

VÝVOJOVÉ TRENDY V OBLASTI REGIONÁLNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZIDEL

DEVELOPMENT TRENDS IN REGIONAL RAILWAY VEHICLES

Radek ŠINDEL¹

Abstrakt

Stimulace přepravní poptávky kvalitou přepravní nabídky, enviromentální šetrností a ekonomickou efektivností regionální osobní železniční dopravy. Vysoká cestovní rychlost jako ukazatel kvality regionální dopravy i jako nutná podmínka pro jízdu regionálních vlaků v souběhu s dálkovými vlaky osobní přepravy i s rychlými nákladními vlaky na dopravně silně vytížených železničních hlavních tratích. Trakční a brzdné parametry EMU jako nástroj ke zvyšování cestovní rychlosti. Energetická náročnost jízdy regionálních vlaků a nástroje k jejímu snižování. Management snižování měrné hmotnosti vozidel pro osobní regionální dopravu.

Klíčová slova

regionální vlaky, efektivita, rychlost, pohodlí

Abstract

Stimulation of transport demand by quality of transport supply, environmental aspects and economic efficiency of regional passenger railway transport. High cruising speed as an indicator of the quality of regional transport and as a necessary condition for the running of regional trains in parallel with long-distance passenger trains as well as fast freight trains on heavily used railway main lines. Traction and braking parameters of EMU as a tool to increase cruising speed. Energy management of regional trains. Management of reducing the specific weight of vehicles for regional passenger transport.

Keywords

regional trains, efficiency, speed, comfort

1 ÚVOD

Mobilita a doprava se týká nás všech. Mobilita umožňuje náš hospodářský a společenský život, od každodenního dojíždění do práce přes návštěvy rodiny a přátel a cestování až po řádné fungování globálních řetězců zajišťujících dodávky zboží do našich obchodů a dodávky pro naši průmyslovou výrobu.

I když mobilita přináší svým uživatelům mnoho výhod, není to bez nepříznivých dopadů na naši společnost. Patří mezi ně emise skleníkových plynů, hluk, znečištění ovzduší a vody, ale také dopravní nehody, kongesce a úbytek biologické rozmanitosti, což vše ovlivňuje naše zdraví a pohodu. Emise skleníkových plynů v odvětví dopravy se postupem času zvýšily a nyní představují až čtvrtinu celkových emisí EU. Zdaleka nejzávažnějším úkolem, který stojí před odvětvím dopravy, je výrazně snížit emise a dosáhnout vyšší udržitelnosti. Tato transformace zároveň nabízí velké příležitosti pro lepší kvalitu života a evropskému průmyslu napříč hodnotovými řetězci přináší

¹ Ing. Radek Šindel, Siemens, s.r.o., Divize Mobility, 24. října 150, 702 00 Ostrava. Tel.: +420 733 622 935, e-mail: radek.sindel@siemens.com

příležitost modernizovat se, vytvářet vysoce kvalitní pracovní místa, vyvíjet nové produkty a služby, posilovat konkurenceschopnost a usilovat o globální vedoucí postavení, neboť ostatní trhy rychle směřují k mobilitě s nulovými emisemi. Vzhledem k vysokému podílu dopravy na celkových emisích skleníkových plynů bude možné cíle EU, pokud jde o snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030 alespoň o 55 % a dosažení klimatické neutrality do roku 2050, splnit pouze bezodkladným zavedením ambicióznějších politik za účelem snížení závislosti dopravy na fosilních palivech a v součinnosti s úsilím o nulové znečištění.

Je zásadní, aby mobilita byla dosažitelná a finančně dostupná pro všechny, aby venkovské a odlehlejší regiony byly lépe propojené a přístupné. Podpora regionů souvisí také s cenami bydlení. Ty se zejména v Praze dostaly v posledních letech na rekordní úroveň a bydlení se i pro střední třídu stává nedostupným. Počet obyvatel ČR sice stoupá, ale velice pozvolna. Za posledních 20 let stoupl počet obyvatel ČR zhruba o 400 000 osob, tj. o necelé 4 %. Ceny bydlení ovlivňuje mnoho faktorů. Tím hlavním je stěhování lidí z venkovských oblastí do Prahy zejména za prací, které enormně zvyšuje ceny bydlení v hlavním městě a jeho okolí. Výstavba nových bytů řeší spíše důsledek než příčinu problémů. Pokud chceme vysoké ceny bydlení v Praze a dalších velkých městech opravdu dlouhodobě vyřešit, je potřeba zajistit dostatek pracovních příležitostí i v odlehlejších regionech, aby mohli lidé bydlet ve svém rodišti a nemuseli se za prací stěhovat do města či do centra státu. Z pohledu mobility jde především o to zajistit rychlou, ekologickou a levnou dopravu ze všech částí regionu do krajského města. Dobře přístupné krajské centrum je pak mnohem atraktivnější pro zaměstnavatele, kteří zde snáz najdou odpovídající zaměstnance.

Zelenou dohodu je proto třeba brát i jako příležitost k transformaci nezdravé monocentrické struktury osídlení na mnohem výhodnější strukturu polycentrickou. Ta je výhodná jak pro hlavní město, tak pro regiony, ale zejména pro ČR jako celek. Zelená dohoda pro Evropu požaduje 90 % snížení emisí skleníkových plynů z dopravy, aby se z EU stala do roku 2050 klimaticky neutrální ekonomika, a zároveň usiluje o dosažení cíle nulového znečištění.

2 INDIVIDUÁLNÍ AUTOMOBILOVÁ DOPRAVA

V rámci regionů bude hrát individuální doprava vždycky významnou roli. Automobil lidem na venkově a v menších městech poskytuje vysokou flexibilitu a doprava autem je často výrazně rychlejší než v případě VHD. Pokud jde o individuální automobilovou dopravu, tak tam je řešení jednoznačně elektromobilita. Elektrické vozidlo neprodukuje žádné lokální emise oxidu dusíku a pevných částic a tím významně přispívá ke zlepšení ovzduší zejména ve městech, nebo v okolí silnic. Je sice nutné uznat, že část emisí se vyprodukuje výrobou elektřiny, ale z fosilních zdrojů se vyrábí pouze zhruba polovina elektřiny a tento podíl bude v následujících letech i v ČR prudce klesat. Co se nebezpečnosti týče, tak zatímco emise z výroby elektřiny se rozptýlí vysokým komínem, tak emise z výfuku se vypouštějí přímo na ulici, odkud putují přímo do našich plic. Pokud jde o globální emise CO₂, tak ty elektrické vozidlo rovněž významně snižuje. I velice úsporné vozidlo se spalovacím motorem spotřebuje zhruba 5–6 l nafty, nebo benzínu na 100 km. To odpovídá zhruba energii 0,5–0,6 kWh/km. Naproti tomu srovnatelné vozidlo s elektrickým pohonem ujede kilometr se spotřebou elektrické energie ze sítě pouze 0,2 kWh/km. Celková spotřeba energie na provoz elektromobilu je tak zhruba třetinová.

Pokud jde o výši emisí, tak ty se i pro úsporné spalovací automobily se spotřebou kolem 5 litrů nafty na 100 km pohybují okolo 130 g/km. V případě elektrického pohonu je potřeba ještě zohlednit původ elektrické energie. Energetický mix se pro země EU významně liší. Norsko, Švédsko, nebo Francie dosahují uhlíkové stopy elektrické energie do 50 g/kWh, velmi nízkých hodnot dosahuje i Rakousko a Slovensko. Na chvostu se nachází Polsko a některé pobaltské státy s uhlíkovou stopou přes 500 g/kWh. V ČR se uhlíková stopa pohybuje okolo 400 g/kWh.

Tab. 1 Uhlíková stopa osobních automobilů (stav 2020)

	uhlíková stopa	průměrná spotřeba	uhlíková stopa
Auto benzín		6 l / 100 km (0,57 kWh/km)	143 g/km
Auto diesel		5 l / 100 km (0,49 kWh/km)	132 g/km
E Auto ČR (2020)	411 g/kWh	0,2 kWh/km	82 g/km
E Auto EU (2020)	256 g/kWh	0,2 kWh/km	51 g/km

V následujícím desetiletí lze pod tlakem vysoké ceny emisních povolenek u nás i v Evropě očekávat uzavírání uhelných elektráren a rychlou stavbu OZE. V rámci výroby elektřiny tak lze očekávat pokles uhlíkové stopy na vyrobenou kWh o přibližně 50 %. Spalovací motor prošel dlouhým vývojem a již stávající motory jsou velice dobře odladěné. Zároveň musí motory splňovat stále přísnější emise lokálních škodlivin, které často spotřebu spíše zvyšují (viz téma snižování spalovacích teplot pro snížení vzniku oxidů dusíku), podobně jako obliba velkých těžkých vozů (SUV). Z těchto důvodů už u spalovacích automobilů nějaké zásadní snížení spotřeby očekávat nejde. U elektromobilů další snížení spotřeby očekávat lze, ale jen mírné. Jde jednak o snižování hmotnosti baterií, ale také o lepší izolaci vozidel, nebo instalaci tepelných čerpadel. Z přehledu je patrné, že jak spotřeba, tak uhlíková stopa na km je u elektrických vozidel i v ČR výrazně nižší než u spalovacích vozidel a tento rozdíl se bude ještě dále zvyšovat.

Tab. 2 Uhlíková stopa osobních automobilů (výhled 2030)

	uhlíková stopa	průměrná spotřeba	uhlíková stopa
Auto benzín (snížení o 10 % oproti 2020)		5,4 l / 100 km (0,52 kWh/km)	129 g/km
Auto diesel (snížení o 10 % oproti 2020)		4,5 l / 100 km (0,44 kWh/km)	119 g/km
E Auto ČR (snížení o 10 % oproti 2020)	200 g/kWh	0,18 kWh/km	36 g/km
E Auto EU (snížení o 10 % oproti 2020)	130 g/kWh	0,18 kWh/km	23 g/km

3 REGIONÁLNÍ DOPRAVA

Individuální automobilová doprava má vedle svých nesporných výhod jako je flexibilita a rychlost také svá negativa. Zejména ve větších městech je problémem nedostatek místa jak na ulicích, tak pro parkování. Vysoké jsou také náklady na budování silniční infrastruktury a náklady spojené s parkováním vozidel na ulicích.

Proto je vhodné v místech s vyšší poptávkou poskytnout také kvalitní systém veřejné dopravy. V současné praxi lze rozlišovat čtyři úrovně dopravní obslužnosti veřejnou hromadnou dopravou:

1. Veřejná hromadná doprava jako sociální služba.

Zajišťuje pouze základní potřeby specifické skupiny obyvatel s různými druhy znevýhodnění. Takové služby se vyznačují malým rozsahem služeb. Jde např. o linky MHD v menších městech na bázi dlouhého intervalu (60 min. a více) obsluhující celé město a vyznačující se dlouhými jízdními dobami. Patří sem i speciální školní spoje. Služba je zaměřena na uspokojení definovaných potřeb obyvatel (dojíždka do škol, za zdravotní péčí nebo na úřady). V tomto případě základním systémem dopravní obslužnosti je IAD, zatímco VHD je jen doplňkem.

2. Veřejná hromadná doprava jako doplněk systému dopravní obslužnosti bez definice sociálních služeb.

V tomto případě VHD zajišťuje širokou škálu potřeb obyvatelstva, avšak z ekonomických důvodů není schopna zajistit dostatečné standardy z hlediska kvantity služeb, což má za následek, že základním systémem dopravní obslužnosti je i nadále IAD, zatímco VHD je jen doplňkem. Jedná se zejména o dopravní obslužnost linkovou autobusovou dopravou v řídce osídlených oblastech. Nedostatečná dopravní obslužnost má přitom největší dopad na znevýhodněné skupiny obyvatel, zvláště ženy, děti a seniory, kteří většinou nevlastní automobil a jsou závislí na veřejné dopravě. Špatná dostupnost veřejné hromadné dopravy a nedostatečná provázanost dopravních linek tak v konečném důsledku přispívá k odlivu obyvatel z periferních oblastí do větších aglomerací a má významný negativní dopad na demografický vývoj v těchto oblastech.

3. Veřejná hromadná doprava jako alternativa k dopravě individuální.

V tomto případě VHD zajišťuje všechny potřeby obyvatelstva, a to po celý den a týden. Kvanta poskytovaných služeb a jejich kvalita je na takové úrovni, že pro všechny skupiny obyvatelstva, včetně skupin znevýhodněných, poskytuje takové služby, díky kterým není nutná závislost na osobním autě. Osobní auto je pak nutné jen ve speciálních případech, pro které je možno využít i sdílená auta. V tomto případě je VHD v rámci systému dopravní obslužnosti svým významem srovnatelná s IAD. Tyto systémy fungují v hustěji osídlených oblastech.

4. Veřejná hromadná doprava jako základ systému dopravní obslužnosti.

V tomto případě VHD zajišťuje všechny potřeby obyvatelstva, a to po celý den a týden, přičemž poskytuje větší flexibilitu než doprava individuální, která se potýká s problémem nedostatečného prostoru (kolony, nedostatečné prostory pro parkování a cena parkování). V tomto případě je VHD v rámci systému dopravní obslužnosti dominantní a IAD je jen doplňkem. Tyto systémy fungují ve značné části velkých měst, zejména v jejich historických centrech.

Každá z těchto úrovní může být vhodná v konkrétních odůvodněných případech, nicméně vývoj by postupně měl vést k omezení úrovně č. 1 (vhodná je např. v menších městech s krátkými vzdálenostmi, kde by hlavní roli měla hrát aktivní mobilita), úroveň č. 2 by měla být dosažena jako minimální standard v řídce osídlených oblastech. Úroveň č. 3 by měla převažovat na většině území a úroveň č. 4 by se měla týkat zejména větších měst. Pokud jde o volbu konkrétního dopravního prostředku, tak hodně záleží na místních podmínkách. Co se energetické náročnosti týče, tak v tabulkách níže je vidět energetická náročnost a uhlíková stopa pro regionální vozidla.

Tab. 3 Uhlíková stopa a energetická náročnost dopravních prostředků (2020 – 411 g/kWh)

	Kapacita	Hmotnost/sedadlo [kg]	Obsazenost	os. ve vozidle	Spotřeba energie [kWh/oskm]	Uhlíková stopa [g/oskm]
Auto spalovací m.	4	400		1,3	0,38	102
Elektromobil	4	500		1,3	0,15	63
Autobus diesel	55	191	33%	18	0,18	48
Motorová lokomotiva + 2 vozy	160	938	33%	53	0,31	75
Elektrická lokomotiva + 3 vozy	240	771	33%	79	0,14	58
Desiro Classic	120	567	33%	40	0,19	53
Zastávkový vlak 2 vozy, s rekuperací	140	643	33%	46	0,08	32
Zastávkový vlak 3 vozy, s rekuperací	200	550	33%	66	0,07	27
Spěšný vlak 4 vozy, s rekuperací	400	500	50%	200	0,05	21
Dálkový vlak	442	939	50%	221	0,05	19

Tab. 4 Uhlíková stopa a energetická náročnost dopravních prostředků (2030 – 200 g/kWh)

	Kapacita	Hmotnost/sedadlo [kg]	Obsazenost	os. ve vozidle	Spotřeba energie [kWh/oskm]	Uhlíková stopa [g/oskm]
Auto spalovací m.	4	400		1,3	0,38	102
Elektromobil	4	500		1,3	0,15	31
Autobus diesel	55	191	33%	18	0,18	48
Motorová lokomotiva + 2 vozy	160	938	33%	53	0,31	75
Elektrická lokomotiva + 3 vozy	240	771	33%	79	0,14	28
Desiro Classic	120	567	33%	40	0,17	53
Zastávkový vlak 2 vozy, s rekuperací	140	643	33%	46	0,08	16
Zastávkový vlak 3 vozy, s rekuperací	200	550	33%	66	0,07	13
Spěšný vlak 4 vozy, s rekuperací	400	500	50%	200	0,05	10
Dálkový vlak	442	939	50%	221	0,05	9

Pokud srovnáváme plné vozidlo hromadné dopravy s autem s jedním řidičem, tak u hromadné dopravy jsou spotřeba i emise výrazně nižší. U zaplněných vozidel je nejvyšší spotřeba energie u auta se spalovacím motorem. Ty jsou následované krátkými motorovými vlaky, autobusy a nejsporněji pak vycházejí dlouhé elektrické vlaky jezdící jako spěšné, nebo rychlíkové spoje. Velice úspěšné jsou i dálkové vlaky. Ty dosahují velice dobré spotřeby i přes svoji vyšší rychlost a vyšší míru pohodlí oproti regionálním spojům. Zajímavé je srovnání elektromobilu s regionálními vlaky. Zatímco dlouhé elektrické vlaky jsou na tom oproti elektromobilu stále výrazně lépe, tak krátké motorové vlaky a krátké soupravy s motorovou lokomotivou jsou na tom jak proti elektromobilu, tak proti autobusu hůře.

Zásadní vliv na spotřebu energie v přepočtu na cestujícího má míra obsazení. U automobilu ani u VHD ale není možné po celý den v celém provozovaném úseku, v obou směrech dosáhnout 100% zaplnění. Reálná střední obsazenost se v regionální dopravě pohybuje okolo 25 % (regionální tratě) až 40 % hlavní trati a v dálkové dopravě zhruba 50 až 70 %. Reálná obsazenost u aut se pak pohybuje okolo 1,3 osob.

4 VHODNÁ VOZIDLA PRO REGIONÁLNÍ SPOJE

Z tabulky energetické náročnosti vyplývá, že nejsporněji vycházejí rychlíky a spěšné vlaky, tedy delší vlaky s méně zastávkami, zato jedoucí vyšší rychlostí. Ty jsou také pro cestující díky své vyšší rychlosti více atraktivní a zvyšují tak obsazení spoje. Je proto škoda je zdržovat pobytem na zastávkách s malým počtem cestujících. Pro úroveň dopravní obslužnosti 1 a 2 se proto železniční vozidla nehodí. Pro výkony dopravy jako sociální služby se daleko více hodí různé dodávky fungující jako senior taxi, případně minibusy objednané přímo pro konkrétní přepravu. Ty jsou oproti vlaku daleko flexibilnější a zejména seniorům při cestě k lékaři, nebo na úřad nabídkou daleko lepší službu. Na obr. 2 jsou znázorněna optimální vozidla podle cestovní rychlosti a poptávky v daném přepravním směru. Pro kratší cesty se nejlépe hodí bezmotorová doprava. Osobním automobilem lze v principu jezdit jakoukoliv cestu, nicméně zejména ve městech naráží IAD na své limity, proto je rozumné nahrazovat vyšší přepravní proudy jiným VHD.

Pokud jde o regiony, tak pro obsluhu menších sídel se pak nejlépe hodí autobusy. I při nízkém obsazení je spotřeba i emise výrazně nižší než u osobního automobilu. Autobusy také dosahují velice dobrých trakčních parametrů. Běžný autobus dosahuje adhezní hmotnosti přes 60 % při součiniteli adheze 0,5–0,8, což mu dodává velice dobrou dynamiku při rozjezdu. Pro obsluhu zastávkových spojů se tak i z tohoto pohledu hodí mnohem více než vlak. Autobusy se zároveň vyrábějí ve velkých sériích a různých konfiguracích pro 40–60 cestujících. Díky konstrukční jednoduchosti, nízké hmotnosti a velkosériové výrobě se dají autobusy pořídit výrazně levněji než železniční vozidla srovnatelné velikosti.

Jako hlavní důvod vyšší spotřeby regionálních železničních vozidel je zejména vyšší hmotnost. U regionálních vozidel je spotřeba energie přibližně lineárně závislá na hmotnosti vozidla. Železniční vozidla jsou řešena pro provoz ve vlacích, respektive pro souběžný provoz s vlaky. Schopnost vozidel tvořit vlak je zásadní výhoda železnice (vysoká produktivita, nízký aerodynamický odpor). K zařazení do vlaku jsou železniční vozidla uzpůsobena svojí pevností, což ovšem zvyšuje jejich hmotnost. Avšak krátké jednotlivé železniční vozidlo (typicky: samostatný motorový vůz) nevyžívá výhod zařazení do vlaku, avšak je postiženo nevýhodami této (byť nevyužité) schopnosti, v podobě vysoké hmotnosti k zajištění pevnosti a v podobě instalace drahých rozměrných zařízení. Z důvodu kompatibility se železnicí musí i malý železniční motorový vůz oproti autobusu splňovat požadavky a podmínky drážního provozu a specifické podmínky na železnici a ty jeho hmotnost velice významně ovlivňují. Zatímco běžný autobus má hmotnost zhruba 230–250 kg/sedadlo, tak běžné regionální železniční vozidlo se podle velikosti pohybuje mezi 500–800 kg/sedadlo (v extrémních případech dopravy dvou vozů dopravovaných lokomotivou až 950 kg/sedadlo), což u zastávkových vlaků citelně zvyšuje spotřebu energie

Hmotnost zvyšuje především:

- dimenzování vozidla na střet s jiným vlakem (zejména dimenzování na podélné síly 1500 kN a instalace absorbérů nárazové energie),
- nemožnost vyhnout se překážce a s tím spojená povinnost dimenzování uchycení komponent na podélný ráz 3 g,
- obousměrné provedení – nutnost instalace dvou kabin strojvedoucího (crashové prvky, spřáhlo, pult s veškerým vybavením apod.) a dvojnásobný počet dveřních otvorů a k nim přilehlých ploch bez sedadel,
- z důvodu nižšího součinitele adheze je používán pohon většího počtu náprav,
- tradice instalace WC spojená s povinností, že alespoň jedno WC v soupravě je v provedení pro vozičkáře,
- celkově robustnější provedení z důvodu vyšší životnosti, principálně vytvořené vyšší pevností,
- tradice vyšší míry pohodlí – větší rozteče sedaček, vis-a-vis uspořádání,
- tradice 1. třídy s výrazně vyššími roztečemi oproti autobusu a uspořádáním 2+1.

U vozidel, vytvářejících delší vlak není těmto požadavkům odpovídající nárůst hmotnosti relativně velký, a je vyvážen příslušnými přínosy vlakové dopravy. Avšak u krátkých sólo vozů je nárůst hmotnosti relativně velký, ale benefity schopnosti vozidla vytvořit vlak využívány nejsou. Hmotnost jde ovlivnit částečně ovlivnit konstrukcí vozidla, ale i tak zde zůstávají některé požadavky, kterým se u železničních vozidel nelze vyhnout. Vlak tak bude vždy výrazně těžší než autobus. Například krátká souprava s lokomotivou váží na sedadlo zhruba 4x více než autobus. Zejména u krátkých jednotek je velice obtížné stlačit hmotnost pod 700 kg/sedadlo, což je pořád trojnásobek oproti autobusu. U větších (delších), dobře optimalizovaných elektrických jednotek se dá dosáhnout okolo 500 kg/sedadlo.

Železniční vozidla mají naproti tomu výhodu v nižším valivém odporu, nižším odporu vzduchu a vyšší konstrukční rychlosti. Tyto výhody se ale mohou významněji projevit pouze u větších vozidel. Proto provozovatelé železniční techniky od menších vozidel v podstatě upustili a požadují od výrobců vozidla, která jsou oproti ostatním druhům dopravy, zejména osobním automobilům a autobusům konkurenceschopné a nabízí tak dopravcům vyšší přidanou hodnotu. To znamená zejména elektrické jednotky od velikosti 120 míst s maximální rychlostí 120–160 km/h. Nemá smysl používat železnici na výkony, kde stačí autobus. Takové nasazení v podstatě vždy vede k vyšším nákladům, vyšší spotřebě energie a vyšším emisím.

Z těchto důvodů nemá smysl přizpůsobovat železniční provoz na nízké výkony, ale přizpůsobit železnici takovým výkonům, ve kterých dává smysl. A spolu s tím zvýšit kvalitu přepravní nabídky, aby motivovala cestující k jízdě vlakem. Aby byla železniční vozidla z pohledu spotřeby, emisí a nákladů konkurenceschopná, musí jednoznačně jezdit na výkonech s vyšší výměnou cestujících to

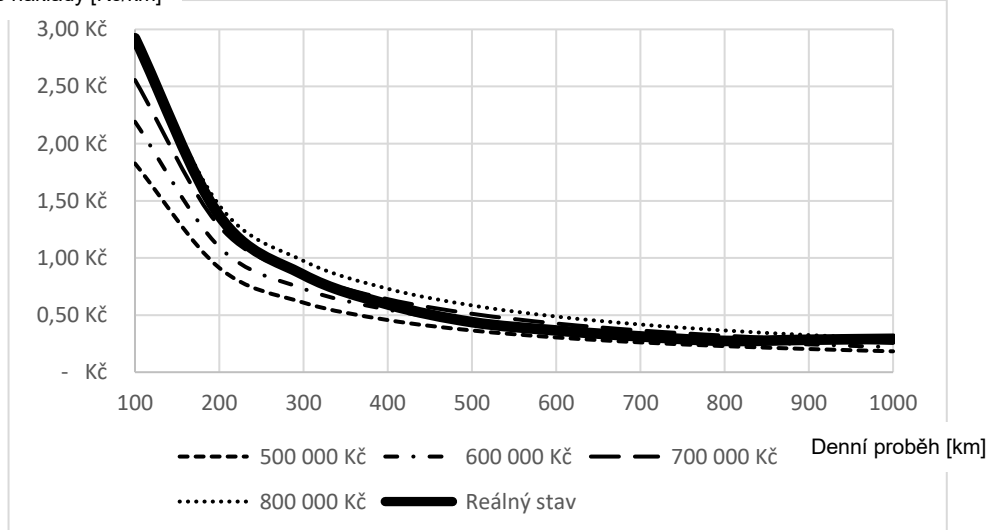
znamená zajištění dopravní obslužnosti úrovně 3 a 4 v místech vysoké poptávky cestujících. To znamená cílit na každodenní jízdy do práce, do školy mezi většími městy s důrazem na vysokou cestovní rychlost, pohodlí a rozumnou cenu přepravy. Vyšší hmotnost a vyšší náklady na pořízení vozidel lze řešit efektivní organizací provozu a optimalizací vozidel.

4.1 Opatření pro zvýšení cestovní rychlosti

Regionální vlaky tedy slouží především jako dopravní prostředek na pravidelné cesty do práce. Zde se veřejná doprava všeobecně opět musí poměřovat s dopravou individuální. V případě cest autem lidé často do srovnání s VHD započítávají pouze cenu paliva. Ta se pohybuje v závislosti na pohonu zhruba od 0,6 Kč/km u elektromobilu, 1,5 Kč u úspornějších, 2–3 Kč u méně úsporných spalovacích automobilů. Cestující tak v zásadě nejsou ochotni platit za jízdné více než za palivo (ostatní složky nákladů spojených s vlastnictvím automobilu lidé sice nesprávně, ale pomíjejí). Pro udržitelnost provozu regionální dopravy je tak velice důležité dosáhnout nízké ceny za km přepraveného cestujícího.

Náklady na km závisí na mnoha parametrech, nicméně nejzásadněji je ovlivňuje cena vozidla vztažená na sedačku a proběh vozidla. Obr. 1 ukazuje závislost měrných nákladů na pořízení vozidla (Kč/os km) při životnosti 30 let a středním obsazení 25 % na denním proběhu vozidla (km/den), výše v tabulkách uvádíme 33 % regionální, 50 % dálková. Pro názornost jsou uvedeny pouze měrné náklady na pořízení vozidla, neboť ostatní složky měrných nákladů (Kč/os km) jako servis, energie, nebo mzdy personálu na denním proběhu vozidel v zásadě nezávisí. Náklady jsou uvedeny pro vozidla s různou cenou na sedadlo. Tučnou křivkou je pak znázorněn reálný stav vozidel. Linky s malým denním nájezdem (regionální osobní zastávkové vlaky) obsluhují z principu jednodušší méně vybavená vozidla. Ty jsou ale i přes svoji jednoduchost na sedadlo poměrně drahá. Je to dáno zejména nutností instalace dvou kabin strojvedoucího včetně nákladných komponentů, rozměrného WC na relativně krátkém vozidle. Cena na sedadlo u delších regionálních vozidel pak klesá. Dálková vozidla jsou využívány k delším cestám a zajišťují je proto vozidla s vyšším pohodlím a s vyšším vybavením (1. třída, catering, stojany na zavazadla, ...) a tedy i s vyšší cenou na sedadlo, ale vlivem větší denních proběhů dosahují nízkých měrných nákladů na pořízení vozidla. Z grafu je patrný velice strmý nárůst měrných pořizovacích nákladů vlivem nízké produktivity málo využitých vozidel u nižších denních proběhů. U rychle jedoucích vozidel s vyššími proběhy pak ani vyšší cena na sedadlo nevede ke zvýšení měrných nákladů.

Měrné náklady [Kč/km]



Obr. 1 Měrné náklady na pořízení vozidla v závislosti na denním proběhu

Zvyšování cestovní rychlosti je tak neefektivnější cestou pro zvýšení podílů veřejné dopravy a zároveň cestou k výraznému snížení nákladů. Při vyšších rychlostech se plně využije nízký odpor valení a příznivá aerodynamika štíhlého vlaku. S vysokou cestovní rychlostí je možné dosáhnout vyšších proběhů vozidel a zároveň stoupá oblíbenost spoje, což vede k většímu obsazení, tudíž k nižším měrným pořizovacím nákladům. Vlak v regionech soupeří zejména s rychlou individuální dopravou a cestujícím se vyplatí dojet na vlak pouze v případě, že je vlak alespoň srovnatelně rychlý oproti autu. Cestovní rychlost příměstských vlaků s velkým počtem zastávek se často pohybuje pouze okolo 50 km/h. Při takto nízké rychlosti je často jízdní doba vlaku oproti automobilu delší. Pro objednatele dopravy je tento způsob dopravy zároveň nákladný. Aby byla pro běžné dojíždění jízdní doba s automobilem srovnatelná, je potřeba dosáhnout cestovní rychlosti mezi 60–70 km/h. Toho nelze dosáhnout jenom jedním opatřením, ale kombinací opatření na straně trati, vozidel a úpravy provozu.

Zejména se jedná o:

- zvýšení traťové rychlosti, odstranění rychlostních propadů,
- nasazení výkonných vozidel,
- snížení počtu zastávek.

Mimo jiné z důvodů vysoké hmotnosti vozidel je pro efektivitu provozu železničních vozidel zásadní plynulost. Na straně infrastruktury je potřeba především důsledně odstraňovat propady rychlostí, aby se zamezilo zbytečnému brzdění a následnému rozjíždění z provozních důvodů. Další možností je eliminace zbytečných zastávek. Zde je potřeba zdůraznit, že vlak má cílit především na každodenní cesty do práce. Málokdo bude v dnešní době vážit dlouhou cestu na nádraží, aby pak jel pomalým vlakem. Z důvodu úspory času a pohodlí si cestující zvykli jezdit na vlak jiným způsobem dopravy – autem, na kole, nebo autobusem. Pokud už někdo autem vyjede, je mu relativně jedno, jestli pojede 1, nebo 5 km. Pro volbu dopravního prostředku je rozhodující celková rychlost od dveří ke dveřím. Daleko raději tak cestující dojedou do uzlové stanice, odkud budou pokračovat spěšným vlakem, nebo rychlíkem, než ušetřit jednotky kilometrů autem a následně jeli výrazně déle osobním vlakem. Na síti lze najít mnoho zastávek, které leží daleko od obydleného území. Tyto zastávky byly postaveny v době, kdy lidé neměli jiné možnosti dopravy, a tak lidé i tyto odlehle zastávky využívali. Dnes už mají obyvatelé jiné možnosti – mohou využít auto, nebo autobus přímo do města, nebo jako návoz k vlaku. Tyto málo využívané zastávky mají pro linku minimální přínos, neúměrně však prodlužují cestovní dobu ze vzdálenějších oblastí a zbytečně zvyšují náklady na provoz. Vlak už ze svého principu (malá adheze, vysoká hmotnost) nemůže jet rychle a zároveň často zastavovat. Kvůli odlehlosti zastávek a malé četnosti spojů vlaky už dávno neslouží k dopravě mezi vesnicemi. K těmto lokálním cestám poslouží daleko lépe auto, kolo nebo místní autobus. Pro efektivní provoz železnice je bezpodmínečně nutné zastávky v nevhodné poloze posunout blíže obci, případně zrušit a obsloužit obec efektivněji autobusem.

4.2 Eliminace krátkých ramen

Důvodem pro nízkou cestovní rychlost a vysoké náklady železniční dopravy jsou často krátké odbočky z hlavních tratí. Zpravidla se jedná o neelektrifikované úseky odbočující z hlavní elektrifikované tratě. Jízdní řád těchto odboček musí být svázaný s jízdním řádem na hlavní trati. Tyto krátké úseky vozidlo ujede zpravidla za několik minut a následně čeká v koncové stanici na odjezd zpět, aby se zachovaly přípoje. Vozidlo tak většinu času prostojí ve stanici. To vede k velice nízkému využití nákladných železničních vozidel a díky prostojům ve stanici pak neúměrně zvedá spotřebu energie vztažené k ujeté vzdálenosti.

Z pohledu lepšího využití vozidel se nabízí linku na hlavní a vedlejší trati spojit do jedné. To ale zase naráží na nutnost elektrifikace úseku, nebo nutnosti nasadit na celou linku dieselové vozidlo. To pak samozřejmě vede k vyšším provozním nákladům na hlavním rameni. Druhou nevýhodou jsou pak horší dynamické vlastnosti dieselových vozidel, které svou pomalou jízdou brzdí provoz na koridoru. Pro tyto typy linek je pak do doby elektrifikace ideální dvouzdrojové vozidlo trolej/akumulátor – BEMU. To na elektrifikovaném úseku jede jako běžná elektrická jednotka a po odbočení z hlavní

trati může pokračovat dále na baterii. Plnohodnotné BEMU má trakční parametry srovnatelné s EMU, takže dokáže i v neelektrifikovaném úseku využít naplno traťové rychlosti a zkrátit tak dále jízdní doby oproti dieselovým jednotkám. Odstraněním přestupu a zvýšením technické rychlosti lze pak v součtu výrazně zkrátit jízdní doby, což vede k větší atraktivitě spoje a nižším nákladům docíleným vyšší produktivitou.

4.3 Opatření na straně vozidel

Kromě parametrů infrastruktury ovlivňuje cestovní rychlost také vozidlo. Ty jsou zpravidla určeny pro rychlost 160 km/h, což je pro regionální provoz dostatečné a u zrychlených vlaků projíždějících část zastávek, i prakticky využitelné ke zvýšení atraktivity veřejné dopravy i k vyšší plynulosti železničního provozu. Dalším faktorem je počet hnaných náprav. Součinitel adheze v případě kola a kolejnice dosahuje reálně pouze okolo 0,2–0,3, v případě pneumatiky na asfaltu dosahuje okolo 0,5–0,8. Pokud chceme i na železnici dosahovat u často zastavujících regionálních vlaků krátkých jízdních dob, je potřeba i u železničních vozidel dosáhnout velkým poměrem poháněných dvojkolí podobných akceleračních parametrů jako u autobusů.

Bohužel některé typy starších jednotek, případně soupravy s lokomotivou dosahují velice špatných parametrů výkonu a nízké adhezní hmotnosti. Při nasazení takového vozidla na osobní vlak dochází k velice pomalým rozjezdům a takováto vozidla často problém vyjet do stoupání plnou traťovou rychlostí. Problémem je nasazení takovýchto vozidel na koridorech, protože svou neúměrně dlouhou jízdní dobou blokují provoz na přetížených úsecích. Omezují trasování rychlé vrstvy vlaků osobní přepravy a snižují kapacitu dráhy nákladním vlakům, které pak musí neúměrně často zastavovat a znova rozjíždět.

Tab. 5 Trakční parametry vozidel

Vozidlo	Adhezní hmotnost	Výkon trakce / brzda [kW]	Měrný výkon trakce / brzda [kW/t]
Autobus	66 %	265	25
DMU starší	33 %	600 / -	4
DMU moderní	66 %	700	8
EMU 3 kV	33 %	2000 / -	12 / -
EMU 3 kV	50 %	2040 / 2205	12 / 14
EMU AC, spěšný	50 %	4000 / 6000	17 / 25
EMU AC, zastávkový	50 %	2600 / 4000	23 / 35
X-EMU (aku/vodík)	66 %	- / -	≈15 / ≈20

Z důvodu rychlejších jízdních dob a plynulého provozu na hlavních tratích je bezpodmínečně nutné pořízovat vozidla s náležitými trakčními parametry. Pro dynamiku vozidla je rozhodující zrychlení úměrné měrnému výkonu (poměr výkonu ku hmotnosti) a počtu hnaných náprav. Adhezní hmotnost má vliv především při nižších rychlostech, při vyšších rychlostech nad 60 km/h je zase rozhodující měrný výkon. U naftovými motory poháněných vozidel je technicky možné dosáhnout 50–70 % adhezní hmotnosti a měrného trakčního výkonu okolo 8 kW/t. U elektrických vozidel je pak možné dosáhnout výkonů okolo 20 kW/t. U vozidel pro spěšné vlaky stačí o něco méně, pro zastávkové vlaky je rozumné volit výkony vyšší. Elektrická vozidla mají oproti motorovým mimo jiné výhodu v možnosti rekuperace. Energie vracená do sítě šetří dopravcům náklady a u zastávkových vlaků má na ekonomiku provozu poměrně významný vliv. Moderní vozidla se proto dimenzují tak, aby se v běžném provozu brzdilo pouze EDB. Třecí brzda zde funguje jenom pro případ nouze. Aby toho bylo možné dosáhnout, je potřeba dimenzovat brzdící výkon na ještě vyšší hodnoty. Ty dosahují zpravidla 1,5násobku trakčního výkonu a u regionálních vozidel by měly dosahovat zhruba 25–35 kW/t. Toto řešení má kromě ušetřené energie také významný vliv na opotřebení brzd a provozovateli tak významně snižuje náklady.

4.4 Optimalizace konceptu vozidla

Je nutné si uvědomit, že železniční vozidla budou ve srovnání s autobusy vždy dražší. Je to dáno především specifickým provozem na železničních tratích. Tím, že se může kterýkoliv vlak střetnout s nákladním vlakem, s autem na přejezdu apod., musí být jeho konstrukce dimenzována na řádově vyšší síly, než je tomu u autobusu. Např. skříň je stavěná na podélnou sílu o velikosti 1500 kN, při které by se konstrukce jakéhokoliv autobusu dávno zhroutila. Vlak je tedy ze svého principu vždy těžší. Vlak se dále ze svého principu nemůže v koncové stanici otočit, proto potřebuje dvě plně vybavené kabiny s veškerým vybavením pro strojvedoucího, crashovými prvky a spřáhlem. Zajistit stejnou adhezi jako u autobusu znamená mnohem komplikovanější pohon více náprav. Vlak rovněž nemůže jezdit „na dohled“, ale potřebuje mít nainstalované poměrně drahé zabezpečovací zařízení. Malosériová výroba zvyšuje cenu výroby, dílů a ve výsledné ceně se daleko více projeví náklady na vývoj.

Tab. 6 Orientační ceny regionálních vozidel

	Autobus	EMU nový
Cena/sedadlo [tis. Kč]	150-200	400-800
Životnost [roky]	10	35
Rychlost [km/h]	100	120-160

Výhodou železničních vozidel je kromě vyšší rychlosti a nižší spotřeby energie zejména komfort. Vlak zpravidla nabízí prostornější interiér, WC, dostatek místa pro cestující na vozíku, případně prostor pro kola. Tento komfort ale něco stojí a je proto potřeba velice pečlivě zvážit, co je cestující, respektive objednatel ochoten za vyšší komfort zaplatit. Zejména menší vozidla nutné pečlivě navrhovat s ohledem na co nejnižší cenu/sedadlo. Parametry vozidla určuje dopravce, respektive objednatel dopravy, a požadavky se podle oblasti často značně liší. V závislosti na konceptu vozidla mají také parametry různou citlivost, ale i ty lze částečně zobecnit.

Rozteče sedaček volí značná část dopravců v kombinaci 800/1750 mm (řada/proti sobě). Rozteč 800 mm nabízí v případě vhodně řešených sedadel dostatečný komfort pro kolena a pro denní dojíždění v řádech desítek minut cestujícím postačuje. Rozteč v uspořádání proti sobě je nutné volit vyšší než dvojnásobek při uspořádání za sebou, což snižuje přepravní kapacitu. U nižších roztečí už dochází ve velké míře k vzájemnému kontaktu nohou u proti sobě sedících cestujících, což je pro značnou část populace velice obtěžující. Z důvodu symetrie ve vozidle přirozeně vzniká určitý počet sedadel v uspořádání proti sobě. Požadavek na další zvýšení podílu tohoto uspořádání pak má vliv na snížení kapacity a zvýšení ceny na sedadlo.

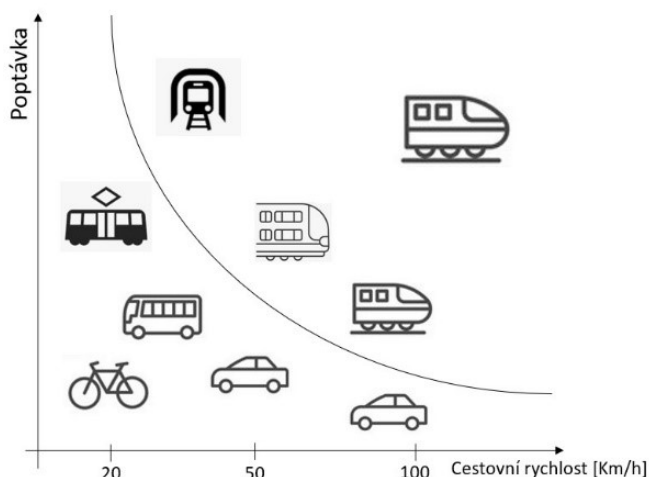
Cenu vozidla a zejména cenu na sedadlo navyšuje také počet WC. V závislosti na typu vozidla ubere standardní WC 4–8 sedadel. V regionální dopravě je výrazně kratší doba cestování než v dálkové dopravě, a proto je rozumné volit instalaci pouze jednoho WC v regionální jednotce pro cca 200 cestujících, případně požadují počet WC zhruba v poměru 150–200 míst/WC. V rámci organizace dopravy je pak na zvážení zvýšení dostupnosti veřejných WC ve stanicích a počet WC ve vozidlech redukovat na nutné minimum. Je zcela protismyslné, že provozně levnější stacionární WC je zpoplatněno, respektive uzamčeno a provozně dražší mobilní WC je ve vlaku zdarma. Volně přístupné toalety na letišti snižují provozní náklady letecké dopravy.

Poměrně výrazný vliv na cenu vozidla má oddíl 1. třídy. V ČR je zvykem používat kromě větších roztečí také širší sedačky v uspořádání 2+1. Zde je nutné rozlišovat mezi dálkovou a regionální dopravou. V dálkové dopravě se poměr první a druhé třídy volí zpravidla na celé vozy. Do běžného vozu se vejde zhruba 80 sedadel v uspořádání 2. třídy. V případě 1. třídy se použije uspořádání 2+1 a díky větším roztečím ubude jedna řada sedadel a celková kapacita dosahuje 55 míst. Náklady na sedadlo 1. třídy stoupnou zhruba na 145 %, což zhruba odpovídá rozdílu v ceně jízdného. U regionálních vozidel je ale situace úplně jiná. 1. třída tvoří poměrně malou část celkové kapacity vozidla

(např. 5 %, tj. 10 míst ve vlaku pro 200 cestujících). Regionální vozidla jsou ale oproti dálkovým vozům značně odlišná – uprostřed mají nízkopodlažní část, schody na představky, dveře umístěné více ke středu vozů. Celé vozidlo je zároveň přizpůsobené pro symetrické uspořádání 2+2 a rozměry jednotlivých částí vozidla jsou optimalizovány pro rozteče 2. třídy. Instalace oddílu 1. třídy tak vede k daleko výraznějšímu úbytku kapacity. V extrémním případě může dojít u vozidla pro 200 cestujících s deseti sedadly 1. třídy k úbytku až deseti sedadel proti 2. třídě. Cena na sedadlo 1. třídy tak stoupne na dvojnásobek oproti 2. třídě. V běžném provozu dosahuje 1. třída v regionálních vlacích také výrazně nižšího obsazení (proto ji někteří cestující používají). Pokud by se v tomto případě zohlednily všechny náklady na sedadlo 1. třídy, muselo by být jízdné v 1. třídě na 2–3násobku běžného jízdného. Takto vysoké jízdné je ochotno zaplatit tak malé procento cestujících, že dopravci od 1. třídy v regionální dopravě upouštějí úplně, nebo nabízí 1. třídu ve standardním uspořádání 2. třídy a vyšší komfort zajišťují jiným typem sedadel, což se ukazuje rozumným kompromisem.

5 ZÁVĚR

Železniční vozidla dokážou být velice efektivní a při správném používání významně přispívají ke snížení energetické náročnosti dopravy. Zároveň je ale důležité znát i jejich slabé stránky a vyvarovat se nasazení železničních vozidel na nevhodné výkony. Na obr. 2 jsou znázorněny optimální dopravní prostředky v závislosti na poptávce a cestovní rychlosti.



Obr. 1 Podíl jednotlivých kategorií tratí na dopravních výkonech železnice v ČR

Každý dopravní mód má svá pro a proti. Proto je důležité pro různé typy cest volit optimální prostředek. Jednotlivé dopravní módy by se z principu měly doplňovat, ne si navzájem konkurovat. Jako optimální se jeví často dopravní prostředky v rámci cesty kombinovat – aplikovat multimodální přístup k mobilitě. Multimodální přístup v osobní dopravě je klíčový pro snižování energetické náročnosti dopravy. Je zajišťován zejména prostřednictvím kvalitní sítě veřejné hromadné dopravy stavěné na bázi alternativy k dopravě individuální. V případě kratších cest je rovněž velmi důležitou alternativou bezmotorová (aktivní) doprava (pěší, cyklistika). Multimodální přístup je potřeba vnímat i jako kombinaci různých dopravních prostředků v závislosti na okolnostech – počasí, roční doba, nutnost vozit náklad.

Je patrné, že u krátkých, nepravidelných cest je výhodnější použít různé druhy individuální dopravy, nebo autobusu, kdy jsou tyto způsoby nejekologičtější a energeticky nejméně náročné. U delších, dobře optimalizovaných a rychle jedoucích spojů zase vítězí železnice, kdy lze dosáhnout velice nízkých nákladů na provoz a minimální spotřebu energie.