení“ – optimalizace řízení provozu vozidel v rámci celkového řízení dopravních proudů v městské mobilitě a optimalizace řízení jízdních trajektorií samotného vozidla.
3. Úspory v trakčním řetězci cestou uplatnění nových pohonných technologií v konstrukci vozidel MHD.
4. Úspory v pomocných spotřebách ve vozidle.

Změny v organizaci dopravy a ve struktuře trakcí vozidel MHD

Dílčí změny v organizaci MHD a jejich potenciál z hlediska energetických úspor jsou úzce vázány na konkrétní situaci daného města a jeho MHD. Na konkrétní podmínky daného města je vázáno i případné kvantitativní hodnocení přínosů jednotlivých opatření. Na obecné rovině lze v této oblasti jmenovat možnost využití následujících kroků:

- Optimalizace tras linkového vedení – v rámci existujících dopravních proudů optimalizace tras z hlediska délky, převýšení, plynulosti provozu, jízdních dob.
- Optimální rozmístění zastávek a využívání zastávek na znamení – každý rozjezd vozidla, i v případě vozidel s rekuperací, znamená navýšení energetické spotřeby, energie pro urychlení vozidla narůstá s druhou mocninou konečné rychlosti. Zbytečná zastavení navíc prodlužují jízdní dobu a tím i sumu energie pro pomocné spotřeby vozidla. Z toho důvodu je vhodné eliminovat počty zastavení v místech s minimální poptávkou po přepravě nebo v těchto místech zavést zastávky na znamení.
- Optimalizace jízdních řádů – co nejlepší přizpůsobení jízdních řádů přepravní poptávce eliminace nevytížených spojů, hledat vhodný kompromis mezi četností spojů, cestovním komfortem a vytížením spojů.
- Přiřazení vhodných vozidel k trasám z hlediska přepravní kapacity, energetické náročnosti a trakčních parametrů – týká se zejména určení vozidel krátké/člankové, závislá trakce/nezávislá trakce. Vozidlo předimenzované trakčně a kapacitně znamená vždy navýšení trakčních i pomocných spotřeb energie.

- Změna ve struktuře nasazovaných trakcí vozidel – při zachování metodiky, kdy se hodnotí a posuzuje celkový příkon, resp. celková energie uvolněná ve vozidle, tj. spotřeba nafty u dieselových autobusů a příkon na sběrači, resp. výkon odebraný z akumulátorové baterie, je hlavním potenciálem pro úsporu energie přechod od používání vozidel se spalovacími motory k vozidlům elektrickým. To je dáno malou účinností spalovacích motorů. Samotný přenos výkonu ze spalovacího motoru na nápravy kol má účinnost vyšší, oproti přenosu výkonu z trolejového sběrače, resp. z trakčního akumulátoru na nápravy kol přes strukturu elektrického pohonu (ztráty v akumulátoru, ztráty v trakčním měniči, ztráty v trakčním motoru, ztráty v trakční převodovce). Přestože účinnosti vyjmenovaných komponent elektrického trakčního řetězce jsou poměrně vysoké (i přes 90 % v závislosti na konkrétních parametrech trakčních komponent a provozním režimu), v součtu se přenosem výkonu přes tento řetězec účinnost snižuje. Na druhou stranu však elektrický pohon, na rozdíl od pohonu spalovacím motorem, disponuje možností rekuperace. Nejen z důvodu energetického, ale i z důvodu lokálního znečištění a snížení provozních nákladů se městské dopravní podniky v ČR významně připravují na celkovou elektrifikaci MHD. Změny trakce u elektrických vozidel, tj. přesuny mezi dopravou trolejbusy, elektrobusem a tramvajemi, bezprostředně vztah k významným energetickým úsporám nemají, jak je zřejmé z dat v tabulce 6.1. Tramvaje mají sice výrazně nižší odpor valení kol po kolejnici oproti odporu valení pneumatik po vozovce, mají však vyšší hmotnosti. Převody dopravních výkonů mezi kolejovou a nekolejovou elektrickou dopravou v rámci MHD mají nejvyšší efektivitu v kontextu s kapacitními ukazateli. Optimální rozložení dopravních výkonů mezi kolejovou a nekolejovou elektrickou dopravou může však zprostředkovaně působit i pozitivní efekty po stránce energetické náročnosti, neboť využívání kapacitní kolejové dopravy, zejména v případě kolejové dráhy oddělené od silničního provozu, přispívá ke zvýšení plynulosti provozu, zvýšení průměrné rychlosti a snížení počtu zastavování a tyto okolnosti přispívají jak ke snížení trakčních, tak pomocných spotřeb na vozidle.

„Chytré řízení“ provozu vozidel

Zvyšování plynulosti dopravy má na energetickou spotřebu prostředků MHD i obecně významný vliv. Zvýšením plynulosti provozu se omezuje četnost zastavování, což eliminuje potřebu opakovaného navýšení spotřeby při udělování kinetické energie vozidlu. V tomto případě jsou přínosy i v případě elektrických vozidel s rekuperací, neboť vlivem konkrétních účinností komponent pohonného řetězce se i při rekuperaci části kinetické energie vozidla další část energie zmaří ve ztrátách v pohonném řetězci a v jízdních odporech vozidla. Zvýšení plynulosti provozu přispívá i ke zvýšení průměrné rychlosti a tím zkrácení času pro vykonání dopravní práce. S časem dopravní práce se integruje ve vozidle energie pro pomocné spotřeby, zvýšení průměrné rychlosti má tedy pozitivní dopady zejména na snížení energie pro pomocné spotřeby na vozidle. V současnosti se v řadě měst již využívá řízení dopravních proudů s preferencí MHD. Posílení těchto systémů je tedy atraktivní nejen z hlediska plynulosti provozu, ale i z hlediska energetického.

Další cestou ke snížení energetické spotřeby vozidel je optimalizace jízdní trajektorie vozidla, tedy průběhu rychlosti a tažné síly vozidla v rámci stanovené trasy s definovaným profilem maximální povolené rychlosti a stanovenými místy zastavení. V současnosti tento profil v pozemní MHD prakticky výhradně určuje řidič svým stylem jízdy. Energetické nároky jsou stylem jízdy ovlivněny zejména z hlediska velikosti zadaných akcelerací a decelerací vozidla, využívání výběhů vozidla a celkovým formováním profilu jízdní trajektorie, přičemž ke zvýšení spotřeby vždy přispívají jakékoli výkyvy rychlosti s akceleracemi a brzděním. Implementace řídicích algoritmů vozidla, které vypočítávají optimální jízdní trajektorii, je alespoň zčásti v dohledné době reálná zejména v tramvajové dopravě s vedením vozidla v kolejové dráze. U vozů metra a železničních vozidel jsou tyto postupy využívány již řadu let, řídicí algoritmy, které formují rychlostní profil jízdy, respektují i energetickou optimalizaci. Postup implementace těchto algoritmů ve vozidlech pozemní kolejové i nekolejové dopravy v MHD je velmi

blízký problematice autonomního řízení vozidel a vývojové práce v této oblasti budou do značné míry postup uplatňování energeticky optimálního řízení vozidel MHD určovat.

Energetické úspory v trakčním řetězci

Problematika energetických přínosů spojených s přechodem od pohonů vozidel spalovacími motory k pohonům elektrickým byla uvedena v předchozím odstavci. V tomto odstavci bude pozornost zaměřena na možnosti energetických úspor spojených s využíváním nových technologií v elektrických trakčních pohonech, jedná se tedy o možnosti dosažení úspor použitím konstrukčních řešení trakčních řetězců vozidel založených na využití energeticky hospodárných technických komponent trakčního řetězce a na energeticky šetrném řešení struktury pohonného řetězce jako celku.

Elektrický pohon moderního vozidla MHD je napájen z trolejového vedení nebo z akumulátorové baterie. Výkonové ztráty se uplatňují jak v trakčním přívodu z pevných trakčních zařízeních, tak i v akumulátorové baterii. V trakční baterii lze při napájení trakčního pohonu počítat se středními výkonovými ztrátami ve výši přibližně 5 % z odebraného výkonu, s obdobným ztrátovým výkonem lze počítat i v případě nabíjení včetně rekuperace. V případě trakčního vedení MHD mohou být ztráty vyšší, i přes 10 % a mohou velmi kolísat v závislosti na okamžitém provozu, parametrech trakčního vedení, struktuře trakční sítě a okamžité poloze vozidla sledovaného i ostatních v rámci trakční sítě. Eliminace ztrát v trakčním vedení je především záležitostí řešení trakční infrastruktury.

V současnosti se pro nezávislou trakci v elektromobilitě využívají prakticky výhradně akumulátorové baterie složené z článků Li-ion. Ztráty v trakčních Li akumulátorových bateriích jsou závislé na okamžitém stavu nabití akumulátorové baterie, velikosti odebíraného proudu, resp. výkonu, okamžité teplotě akumulátorové baterie a na její celkové konstrukci projevující se vnitřním odporem. Vnitřní odpor akumulátorové baterie není konstantní, ale je závislý především na stavu nabití a teplotě, přičemž s rostoucí teplotou vnitřní odpor klesá. I když lze akumulátorové Li baterie provozovat do teploty přibližně 60°C, optimální provozní teplota se pohybuje v rozmezí 20 až 30°C a to s ohledem na životnost. Hodnoty vnitřních odporů akumulátorových baterií pro elektrická vozidla se pohybují v řádech desítek až stovek mΩ. Okamžitý ztrátový výkon akumulátorové baterie je závislý na první mocnině odporu a druhé mocnině proudu, tj. přibližně výkonu. Z této závislosti je zřejmé, že okamžitá hodnota ztrátového výkonu se poměrně široce mění. I když se připravují nové koncepce trakčních akumulátorů, v nejbližších letech budou zřejmě v oblasti elektromobility stále dominovat Li-ion akumulátory, proto není zcela reálné pro nejbližší období předpokládat výrazné energetické úspory v akumulátorových vozidlech prostřednictvím snížení ztrátových výkonů akumulátorových baterií. Proto není tato varianta úspor kalkulována ani v této studii.

Samotný pohonný řetězec elektrického vozidla je tvořen trakčním měničem, trakčním motorem (v případě kolejových vozidel více trakčními motory a více trakčními měniči) a trakční převodovkou nebo více převodovkami. Pro účely této studie budou kalkulovány případy energetických úspor v trakčním řetězci zvýšením účinnosti trakčních měničů a trakčních motorů. V některých vozidlech MHD se již nyní uplatňují bezpřevodkové, přímé, pohony kol (například tramvaj 15T). V případě bezpřevodkového pohonu odpadá ztrátový výkon v převodovce, ale je nutné použít vysokomomentové, pomaluběžné trakční motory buď na vyšší proudy, nebo s vyššími počty závitů vinutí. To však vede ke zvýšení ztrát ve vinutí. Vzhledem k malému rozšíření bezpřevodkových pohonů ve vozidlech MHD a vzhledem k dílčímu zvýšení ztrát u trakčních motorů pro bezpřevodkové pohony při eliminaci ztrát v převodovce nebudou v této studii kalkulovány energetické přínosy dosažené u bezpřevodkových pohonů vozidel MHD.

Potenciál snížení ztrát a zvýšení účinnosti trakčních měničů spočívá v současnosti zejména v použití nových generací výkonových polovodičových spínacích součástek na bázi karbidu křemíku (SiC). Měniče využívající tyto součástky se na vozidlech MHD začínají ve větší míře používat v měničích

pomocných spotřeb, první aplikace SiC součástek jsou ale i v oblasti trakčních měničů, a to i v ČR (vývoj SiC trakčních měničů pro vozy metra pro čínského zákazníka ve ŠKODA ELECTRIC a.s.). Použití SiC trakčních měničů vede ke snížení zejména spínacích ztrát vlivem až 10x kratších spínacích časů SiC součástek oproti běžným součástkám na bázi Si. Kromě snížení ztrát v SiC měničích zde dochází i ke zmenšení objemu a hmotnosti vlivem zmenšení nároků na chladicí soustavu měniče. I přes nutnost dodatečného použití sinusových filtrů ve spojení s SiC měniči zde oproti konvenčním měničům na bázi součástek Si dochází k celkovému snížení ztrát a to nejen v samotném měniči SiC, ale i v trakčním motoru. Zmenšení ztrát v trakčním motoru při napájení z měniče SiC je dáno použitím vyšší frekvence pro modulaci napětí pro trakční motory (desítky kHz), což je dáno výrazně kratšími spínacími časy SiC součástek. Vyšší frekvencí lépe promodulované průběhy proudu a napětí motoru vedou ke snížení ztrát v trakčním motoru, které jsou způsobeny vyššími harmonickými složkami napětí a proudu. I když je účinnost konvenčních výkonových polovodičových měničů na bázi Si poměrně vysoká (95 až 99%), znamená použití SiC měničů evidentní energetický přínos. I v této studii je proto zakalkulováno možné snížení ztrát v trakčních měničích do potenciálu úspor ve vozidlech MHD.

Dalším členem v pohonném řetězci vozidel MHD je trakční elektromotor. Jmenovité účinnosti trakčních elektromotorů jsou poměrně vysoké a pohybují se v rozmezí přibližně 90 až 95 % v motorickém i rekuperačním režimu. Okamžitá účinnost elektromotoru však oproti jmenovité hodnotě výrazně klesá v případě snížení rychlosti nebo tažné síly, tj. v případě snížení otáček nebo točivého momentu elektromotoru. V těchto režimech může účinnost elektromotoru klesat i pod 50 %. To je i velmi častý případ trakčních pohonů elektrických vozidel MHD v případě jízdy ustálenou rychlostí, a tedy nízkých hodnot momentu motoru nebo při rozjezdech, kdy je nízká rychlost. Rovněž účinnost rekuperace se s klesající rychlostí výrazně snižuje. Průměrná účinnost trakčního elektromotoru pak klesá i pod 90 %. V moderních vozidlech MHD (tramvajích, trolejbusích i elektrobusech) se v současnosti standardně používají asynchronní trakční motory, vyznačující se jednoduchou konstrukcí, spolehlivostí a robustností. Stejnoseměrné trakční motory se v současnosti používají jen ve starších a rekonstruovaných vozidlech. Určitou energetickou nevýhodou asynchronních motorů jsou nezanedbatelné výkonové ztráty v rotorovém elektrickém obvodu. Tuto nevýhodu odstraňuje použití synchronních motorů s permanentními magnety na rotoru. Neexistence elektrického obvodu na rotoru je významným příspěvkem ke zvýšení účinnosti této hnací jednotky, kromě toho má synchronní motor s permanentními magnety velmi dobré dynamické vlastnosti, velkou přetížitelnost a malý objem, z toho důvodu se tyto motory používají v případě bezpřevodkových pohonů. Synchronní motory se standardně používají v elektromobilech a jednostopých silničních vozidlech, vývoj směřuje k používání těchto motorů u vozidel MHD (tyto hnací jednotky jsou použity již v současnosti v tramvajích 15T). V konstrukci těchto motorů je rovněž perspektivní nová varianta, motor IPMSM (synchronní motor s vnořenými magnety). Jedná se o hnací jednotku, která využívá kromě synchronního momentu od permanentních magnetů rovněž tzv. reluktanční složky momentu daného speciální, magneticky nesymetrickou konstrukcí rotoru. Toto řešení rovněž přispívá ke zlepšení energetických parametrů motoru. Ve zpracovávané studii je proto rovněž vyčíslena potenciální úspora energie daná zlepšením účinnosti trakčního elektromotoru. Cestou ke zlepšení účinnosti trakčního elektromotoru je po technické stránce právě použití synchronních motorů s vnořenými permanentními magnety.

Energetické úspory v systému pomocných spotřeb vozidla:

Pomocné spotřeby vozidel MHD představují řadu systémů, například řídicí systémy, osvětlení, informační systémy, posilovač řízení, kompresor, čerpadlo, chladicí systémy. Z hlediska energetických nároků činí největší složku pomocných spotřeb systémy topení a klimatizace. Na dieselových vozidlech se k topení částečně využívá odpadní teplo ze spalovacího motoru, zejména však naftové topení. U elektrických vozidel s trolejovým napájením se standardně používá topení elektrické, v případě akumulátorových vozidel (elektrobusů) se však stále velice často používá přídavné naftové topení. Tato situace je do budoucna neudržitelná i z hlediska bezemisnosti vozidla. Z uvedených důvodů se tato

studie zabývá z hlediska zefektivnění energetické spotřeby právě možnostmi omezení příkonu těchto nejvýznamnějších pomocných spotřeb (topení, klimatizace).

Velký potenciál pro energetické úspory představují tepelná čerpadla. Tepelná čerpadla se již delší dobu používají pro vytápění budov. V poslední době nabývají na významu i pro vytápění a klimatizaci dopravních prostředků, především s akumulátorovým napájením z důvodu úspor energie a zvýšení dojezdu vozidel. Pro dopravní prostředky jsou perspektivní tepelná čerpadla zejména vzduch – vzduch. V principu tato čerpadla odnímají v topném režimu teplotu okolnímu vzduchu a předávají teplo vytápěnému prostoru. Hlavních přínosů je dosahováno v topném režimu, lze je ale provozovat i v režimu klimatizace. Účinnost tepelného čerpadla se udává v jednotkách COP (Coefficient of Performance). Jedná se o tepelný výkon, který tepelné čerpadlo poskytne, jako násobek příkonu odebraného tímto čerpadlem. Tepelná čerpadla mohou dosahovat hodnot COP až 4 až 5. Aktuální hodnota COP závisí ale ve značné míře na teplotním spádu mezi vnějším prostředím a vytápěným prostorem. Se snižující se venkovní teplotou ztrácí tepelné čerpadlo schopnost vytopit vnitřní prostor na požadovanou teplotu, proto se, zejména v technologiích budov, doplňují tepelná čerpadla přídatným topením. Hodnota COP tepelného čerpadla závisí ve značné míře i na typu tepelného média. Tepelná media s výbornými tepelnými vlastnostmi však mnohdy nejsou klimaticky neutrální nebo mohou být výbušná, proto je volba tepelného čerpadla pro danou aplikaci vždy určitým kompromisem, v případě rizikových médií je nutno zajistit velmi kvalitní těsnění tepelného okruhu. Větší používání tepelných čerpadel ve vozidlech MHD se intenzivně připravuje s pozitivními dopady zejména pro vozidla napájená z akumulátorů. Do vyčíslení možných úspor energie ve vozidlech MHD byly proto zakalkulovány i přínosy, které by mohlo přinést používání tepelných čerpadel v systémech pomocných spotřeb.

6.4 Vyčíslení potenciálů úspory energií

Energetická i emisní

Pro kvantitativní vyjádření úspor při provozu vozidel MHD byl sestaven modelový případ. V prvním kroku byly sledovány možné úspory elektrických vozidel. V návaznosti na tabulku 6.1 byly uvažovány dva typy elektrických vozidel: silniční elektrické vozidlo (elektrobus/trolejbus/parciální elektrobus) a tramvaj. V těchto srovnávacích výpočtech byly do jedné kategorie „elektrobus“ sloučeny z tabulky 6.1 kategorie „elektrobus“ a „trolejbus“ vzhledem k tomu, že, jak je z tabulky 6.1 patrné, průměrné energetické parametry těchto vozidel jsou velice blízké. Pro výpočty možných úspor byla dále uvažována članková tramvaj s energetickými parametry podle tabulky 6.1. Parametry vozidla „elektrobus“ pro vyčíslení možných energetických úspor byla odvozena z parametrů akumulátorových elektrobusů podle tabulky 6.1.

Při vyčíslování možných úspor energie byly uvažovány úspory zvýšením účinnosti trakčního střídače a trakčního motoru při zvýšení průměrné účinnosti celkem o 3,5 %, bylo uvažováno snížení spotřeby energie při řízení dopravních proudů se zvýšením plynulosti provozu (snížení počtu zastavení z 25 na 20), byly sledovány úspory energie při dosažení šetrnějšího průběhu rychlostní trajektorie vozidla mezi zastaveními prodloužením intervalů jízdy výběhem, dále byly vypočteny energetické úspory při snížení příkonu pomocných spotřeb u elektrobusu o 2 kW a u tramvaje o 5 kW při využití tepelných čerpadel při středním COP = 2 pro vytápění a COP = 1,1 pro klimatizaci. Dále byly vyčísleny úspory energie při současném působení všech úsporných faktorů. Ve všech výpočtech byla uvažována rekuperace, která je již v provozu elektrických vozidel MHD standardem. U elektrobusů bylo uvažováno, že je možno vzhledem k aktuálním podmínkám odrekuperovat 90 % brzděného výkonu, u tramvají 80 % brzděného výkonu (menší možnosti rekuperace vzhledem k trolejovému napájení). Mimo to, pro kvantitativní představu o přínosech rekuperace, byly vyčísleny energetické spotřeby pro případ, kdyby k rekuperaci nedocházelo vůbec.

Výpočty byly prováděny pomocí simulačního modelu, který modeloval jízdu vozidla se zadanými parametry tratě a vozidla. Pro simulační výpočty byla stanovena referenční trať. Parametry projížděné trati byly nastaveny s ohledem na reálné linky MHD v České republice. Na trase dlouhé 10 km je počítáno 25 zastavení. Vozidla se při jejím průjezdu pohybují maximální rychlostí 50 km/h. Na trati se několikrát mění střední sklon. Trať je projížděna v obou směrech, celkově je tedy simulována jízda na 20 km. Převýšení trati je z jedné na druhou konečnou stanici nastaveno na 100 m.

Simulační výpočty mají za cíl ověřit hodnotu energetické náročnosti jednotlivých druhů vozidel. Byl nastaven určitý referenční model jízdy a postupně byly měněny jeho jednotlivé parametry (účinnosti trakčních komponent, pomocné spotřeby, „ostrý“ a hospodárný styl jízdy, poměr rekuperované energie, počet zastavení) vždy při zachování všech ostatních hodnot na základní úrovni. Postupně tak byly vyčísleny energetické přínosy jednotlivých sledovaných veličin při průjezdu tratě oběma směry.

Při jízdě konstantní rychlostí jsou překonávány pouze jízdní odpory. Můžeme tedy napsat:

$$F_T = G (r_v + r_s + r_o) \quad [N],$$

kde F_T vyjadřuje tažnou sílu na obvodu kol [N], G tíhu [kN], r_v jízdní odpor [N/kN], r_s jízdní odpor ze stoupání [N/kN] a r_o jízdní odpor z průjezdu obloukem [N/kN].

Protože tažná síla vychází z adhezních možností v daném místě i s respektováním součinitele využití adheze

$$F_T = G_{adh} \varphi_a \varepsilon \quad [N],$$

můžeme pro jízdu konstantní rychlostí napsat:

$$G_{adh} \varphi_a \varepsilon = G (r_v + r_s + r_o) \quad [N].$$

Kde φ_a je koeficient adheze [N/kN] a ε je součinitel využití adhezní hmotnosti [-], který je uvažován ve výpočtech 1.

Nerovnoměrná rychlost se liší od předchozího případu pouze zanesením dalšího jízdního odporu r_d do všech předchozích rovnic. Můžeme tedy psát:

$$F_T = G (r_v + r_s + r_o + r_d) \quad [N],$$

kde r_d je tzv. dynamický jízdní odpor respektující zrychlení (zpomalení) vozidla a jeho rotujících částí.

Známe-li tažnou sílu vyvíjenou vozidlem a aktuální rychlost, můžeme snadno určit aktuální výkon:

$$P = F_T v \quad \left[W; N, \frac{m}{s} \right]$$

Simulační program je napsaný v prostředí MATLAB a lze jej rozdělit do několika částí:

- zadání vstupních parametrů simulované trati a vozidel
- inicializace proměnných
- vlastní trakční výpočet simulace opakující se s periodou T (nastavena na 100 ms)
- výpis požadovaných veličin

Výsledkem výpočtu jsou především následující veličiny:

- výpis vypočteného jízdního řádu
- výpočet aktuální rychlosti [km/h] v závislosti na poloze na simulované trati [km]

- výpočet výkonu a spotřebované energie na obvodu kol, meziobvodu vozidla a sběrači vozidla, resp. z akumulátoru v závislosti na poloze na simulované trati [km]
- výpočet tažné a brzdné síly pohonu a brzdné síly mechanické brzdy na obvodu kol v závislosti na poloze na simulované trati [km]

Tabulka 6.2 Parametry jízdy s referenčními parametry

Vozidlo	Celková spotřeba	Účinnost motor + měnič	Počet zastavení	Styl jízdy	Pomocné spotřeby
Elektrobus	31 kWh	87 %	25	Bez výběhu	10 kW
Tramvaj	69 kWh	87 %	25	Bez výběhu	22 kW

Tabulka 6.3 Vyčíslení dílčích úspor na modelové trati

Vozidlo	Spotřeba - účinnost 90,5 %	Úspora - účinnost	Spotřeba - 20 zastavení	Úspora - 20 zastavení	Spotřeba - výběhy	Úspora - výběhy	Pomocné spotřeby bus 8 kW, tram 17 kW	Úspora - pomocné spotřeby
Elektrobus	29 kWh	6,5 %	29 kWh	6,5 %	28 kWh	9,5 %	29 kWh	6,5 %
Tramvaj	64 kWh	7 %	64 kWh	7 %	65 kWh	6 %	64 kWh	7 %

Tabulka 6.4 Vyčíslení celkových úspor na modelové trati

Vozidlo	Spotřeba - souhrn opatření	Úspora - souhrn opatření
Elektrobus	23 kWh	26 %
Tramvaj	52 kWh	25 %

Tabulka 6.5 Tabulka průměrných spotřeb vozidel MHD

Vozidlo	Referenční spotřeba	Spotřeba bez rekuperace	Úspora rekuperací
Elektrobus	31 kWh	45 kWh	31 %
Tramvaj	69 kWh	103 kWh	33 %

V tabulce 6.2 jsou uvedena data charakterizující referenční případ elektrického vozidla, vycházející ze současného stavu energetických spotřeb, vůči kterému jsou vztahovány jednotlivé úspory. Výsledky simulačních výpočtů, které mapují průměrné energetické úspory při aplikaci daného úsporného opatření, jsou uvedeny v tabulkách 6.3 a 6.4. Tabulka 6.5 reprezentuje výsledky referenční jízdy po výše popsané referenční trati a prezentuje přínosy rekuperace, tj. srovnání spotřeb vozidel na modelované trati při použití rekuperace a bez rekuperace.

Z výše uvedených tabulek lze formulovat následující závěry:

- Snížení energetické spotřeby cestou zvýšení účinnosti komponent pohonného řetězce (trakčního měniče a motoru) celkem o 3,5 %, což je technicky dosažitelné, cestou snížení počtu zastavení o 20 % vlivem zvýšení plynulosti provozu a preferencí MHD, cestou úspornějšího stylu jízdy (modelováno zařazením dílčích výběhů) a cestou snížení energetických nároků pomocných spotřeb (prostřednictvím použití tepelných čerpadel k udržování tepelné pohody ve vozidle) je ve všech simulovaných dílčích opatřeních srovnatelné a činí 6 až 10 % (počítáno na jeden oběh, tj. při jízdě tam a zpět po modelované trati 2 x 10 km).
- Souhrnné energetické úspory při působení všech opatření současně nejsou pouhým součtem dílčích efektů. Ve vzájemné součinnosti se jednotlivá opatření ovlivňují, například jsou velmi provázané vlivy účinnosti pohonného řetězce, jízdního stylu a účinnosti rekuperace, která je v simulacích standardně uvažována, rovněž je provázán styl jízdy s energií pro pomocné spotřeby – energeticky příznivý styl jízdy zpravidla vede k nižší průměrné rychlosti a prodloužení

jízdnicích dob, čímž roste energie pro pomocné spotřeby na jeden obrát vozidla. Při současném působení úsporných opatření vychází celková úspora energie při jízdě na modelované trase v okolí 25 %, což je již úspora energie podstatná.

- V poslední sérii simulací byla na modelované trati ověřována efektivita rekuperace tím, že byly pro srovnání simulovány jízdy bez rekuperace. Efekty rekuperace byly ověřovány vůči referenčním, výše uvedeným, parametrům vozidel a jízd. Simulace potvrzují zkušenosti z reálného provozu, kde jsou indikovány úspory energie díky rekuperaci 25 až 30 %. V současnosti je rekuperace standardem u vozidel MHD s elektrickým pohonem ať se jedná o vozidla s napájením z troleje nebo z akumulátoru. Efekt rekuperace se zvyšuje u moderních vozidel s vyššími účinnostmi komponent pohonného řetězce, což je však záležitost přispívající k úsporám energie i v jízdnicím režimu, a u vozidel kolejových s nižšími jízdnicími odpory. V rámci vozidel MHD lze v současnosti spatřovat výrazný potenciál ke zvýšení míry rekuperace jen v případě přechodu od autobusů s naftovým pohonem k elektrobusům, trolejbusům a parciálním elektrobusům. V simulačních výpočtech postihujících efekt rekuperace byla u vozidel s trolejovým napájením počítána spotřeba energie na sběrači, u vozidel s akumulátorovým napájením spotřeba energie na svorkách trakční baterie, tj. konečná spotřeba. Z hlediska celkové míry úspor energie je tato strategie výpočtu nepostihující reálné úspory primární energie – snížili-li se spotřeba energie na sběrači nebo svorkách baterie, eliminují se tím i ztráty na napájecí a nabíjecí infrastrukturu pro vozidla v důsledku celkově nižšího odběru energie. Vyčíslení konečné spotřeby bylo použito z toho důvodu, že obecné vyčíslování úspor primární energie se zahrnutím vlivu infrastruktury by vneslo do výpočtů výraznější nejistoty vzhledem k velké rozmanitosti tras a konverzí napájecí energie a jejich časové proměnnosti. Rekuperace vozidel MHD není analogií kogenerace z technického hlediska. Před koncem roku 2020 bylo rozhodnuto o prominutí poplatku za POZE pro železniční dopravce, mj. i z toho důvodu, že vozidla rekuperovaná energie (předání potenciální a kinetické energie vozidel pro další využití) lze částečně vnímat jako dodávku energie z OZE. O obdobné prominutí poplatku za POZE usilují i městské dopravní podniky. Z hlediska úspory primární energie rekuperací má ve srovnání s městskými dopravními podniky do budoucna velké rezervy železniční doprava a to cestou obnovy parku hnacích vozidel (dodávky moderních vozidel s možností rekuperace), cestou konverze napájecího systému na 25 kV 50 Hz s využitím měničových napájecích stanic (dosažení souvislého trakčního napájení a symetrické rekuperace do energetické sítě) a eliminací nárůstu objemu provozu naftových vozidel na elektrifikovaných tratích (nynější nárůst objemu provozu diesellových vozidel na elektrifikovaných tratích je dán zejména formulacemi objednávek veřejné dopravy ze strany krajských úřadů). Výsledné efekty rekuperace jsou závislé na řadě faktorů, především na okamžité dopravní situaci u vozidel napájených z troleje, na četnosti zastavení, na rychlostech, ze kterých se zastavuje, na účinnostech pohonného řetězce a jízdnicích odporech a ve značné míře na výškové členitosti tratě. Na modelované trati je převýšení 100 m, proto se efekt rekuperace projevuje poměrně výrazně a úspora energie s rekuperací se pohybuje v okolí 30 %. U tramvaje je podle výsledků simulací efekt rekuperace poněkud vyšší, což je dáno nižšími jízdnicími odpory tramvaje – s klesajícími jízdnicími odpory a rostoucí účinností komponent pohonného řetězce se efekt rekuperace rychle zvyšuje.

Vyčíslení průměrných energetických parametrů stávajících vozidel MHD v tabulce 6.1 a možných energetických úspor v provozu elektrických vozidel MHD v tabulkách 6.3 a 6.4 dává předpoklady k vyčíslení možných energetických úspor v modelovém provozu MHD. Energetické úspory lze zajistit ve dvou rovinách:

1. Energetické úspory dané přechodem od vozidel se spalovacími motory na vozidla elektrická

2. Energetické úspory v provozu elektrických vozidel v návaznosti na tabulky 6.3 a 6.4 – zde se jedná o vyčíslování konečné spotřebované energie vozidlem, ve výpočtech byly uvažovány spotřeby na sběrači vozidla nebo na svorkách trakční baterie. Ve výpočtech nebyly uvažovány další úspory energie vzniklé snížením konečné spotřeby energie, jedná se o úspory při výrobě, přenosu a konverzi napájecí a nabíjecí energie. Uvažování energetických poměrů na napájecí a nabíjecí infrastruktuře by do výsledků vneslo výrazné nejistoty dané velkou rozmanitostí a časovou proměnností tras napájecí energie.

V rámci nástupu elektromobility a čistých technologií v dopravě by MHD měla být jedním z prvních segmentů, kde dojde k náhradě vozidel se spalovacími motory vozidly lokálně bezemisními, elektrickými vozidly. V nejvyšší míře půjde o náhradu autobusů se spalovacími motory dopravou trolejbusovou, elektrobusey a parciálními elektrobusey. Struktura náhrady autobusů MHD bude v zásadní míře dána konkrétními podmínkami daného dopravního podniku, tj. zejména stavem a plány rozvoje trolejbusové sítě, velikostí přepravních proudů, v některých případech i dostavbou sítě tramvajových drah nebo metra. Mnohé dopravní podniky již pro tento přechod připravují konkrétní kroky. Potřeba postupného ukončování provozu autobusů se spalovacími motory v MHD má více důvodů, zejména lze jmenovat tyto:

- Ze statistik dopravních podniků vyplývá, že novější autobusy vyrobené po roce 2017, jejichž motory splňují požadavky standardu EURO VI, vykazují až o 20 % nižší spotřebu oproti autobusům vyrobeným před delší dobou. Technických příčin tohoto snížení spotřeby je více – jedná se o zlepšování konstrukce vozidel se zmenšením jízdních odporů, optimalizaci pomocných spotřeb, velký vliv na snížení spotřeby má zavádění standardů EURO (od roku 2021 EURO VI) zaměřených na snížení emisí NO_x. Vazba standardů EURO na snižování spotřeby je specifická a souvisí s odlišností pracovních bodů spalovacích motorů s minimem spotřeby a minimem emisí. Nástup standardů zaměřených na snižování emisí NO_x motivuje výrobce k používání selektivní katalytické redukce (SCR) NO_x s velmi efektivním zachycováním škodlivin ve výfukových plynech. To umožňuje seřizování spalovacích motorů na minimální měrnou spotřebu paliva, nikoli na minimální emise. Zvýšené emise škodlivin jsou poté zachyceny díky účinné SCR. Z hlediska emisí korespondují přibližně lineárně se spotřebovanou energií emise CO₂. Současná legislativa pro automotive řeší limity emisí CO₂ (tedy potažmo i spotřebu energie v tepelných strojích) pouze u osobních a dodávkových vozů, tedy nikoli u autobusů, a to především z hlediska klimatických efektů. Legislativa zaměřená na snižování emisí CO₂ představuje zásadní motivaci sektoru automotive z hlediska technologického rozvoje v oblasti hnacích jednotek i konstrukce automobilů. V roce 2019 bylo vydáno Nařízení Evropského parlamentu a rady 2019/1242, kterým se stanoví výkonnostní normy pro emise CO₂ v g/tkm pro nová těžká vozidla, prozatím pro nákladní vozidla, předpokládá se, že od roku 2022 i pro autobusy, neboť těžká vozidla generují přibližně 25 % emisí CO₂ v silniční dopravě. Nařízení pro těžká vozidla stanovuje nastavení limitování emisí CO₂, potažmo tedy i spotřeby energie v tepelných strojích těchto vozidel, v letech 2025 a 2030. V technice autobusových pohonů a vozidel lze tedy, obdobně jako nyní v případě osobních automobilů, očekávat, že limitujícím motivem pro výrobce pro konstrukci a energetické a emisní ukazatele vozidel budou legislativní dokumenty vycházející z uvedeného nařízení 2019/1242. V současnosti identifikované snížení spotřeby energie autobusů MHD má určitou výše popsanou vazbu na standard EURO, není zde ale v současnosti vazba na dokument zpracovávající problematiku emisí CO₂. Z výše uvedeného popisu ale vyplývá, že tato situace je dočasná a do budoucna bude i u autobusů snižování emisí CO₂ a návazně i spotřeby energie v tepelných strojích dáno převážně z důvodu požadavků odpovídající legislativy. Přesto je z hlediska energetického současné technické řešení vznětových motorů na hranici fyzikálních možností a dosahování účinnosti vznětových motorů v okolí 40 % je dosaženo jen za cenu zesložení celého systému. I když jsou ve světě

činěny některé aktivity vedoucí k novým konstrukcím tepelných strojů, spalujících současně naftu i benzín, a to při nižší teplotě a dosahované účinnosti kolem 50 % v laboratorních podmínkách a za cenu velké složitosti systému, je zřejmé, že vzhledem k rozvoji technologií elektromobility založené na využívání elektrické energie z energetického mixu, fyzikální hranice rozvoje techniky tepelných strojů budou tyto hnací jednotky stále více znevýhodňovat. Kromě malé energetické efektivity mají spalovací motory i podstatně méně příznivé trakční vlastnosti oproti elektrickým pohonům, elektrické pohony umožňují zcela eliminovat potřebu složité řaditelné převodovky.

- Pohony vozidel spalovacími motory neumožňují rekuperaci.
- Vzhledem k horším trakčním vlastnostem, hluku a vibracím zhoršuje použití spalovacího motoru jízdní komfort.
- I přes významné omezení emisí u motorů splňujících standard EURO VI se stále jedná o hnací jednotku s lokálními emisemi, v případě vozidel MHD dochází ke znečištění ovzduší ve městech, kde je největší koncentrace obyvatel.
- Vozidla se spalovacími motory vykazují vyšší zatížení okolí hlukem.
- Oproti vozidlům elektrickým jsou u vozidel se spalovacími motory vyšší nároky na údržbu pohonného řetězce.

Pro vyčíslení možných energetických úspor v rámci této studie byl stanoven modelový případ provozu MHD a byly pro tento případ vyčísleny úspory energie získané převodem dopravních výkonů z autobusů se spalovacími motory na vozidla elektrická a dále u elektrických vozidel byly vyčísleny úspory dané uplatněním výše uvedených úsporných opatření. Model provozu MHD, na kterém byly úspory vyčísleny, je charakterizován takto:

- Ve výchozím stavu se předpokládá se provoz 20 článkových tramvají, 30 trolejbusů a 40 autobusů se spalovacím motorem.
- Dopravní výkony autobusů se spalovacími motory jsou převedeny na elektrická nekolejová vozidla – trolejbusy, elektrobusey, parciální elektrobusey, tj. jedná se o dopravní výkony 40 autobusů.
- Denní provoz je přepočítán na 10 hodin provozu výše uvedeného počtu vozidel.
- V modelovém případě je uvažována totožná trasa všech vozidel podle popisu trasy výše, tedy 25 (resp. 20) zastavení v jednom směru, převýšení v jednom směru je 100 m, délka jednoho obratu, tj. projetí jedné trasy tam a zpátky, je $2 \times 10 = 20$ km, průměrná rychlost na trase je 20 km/h.
- Je počítáno, že za přepočtenou dobu 10 hodin absolvuje vozidlo 8 obrátů.

V prvním kroku je pro uvedený případ určena celková energetická spotřeba vozidel za jeden modelový den, přičemž se vychází z energetických dat uvedených v tabulkách 6.1, 6.2, 6.3 a 6.4. Výsledky těchto výpočtů jsou uvedeny v tabulce 6.6.

Tabulka 6.6 Spotřeba energie všemi vozidly MHD za jeden den v modelovaném provozu

Vozidlo	Spotřeba/obrat/vozidlo	Spotřeba/8 obrátů/počet vozidel
Tramvaj	69 kWh	11 040 kWh
Autobus (sp.motor)	100 kWh	32 000 kWh
Trolejbus	33 kWh	7 920 kWh
Celkem		50 960 kWh

V tabulce 6.7 je vyčíslena celková spotřeba energie v modelovém provozu, kdy by byly všechny autobusy se spalovacími motory nahrazeny elektrobusey.

Tabulka 6.7 Spotřeba a úspora energie při převedení autobusové dopravy na dopravu elektrobusey

Vozidlo	Spotřeba/obrat/vozidlo	Spotřeba/8 obrátů/počet vozidel	Spotřeba/8 obrátů/počet vozidel
Tramvaj	69 kWh	11 040 kWh	0
Elektrobus	31 kWh	9 920 kWh	22 080 kWh/69 %
Trolejbus	33 kWh	7 920 kWh	0
Celkem		28 880 kWh	22 080 kWh/43 %

Z tabulky 6.7 je zřejmé, že při převedení dopravy autobusy se spalovacími motory na dopravu elektrobusey je úspora energie značná, což je počítáno za předpokladu, že je kalkulována energie uvolněná ve vozidle, tj. mechanická a tepelná energie ze spalovacího motoru, resp. elektrická energie odebraná z troleje, resp. elektrická energie odebraná z akumulátoru. Toto pojetí srovnání spotřeb vychází z poměrně dobře vyčíslitelných hodnot energie uvolněné ve vozidle a z kompetencí, kterými disponují městské dopravní podniky z hlediska ovlivnění spotřeby energie v rámci jejich provozu. V případě vozidla se spalovacím motorem se jedná o primární spotřebu energie, nejsou-li započítány nároky na energii při těžbě, zpracování a distribuci paliva. V případě elektrických vozidel se jedná o hodnotu bližší konečné spotřebě, i díky výrazně vyšší účinnosti pohonného řetězce vůči vozidlu se spalovacím motorem, neboť odpovídající vyčíslení reálné primární energie u elektrických vozidel naráží na problémy energetického mixu, velkou variabilitu případů dodávky napájecí a nabíjecí energie a velkou časovou proměnnost těchto podmínek a míra ovlivnění hodnot primární energie při provozu vozidel elektrické trakce je ze strany dopravních podniků výrazně limitovaná. Obecně je jednotné porovnání energetické spotřeby naftových a elektrických vozidel z hlediska kategorií primární a konečné energie z výše uvedených důvodů problematické, a proto bylo zavedeno srovnání na úrovni energie uvolněné ve vozidle. I bez ohledu na energetickou spotřebu, je však nahrazování vozidel se spalovacími motory vozidly elektrickými v MHD nevyhnutelné z dalších důvodů – lokální bezemisnost, rekuperace, tichý provoz, vyšší jízdní komfort, nižší náklady na provoz a údržbu, lepší trakční vlastnosti, nižší spotřeba maziv. V následující tabulce 6.8 je přepočítáno, jak velká energie by se v modelovém provozu dopravního podniku ušetřila za den v případě vozového parku tvořeného elektrickými vozidly (20x tramvaj, 70x nekolejové elektrické vozidlo – trolejbus, elektrobus, parciální elektrobus) při uplatnění výše uvedených úsporných opatření (zvýšení účinnosti pohonného řetězce, snížení počtu zastavení, zavedením úspornějšího stylu jízdy, snížením příkonu pomocných spotřeb). Tabulka 6.8 vychází přímo z tabulek 6.2 a 6.4. Celková bilance úspor energie v % za jeden den v modelovaném provozu koresponduje s úsporami na jednotlivých vozidlech.

Tabulka 6.8 Spotřeba a úspora energie při zavedení úsporných opatření u elektrických vozidel za jeden den v modelovaném provozu

Vozidlo	Spotřeba/obrat/vozidlo	Spotřeba/obrat/vozidlo po úsporách	Spotřeba/8 obrátů/počet vozidel	Spotřeba/8 obrátů/počet vozidel po úsporách	Úspora
Tramvaj	69 kWh	52 kWh	11 040 kWh	8 320 kWh	2 720 kWh/25 %
Elektrobus (trolejbus)	31 kWh	23 kWh	17 360 kWh	12 880 kWh	4 480 kWh/26 %
Celkem			28 400 kWh	21 200 kWh	7 200 kWh/25 %

V tabulce 6.9 je uveden celkový přehled úspor za jeden den v modelovém provozu srovná-li se celková spotřeba ve výchozím stavu s autobusy se spalovacími motory se spotřebou s provozem výhradně

elektrických vozidel s uplatněním výše uvedených úsporných opatření. Data v tabulce 6.9 vycházejí z dat uvedených v tabulkách 6.6 a 6.8.

Tabulka 6.9 Vyčíslení celkových úspor energie za jeden den modelového provozu při náhradě autobusů se spalovacími motory elektrickými nekolejovými vozidly a zavedení úsporných energetických opatření

Spotřeba - výchozí stav	Spotřeba – převod na el. provoz + úsporná opatření	Úspora absolutní	Úspora relativní
50 960 kWh	21 200 kWh	29 760 kWh	58 %

Z tabulce 6.9 je zřejmá výrazná energetická úspora za jeden den modelového provozu. Číselná hodnota úspory je dána metodikou, kdy se započítává celková energie uvolněná na vozidle, tj. i ztrátová tepelná energie spalovacích motorů autobusů. Eliminace velkého objemu ztrátové energie spalovacího motoru je hlavní příčinou výrazných úspor energie při nasazení elektrických vozidel, jejichž pohonné řetězce pracují s výrazně vyšší účinností (přibližně dvojnásobnou) a významně menšími objemy tepelných ztrát.

6.5 Celkové možné úspory energie v MHD v ČR

Z analýzy spotřeby energie a vyčíslení potenciálních úspor při jejich uplatnění v provozu vozidel MHD, které jsou uvedeny v předchozí podkapitole, vyplývá, že při zavedení navržených úsporných opatření lze u trolejbusů a elektrobusů dosáhnout úspory 26 % ze stávající spotřeby energie, u tramvají je to 25 %. Při celkové náhradě všech stávajících autobusů elektrobusy by úspora energie mohla činit až 69 % z celkové spotřeby energie autobusové dopravy v MHD. Potenciální celkové možné roční úspory energie v MHD v celé ČR jsou vyčísleny v následující tabulce 6.10.

Tabulka 6.10 Celkové možné roční úspory energie v MHD v ČR

Vozidlo	Celkový počet vozokilometrů v ČR (tis.km)	Spotřeba (kWh/km)	Celková spotřeba (kWh)	Úspora (kWh)	Úspora (%)
Tramvaj	79 396	3,5	277 886 000	69 471 500	25 %
Trolejbus	31 292	1,6	50 067 200	13 017 472	26 %
Autobus	145 908	5,0	729 540 000	503 382 600	69 %*
Elektrobus	1 788	1,5	2 682 000	697 320	26 %
Celkem	258 384		1 060 175 200	586 568 892	55 %

* úspora energie při náhradě všech autobusů MHD elektrobusy

Celkový potenciál možné úspory energie ve všech prostředcích MHD v celé ČR, včetně zahrnutí náhrady všech autobusů elektrobusy, dosahuje 586 568 MWh za rok, což představuje 55 % stávající celkové roční spotřeby energie prostředků MHD v ČR. Jedná se o technický potenciál. Přitom převážnou většinu úspor by bylo možné dosáhnout náhradou autobusů se spalovacími motory elektrobusy a jejich efektivním provozem.

7 Závěr

Publikace shrnuje hlavní aspekty energetické náročnosti městské hromadné dopravy a vyčísluje potenciální možnosti úspor energií v závislosti na druhu vozidel, způsobu jejich provozu a organizace MHD ve městech České republiky.

Na území České republiky prošla městská hromadná doprava za více jak jedno a půl století složitým vývojem, který prokázal význam a efektivitu provozu vozidel elektrické trakce – metra, tramvají a trolejbusů. V současné době je v ČR provozováno 7 tramvajových a 14 trolejbusových provozů, v hlavním městě je od roku 1974 v provozu metro.

Mezi prostředky MHD má výsadní postavení metro, které svou přepravní kapacitou, rychlostí přepravy, energetickou a ekologickou efektivností vede pomyslný žebříček efektivity prostředků MHD. Nevýhodou je investiční náročnost výstavby podzemní dráhy. V podmínkách ČR je třeba uvést, že v Praze se intenzivně připravuje výstavba trasy D metra, v Brně se s výstavbou metra nepočítá. Místo toho se předpokládá výstavba tzv. Severojižního kolejového diametru, který by propojil železniční síť přes centrum města a převzal stávající velmi vytíženou přepravní kapacitu tramvajové dopravy v severojižním koridoru.

Velmi významným prostředkem elektrické trakce je tramvajová doprava, jejíž největší rozkvět byl zaznamenán v období mezi oběma válkami. V poválečném období došlo bohužel k jejímu útlumu, kterému v 60. letech napomohlo vládní usnesení podporujícím rozvoj autobusové dopravy v návaznosti na uplatnění ropy dovážené z Ruska. Jedním z argumentů pro rozvoj autobusové MHD byla operativnost a nezávislost autobusové dopravy na trakční infrastruktuře, jejíž výstavba a údržba byla investičně a časově náročná. V poválečném období byly na území České republiky zrušeny tramvajové provozy v 8 městech. Některé z nich byly nahrazeny trolejbusovými linkami, především v exponovaných přepravních koridorech. Tato etapa rušení elektrické trakce ve městech byla zakončena v roce 1972 zrušením trolejbusové dopravy v Praze.

Od 90. let minulého století je vývoj MHD ovlivněn ekologickými a energeticky efektivními směry prosazovanými v dopravní politice ČR i EU. Politika EU týkající se dopravy je shrnuta v tzv. Bílé knize z roku 2011, která je rozpracována v dokumentech: Balíček pro městskou mobilitu (2013), Čisté zdroje energie pro dopravu: Evropská strategie pro nízkoemisní mobilitu (2016), Udržitelná městská mobilita (2017), Městská mobilita v EU (2020). Tyto dokumenty se uplatňují a spoluvytváří českou dopravní politiku, která podle Státní energetické koncepce (2015) v oblasti dopravy prosazuje snížení dopadů na životní prostředí v souvislosti s tímto odvětvím, a to snížením konečné spotřeby ropných paliv mezi roky 2015 a 2030 z 59 TWh/rok na 50 TWh/rok a zároveň zvýšení využití elektrické energie z 2,4 TWh/rok na 4,3 TWh/rok.

Vozový park dopravních podniků je velmi rozmanitý. Skládá se z různých modifikací jednotlivých typů vozidel a také se projevuje snaha dopravních podniků o pořizování nových moderních nízkopodlažních a ekologických vozidel. V trolejbusové dopravě se začínají uplatňovat parciální trolejbusy, které v dílčích úsecích trati nepotřebují trakční vedení. V autobusové dopravě se začínají uplatňovat elektrobusesy.

Jedním z nástrojů pro vytváření systému udržitelné městské dopravy je vypracování strategických udržitelných plánů městské mobility, které by měly mít zpracovány a pravidelně aktualizovány města nad 40 tisíc obyvatel. Ambicióznost těchto cílů a jejich realizování je odlišné město od města. V publikaci se uvádí hlavní aspekty ze strategických plánů rozvoje 7 největších dopravních podniků v ČR.

Z porovnání spotřeby energie jednotlivých typů MHD vyplývá, že nejefektivnější je metro a elektrobusesy a dále ostatní trakční vozidla – tramvaje a trolejbusy. V dnešní době nelze pochybovat, že tramvajová a trolejbusová doprava vzhledem ke své ekologičnosti a přepravní kapacitě má stále a nezastupitelné

místo v městské hromadné dopravě. Autobusy na CNG sice vykazují větší měrnou spotřebu energie na místokilometr než klasické autobusy na naftu, nicméně ekonomická a ekologická kritéria je upřednostňují před autobusy s diesellovými motory.

I v rámci ČR existuje extrémní rozptyl podmínek v provozování MHD v jednotlivých městech i na jednotlivých linkách. Analýzy možných energetických úspor v MHD byly provedeny na simulačním modelu, který byl sestaven na základě nejběžněji používaných typů vozidel, zprůměrované hodnoty jejich spotřeb a na společné typové trati jejich provozu. Byly uvažovány kategorie silničních vozidel ve standardním provedení (krátké vozy 12 m). Tramvaje ve výpočtech zastupovala tříčlávková tramvaj o délce 30 m.

Z hlediska extramodálních úspor v energetické bilanci elektrického provozu v MHD, lze snížit ztráty na trakčním vedení různými způsoby:

- Snížení odporu vedení – volbou materiálu nebo průřezu trolejového drátu (potenciál úspory 0,5 %).
- Zkrácení napájených úseků, tj. zvětšení hustoty napájecích bodů trakčního vedení (potenciál úspory 0,5 %).
- Vhodná kombinace linek s trolejovým napájením a linek s akumulátorovými vozidly (možná úspora 1,5 až 3 %).
- Zvýšení jmenovitého napětí trakční sítě a přenos výkonu trakčním vedením s nižším proudem a nižšími ztrátami – Konverze trakční sítě ze 600 V na 750 V u stávajících provozů (potenciál úspory 1 až 2 %).

Z pohledu energetických intramodálních úspor při vlastním provozu vozidel lze cesty ke zvýšení energetické hospodárnosti rozdělit do čtyř hlavních skupin:

- Dílčí změny v organizaci dopravy, linkovém vedení a v rámci tvorby jízdních řádů, změny ve struktuře nasazovaných trakcí vozidel na linky MHD (možná úspora 6 až 10 %).
- „Chytré řízení“ – optimalizace řízení provozu vozidel v rámci celkového řízení dopravních proudů v městské mobilitě a optimalizace řízení jízdních trajektorií samotného vozidla (možná úspora 5 až 10 %).
- Úspory v trakčním řetězci cestou uplatnění nových pohonných technologií v konstrukci vozidel MHD (potenciál úspory 3 až 5 %).
- Úspory v pomocných spotřebách ve vozidle – uplatnění tepelných čerpadel pro vytápění a klimatizaci dopravních prostředků (možná úspora 5 až 10 %).

Souhrnné energetické úspory při působení všech opatření současně nejsou pouhým součtem dílčích efektů, ale vzájemně se jednotlivá opatření ovlivňují. Jejich zavedením je možné dosáhnout úspory energie až 25 %. Další možností pro efektivní využití energie při provozu elektrické trakce je hospodárné využití rekuperované energie.

Celkový potenciál možné úspory energie ve všech prostředcích MHD v celé ČR, včetně zahrnutí náhrady všech autobusů elektrobusem, dosahuje 586 568 MWh za rok, což představuje více než polovinu (55 %) stávající celkové roční spotřeby energie (1 060 175 MWh) všech prostředků MHD v ČR.

Seznam zkratek

AC	Střídavý proud
CEF	Connecting Europe Facility
CNG	Compressed Natural Gas
CO ₂	Oxid uhličitý
ČD	České dráhy
ČR	Česká republika
DB	Deutsche Bahn
DC	Stejnoseměrný proud
ETCS	European Train Control System
EU	Evropská unie
IODA	Informace pro dopravní analýzy
kWh/netto tkm	Spotřeba energie na jednotku přepravní práce na km
kWh/oskm	Spotřeba energie na jednotku přepravní práce na občana
LNG	Liquefied natural gas
MHD	Městská hromadná doprava
NO _x	Oxidy dusíku
NPSE	Národní program snižování emisí ČR
NVPEK	Návrh vnitrostátního plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu
oskm	Přepravní výkon
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PAH	Polyaromatické uhlovodíky
PM	Pevné částice
RFCs	Rail Freight Corridors
SEK	Státní energetická koncepce
TEN-T	Trans-European Transport Networks
Tkm	Dopravní výkon
TSI ENE	Technical Specifications for Interoperability
ŽSR	Železnice slovenské republiky

Zdroje informací

BAUER, Gerhard. *Tramvaje v České a Slovenské republice*. Verlag für Verkehrsliteratur Dr. Bauer, Dresden, 1998 SRN. 293 s. ISBN 3-9804303-2-4

Databáze strategií. Plán udržitelné městské mobility města Brna (2017). Dostupné z: <https://www.databaze-strategie.cz/cz/brno/strategie/plan-udzitelne-mestske-mobility-mesta-brna-2017?typ=odpovednost>

Databáze strategií. Vize a strategie Brno 2050 (2017). Dostupné z: <https://www.databaze-strategie.cz/cz/brno/strategie/vize-a-strategie-brno-2050?typ=odpovednost>

DPMB (nedatováno). Strategie DPMB, a. s., na období 2016–2020. Dostupné z: <https://www.dpmb.cz/cs/firma-strategie>

DPP (nedatováno). Lepší doprava v Praze. Dostupné z: <http://strategieprojekty.dpp.cz/vozy>

Eur-lex (2011). Plán jednotného evropského dopravního prostoru: vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/LSU/?uri=CELEX:52011DC0144>

Eur-lex (nedatováno). Doprava. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/transport.html?root_default=SUM_1_CODED%3D32&locale=cs

Eur-lex (nedatováno). Snížení emisí CO₂ u nových osobních automobilů a nových lehkých užitkových vozidel. Dostupné: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=legisum:4396542>

European Commission (nedatováno). Mobility and Transport. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/home_en

European Commission (nedatováno). Urban Mobility Package. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/themes/clean-transport-urban-transport/urban-mobility/urban-mobility-package_en

Euroskop (2020). Dopravní podniky měst ČR žádají s evropskými městy o podporu EU. Dostupné z: <https://www.euroskop.cz/8958/35059/clanek/dopravni-podniky-mest-cr-zadaji-s-evropskymi-mesty-o-podporu-eu/>

fajnOVA (2017). Strategický plán rozvoje statutárního města Ostravy 2017-2023. Dostupné z: <http://fajnova.cz/wp-content/uploads/2017/03/Strategicky-plan-Ostrava.pdf>

Grohlich, D., Kunith, A., Ly, T. A.: Technology assessment of an electric urban bus system for Berlin, WIT PRESS, eLibrary volume 138, 2104, paper DOI: 10.2495/UT140121

Haddad, A. R., Basma, H., Mansour, Ch.: Analysis of heat pump performance in battery electric busses, Proceedings of Ecos 2009 – The 32ND international conference on energy, cost optimization simulation and environmental impact of energy systems, 2019, Wrocław, Poland

Hybrid (2020). Praha: až polovina autobusů na elektrický pohon do roku 2030. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/praha-az-polovina-autobusu-na-elektricky-pohon-do-roku-2030>

KRUPÍČKA, Petr. *Rekuperace v tramvajových vozech*. Plzeň, 2014. Bakalářská práce. Západočeské univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická. Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27560/1/BP_Krupicka.pdf

Lajunen, A.: Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses, Transportation Research Part C, volume 38, 2014, pp. 1 – 15, ISSN 0968-090X

MÁCAL, Filip. *Aspekty provozu vozidel MHD s pohonem CNG a možnosti dalšího rozvoje ekologické MHD v Dopravním podniku města Pardubice a.s.* Pardubice, 2014. Diplomová práce. Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra dopravních prostředků a diagnostiky. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/58914/MacalF_aspekty%20provozu_PJ_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Město Litvínov a Most (nedatováno). Plán udržitelné městské mobility měst Mostu a Litvínova. Dostupné z: https://www.mulitvinov.cz/assets/File.ashx?id_org=8604&id_dokumenty=459181

Město Most (nedatováno). Plán udržitelné městské mobility. Dostupné z: <https://www.mesto-most.cz/plan-udrzitelne-mestske-mobility/ds-4940>

MPO (2020). Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>

MZP (2019). Aktualizace národního programu snižování emisí České republiky. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategicke_dokumenty/\\$FILE/000-Aktualizace_NPSE_2019-final-20200217.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategicke_dokumenty/$FILE/000-Aktualizace_NPSE_2019-final-20200217.pdf)

MZP (nedatováno). Doprava. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/doprava>

PMDP (2014). Plán udržitelné mobility města Plzně. Dostupné z: <https://www.pmdp.cz/o-nas/aktualne/doc/plan-udrzitelne-mobility-mesta-plzne-1482/newsitem.htm>

PMDP (nedatováno). Projekty s dotační podporou. Dostupné z: <https://www.pmdp.cz/o-nas/projekty-s-dotacni-podporou/>

PUMP (2019). Plzeň má Plán mobility do roku 2025. Plánovaná opatření zlepší pohyb městem. Dostupné z: <https://www.mobilita-plzen.cz/>

Qi, Z.: Advances of air conditioning and heat pump system in electric vehicles, Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 38, 2014, pp. 754 – 764, ISSN 1364-0321

Statutární město Olomouc (2017). Strategický plán rozvoje města Olomouce. Dostupné z: https://www.olomouc.eu/administrace/repository/gallery/articles/21_/21874/09-navrhova-cast.cs.pdf

Útvar koncepce a rozvoje Plzeň (nedatováno). Doprava. Dostupné z: <https://ukr.plzen.eu/doprava-a-technicka-infrastruktura/doprava/>

Zdroje k tabulkám:

DPO. Výroční zprávy. Dostupné z: <https://www.dpo.cz/o-spolecnosti/vyrocni-zpravy.html>

DPP. Výroční zprávy. Dostupné z: <https://www.dpp.cz/spolecnost/o-spolecnosti/vyrocni-zpravy>

DPMB. Výroční zprávy. Dostupné z: <https://www.dpmb.cz/cs/firma-vyrocni-zpravy>

DPMO. Výroční zprávy. Dostupné z: <https://www.dpmo.cz/dpmo/vyrocni-zpravy/>

DSZO. Výroční zprávy. Dostupné z: <https://www.dszo.cz/povinne-zverejnovane-informace/>

DPMOST. Výroční zprávy. Dostupné z: <http://www.dpmost.cz/vyrocni-zpravy>

DPMHK. Výroční zprávy. Dostupné z:

https://www.dpmhk.cz/180/Struktura_vozidel_MHD_k_31_12_2018/

DPMJ. Dostupné z:

http://www.dpmj.cz/www/mambo/index.php?option=com_content&task=view&id=254&Itemid=65

DPMLJ. Výroční zprávy. Dostupné z: <http://www.dpmlj.cz/dpmlj/o-spolecnosti/vyrocni-zpravy>

DPMUL. Výroční zprávy. Dostupné z: <https://www.dpmul.cz/index.php?art=35>

PMDP. Výroční zprávy. Dostupné z: <https://www.pmdp.cz/o-nas/povinne-udaje/vyrocni-zpravy/>

MDPO. Výroční zprávy. Dostupné z: <http://www.mdpo.cz/povinne-zverejnovane-informace>

SYDOS. Ročenka dopravy. Dostupné z:

https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2018.pdf



www.egubrno.cz