

3 VÝVOJ NA STRANĚ DOPRAVY

3.1 Obsah

3	VÝVOJ NA STRANĚ DOPRAVY	1
3.1	Obsah	1
3.2	Všeobecně	2
3.3	Jízdní řád	2
3.4	Vlaky	3
3.5	Trakční vozidla	3
3.6	Netrakční vozidla	5
3.7	Přepravní poptávka	6
3.8	Přílohy ke kapitole 3	6

3.2 Všeobecně

Od doby elektrizace hlavních železničních tratí SŽDC, která proběhla v druhé polovině minulého století, nastala celá řada změn na straně dopravy. Je potřeba je vnímat a vzít je v úvahu při řešení napájení elektrických drah.

3.3 Jízdní řád

V době navrhování a dimenzování pevných trakčních zařízení současných hlavních tratí SŽDC byla zcela jiná skladba vlaků. Rychlíků bylo velmi málo, osobní dopravu zajišťovaly především osobní zastávkové vlaky. Nejpočetnější skupinou byly pomalu jedoucí průběžné nákladní vlaky, trasované ve svazcích. Jízdní řád v sobě neměl prvky pravidelného opakování, byl technologicky optimalizován k co nejvyššímu využití kapacity železniční dopravní cesty (propustnosti tratí).

Současný jízdní řád je zcela jiný:

- je založen na taktovém principu, tedy na rytmickém opakování stejných motivů v intervalu zpravidla jedné hodiny,
- taktový jízdní řád má mnoho pozitiv, pro která je všeobecně používán. Je příjemný pro cestující, vytváří řád v systému železniční dopravy i v návazných dopravních systémech jakožto i v oběhu vlakových náležitostí. Avšak z hlediska využití kapacity železniční dopravní cesty optimální není, neboť časově determinované pravidelné střídání tras rychlých a pomalých vlaků neumožňuje využívat výhodné principy rovnoběžného grafikonu,
- spolu se zvyšováním traťové rychlosti se prohlubuje rozdíl v cestovní rychlosti vlaků, které jsou schopny využít a vlaků, které z důvodu na straně vozidel (nízký měrný výkon, nízká dovolená rychlost), či obsluhy území (velká četnost zastávek), ji nejsou schopny využít,
- snaha neztrácet příliš disponibilní propustnou kapacitu tratě nízkou cestovní rychlostí pomalejších segmentů vlakové dopravy vede k nárůstu měrného výkonu osobních zastávkových vlaků a zejména nákladních vlaků. To je patrné zejména v nákladní dopravě, kde je snaha, aby nákladní vlak odjel těsně za rychlíkem a co nejdéle jej stačil sledovat, aby nákladní vlak nemusel být zastaven a uhýbán z důvodu předjíždění dalším rychlíkem. K tomu je nutno zvýšit měrný výkon nákladních vlaků z tradičních cca 1 kW/t (lokomotiva o výkonu 2 000 kW dopravovala nákladní vlak o hmotnosti 2 000 t) na současný standard cca 3 kW/t (lokomotiva o výkonu 6 000 kW dopravuje nákladní vlak o hmotnosti 2 000 t),

Tyto okolnosti mají pochopitelně zásadní dopad na namáhání a dimenzování pevných trakčních zařízení. Podstatné se ukazují čtyři režimy:

- hodina ve špičce osobní dopravy,
- hodina po špičce osobní dopravy (rozjíždějí se do té doby čekající nákladní vlaky),
- střídavý protisměrný provoz při výluce jedné traťové koleje na dvojkolejné trati,
- odklonový provoz na vedlejší trati při výluce na hlavní trati.

3.4 Vlaky

Snaha plně využít kapacitu dopravní cesty a staničních kolejí, respektive délky nástupišť vede k růstu délky vlaků. Spolu s tím roste i hmotnost vlaků a potřebný výkon jakožto i spotřeba energie. V nákladní dopravě je cílem umožnit usměrňováním dopraven provázet vlaky 740 m (viz Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 1316/2013), což na trakčně náročnějších tratích vede k použití dvojic lokomotiv. Na větších sklonech zpravidla v konfiguraci vlaková lokomotiva a postrk, neboť namáhání spřáhel 350 kN omezuje možnost plně využívat maximální tažnou sílu moderních čtyřnápravových elektrických lokomotiv (každá 300 kN) řazených bezprostředně za sebou.

Podobný vývoj je i v osobní dopravě, kdy dosavadní trend zvyšovat přepravní nabídku v odezvě na růst přepravní poptávky zvyšováním počtu vlaků (zkracováním intervalu mezi vlaky) již zpravidla vyčerpal své možnosti a nastupuje trend zvyšováním přepravní kapacity vlaků (počtu sedadel). To je provázáno růstem hmotnosti vlaků osobní přepravy, potřebného trakčního výkonu i spotřeby energie. V regionální dopravě jde o využívání délky nástupišť 200 m (optimálně v částečně dvoupodlažním provedení, tedy ucelené trakční jednotky s jednopodlažními trakčními vozy s elektrickou výzbrojí na střeše a s dvoupodlažními netrakčními vozy, které umožňují dosáhnout nejvyššího poměru počtu sedadel délce vlaku, respektive nástupiště), v dálkové dopravě jde o využívání délky nástupišť 400 m. Tyto trendy jsou provázeny růstem hmotnosti vlaků, výkonu potřebného k jejich dopravě jakožto i spotřeby energie.

Zásadní vliv na potřebný trakční výkon a spotřebu energie má zvýšení rychlosti jízdy vlaků. Ta narostla u všech kategorií vlaků. U osobních zastávkových vlaků ze 100 km/h na nyníjších 140 až 160 km/h, u rychlíků ze 100 až 120 km/h na nyníjších 160 km/h, u nákladních vlaků z někdejších typických 65 km/h na současných typických 100 km/h. Přitom nejvýraznější složka jízdního odporu vlaků, odpor prostředí (aerodynamický), roste s druhou mocninou rychlosti a výkon potřebný k jeho překonání se třetí mocninou rychlosti. Podobně je tomu s kinetickou energií, kterou je potřebné vytvářet při rozjezdu vlaků. Zvyšující se rychlost jízdy vlaků má proto zásadní vliv na dimenzování pevných trakčních zařízení.

3.5 Trakční vozidla

Od dob elektrizace hlavních tratí SŽDC se zásadně změnila i elektrická trakční vozidla pro napájení systémem 25 kV 50 Hz. Původní vozidla z šedesátých až devadesátých let minulého století postupně dožívají a jsou nahrazována soudobými moderními interoperabilními vozidly, která lze charakterizovat řadou odlišných parametrů a vlastností:

- růst jmenovitého trakčního výkonu lokomotiv z tradičních 3 MW respektive 4 MW na 6,4 MW,
- vybavení vozidel rekuperační brzdou o výkonu přibližně shodným s výkonem trakčním, přičemž nově dodávaná vozidla pro střídavé napájení již standardně nejsou vybavována brzdovými odporovými. Jimi rekuperovaný výkon je v souladu s požadavky TSI ENE nutno odebrat a předat přes trakční vedení jiným vozidlům a případný přebytek do 3fázové AC distribuční sítě. Při nesplnění této podmínky přechází z bezpečnostních důvodů vozidlo automaticky do režimu brzdění třecími brzdami, což zvyšuje náklady vlakové dopravy (ztráta energie, opotřebení brzdových destiček a brzdových kotoučů),

- vozidla o výkonu vyšším než 2 MW jsou podle TSI LOC&PAS povinně vybavována zařízeními pro automatické radikální snižování výkonu při poklesu napětí pod 90 % jmenovité hodnoty (tedy na AC systému se jmenovitým napětím 25 kV pod 22,5 kV). Toto snížení výkonu je velmi prudké, při napětí 19 kV klesá trakční výkon hnacího vozidla na pouhých 23 % jmenovité hodnoty (viz **příloha 3.1**). Takový propad by pochopitelně měl velmi negativní dopad na dodržení jízdních dob, které vlaku předepisuje jízdní řád stanovený SŽDC a které je dopravce (strojvedoucí) povinen respektovat, tedy je mu k tomu nutné zajistit podmínky v podobě kvalitního napájení. Tato skutečnost zásadním způsobem omezuje praktickou využitelnost záporných tolerancí napájecího napětí na sběrači vozidla uváděných v ČSN EN 50 163 při projektování a provozu elektrických drah – kritérium dodržení jízdního řádu je jim nadřazeno,
- vybavení vozidel vstupními čtyřkvadrantovými měniči zajišťujícím odběr (respektive dodávání) jen činného výkonu a to sinusového tvaru, zatímco původní vozidla s diodovými (nebo dokonce fázově řízenými tyristorovými) usměrňovači a se stejnosměrnými trakčními motory odebírala velmi vydatně i jalový výkon a proud byl nesinusový s vysokým obsahem vyšších harmonických složek. Filtrační a kompenzační zařízení (FKZ), dodatečně vybudovaná v trakčních napájecích stanicích, nezbytná pro provoz starších vozidel s nízkým účínkem a vysokým obsahem vyšších harmonických složek, byla systémově navržena, typově vyzkoušena a schválena pro vozidla s diodovými respektive tyristorovými usměrňovači, která je potřebují. FKZ nebyla řešena pro napájení vozidel se vstupními čtyřkvadrantovými měniči, neboť ta v době jejich vzniku v ČR nebyla. Po příchodu nových vozidel se čtyřkvadrantovými měniči došlo k několika závažným poruchám (požárům) FKZ, pravděpodobně v důsledku rezonančních jevů. Aktuálně je stav takový, že na tratích SŽDC jsou provozována jak vozidla, jejichž odběr proudu je pro splnění podmínek distribuční sítě potřebné pomocí FKZ filtrovat a kompenzovat (a zařízení FKZ nepoškodují) a vozidla, jejichž odběr proudu není pro splnění podmínek distribuční sítě potřebné pomocí FKZ filtrovat a kompenzovat (a zařízení FKZ mohou poškodit),
- Z mnoha důvodů se jeví pro provoz stále větší komplikací vypínání proudu při přejíždění neutrálního pole v trakčním vedení v místě střídání fází. Ta jsou při dosud používané technologii jednofázových transformátorů zapojených do V situována jak u každé trakční napájecí stanice 25 kV (trakční transformovny), tak uprostřed mezi nimi (spínací stanice). To je při současné typické vzdálenosti AC trakčních napájecích stanic (trakčních transformoven) 46 km v průměru po ujetí 23 km. Při aplikaci této technologie i v nynějších trakčních napájecích stanicích 3 kV (trakčních měnárnách) po jejich konverzi na 25 kV, které jsou situovány blíže sebe (typicky 26 km), by to dokonce bylo po ujetí pouhých 13 km. V místech střídání fází přikazuje návěst strojvedoucímu vypnout a následně další návěst znovu zapnout proud (neutrální pole je nutno přejíždět bez odběru proudu, aby nedošlo k vytažení oblouku s následkem mezifázového zkratu. Vypínání proudu způsobuje stále větší problémy:
 - při rychlosti 100 km/h respektive 120 km/h překonal vlak střední vzdálenost mezi místy vypnutí proudu, nařizeného z důvodu střídání fází v trakčním vedení, 23 km za 13,8 respektive 11,5 min, nyní při rychlosti 160 km/h je to již jen za 8,6 min a perspektivně při rychlosti 200 km/h za pouhých 6,9 min,
 - po vypnutí proudu dochází k přerušování tažné síly, což má vliv na rozjezd vlaku

- elektrodynamické brzdění je nutno vypnout a nahradit jej brzděním třecími brzdami, což znamená nevratnou ztrátu energie a zbytečné tepelné namáhání a opotřebení brzd,
- nastává zbytečné opotřebení spínacích přístrojů,
- přerušuje se činnost pomocných zařízení na trakčních vozidlech (ventilátory, kompresory, čerpadla) a přímé napájení palubních sítí (energii pro ně dodává po dobu přerušení akumulátorová baterie, která je tímto namáhána),
- rázy výkonu, které nepříznivě působí na 3fázovou AC distribuční síť (flickr), jsou při současných parametrech vysoce výkonných vozidel výrazně vyšší, než v minulosti (jednofázový odběr 8 MW/0/8 MW, jednofázová dodávka 6 MW/0/6 MW).

Jak z důvodů trakčního odběru, tak i z důvodu rekuperace brzdové energie a z důvodu zajištění funkce pomocných zařízení (palubních sítí) je plně opodstatněný požadavek na spojitě napájení vozidel z trakčního vedení bez přerušování.

Kromě výše uvedených technických příčin působí zde i lidské faktory:

- závislost na chybě lidského činitele – existuje reálné riziko, že strojvedoucí návěst nepostřehne či neuposlechne a proud nevypne. Důsledky mezifázového zkratu mohou poškodit trakční vedení i vozidla,
- významný a silný odpor dopravců. V nedávné minulosti bylo nutno kolem každé TNS 3kVDC projíždět se staženým sběračem, což bylo předmětem kritiky. Proto byla na systému 3kVDC v minulých letech přijata řada opatření k zajištění spojitěho napájení (vazba napaječových rychlovyvínačů), cíl spojitěho napájení se podařilo naplnit. Pokud by došlo po konverzi systému 3kVDC na 25kVAC k porušení spojitosti napájení vlaků, bylo by to velmi intenzivně (a oprávněně) kritizováno ze strany ČD, ČD C i dalších dopravců.

Je objektivní skutečností, že pro zajištění plynulého a spolehlivého provozu železnice je nutností zajistit vozidlům co nejvíce stabilní napětí v trakčním vedení (optimálně v intervalu U_{jm} až 1,1 U_{jm}), dodávku a odběr vysokých hodnot výkonu a nepřerušované spojitě napájení

3.6 Netrakční vozidla

Od dob elektrizace hlavních tratí SŽDC se zásadně změnila i netrakční vozidla, zejména vozidla určená pro přepravu osob. Vozidla jsou řešena pro vyšší rychlost jízdy a pro vyšší cestovní pohodlí (pevné a tuhé tlakotěsné vozové skříně, komfortní podvozky s kvalitním pneumatickým vypružením, aerodynamické zakrytí spodních partií, vysoce účinné kotoučové a kolejnicové brzdy, dokonalejší termické a akustické izolace, samočinné dveře, ventilace, klimatizace včetně elektrických měničů pro její energetické napájení, vakuové toalety s jímkami pro čistou vodu i pro fekálie, tlakotěsné mezivozové přechody, větší prostorové pohodlí, pohodlnější sedadla, kvalitní osvětlení, optické a akustické informační systémy, palubní síť 230 V 50 Hz, catering, ...) s přirozeným dopadem na růst hmotnosti. Například u osobních vozů 2. třídy došlo v důsledku růstu rychlosti jízdy a cestovního pohodlí ke zvýšení hmotnosti připadající na jedno sedadlo z původních cca 490 kg na sedadlo na současných cca 630 kg na sedadlo. To má pochopitelně významný vliv na potřebný trakční výkon i na spotřebu trakční energie.

Avšak i palubní sítě vozidel, sloužící k napájení osvětlení, ventilace, klimatizace (topení a chlazení) a dalších spotřebičů (toalety, dveře, informační systémy, catering, zásuvky pro cestující, ...) mají v současnosti u netrakčních vozidel mnohem větší význam, než v minulosti. Proto je u nich důležité spojitě napájení vlakového energetického vedení. Vypínání přívodu proudu při nespojitém napájení trakčního vedení na ně působí nepříznivě

- přerušuje se ventilace, vytápění a chlazení (klimatizace) interiérů vozidel pro přepravu cestujících s velmi negativním dopadem zejména na chod chladicích zařízení (dochází k přerušení režimu odpařování chladiva – riziko vniknutí nestlačitelné kapalně fáze do kompresoru, opakované těžké rozběhy kompresoru),
- přerušuje se přímé napájení osvětlovacích těles interiérů železničních vozidel (energii pro ně dodává po dobu přerušení akumulátorová baterie, která je tímto namáhána),
- periodicky přerušované napájení jídelních vozů zásadním způsobem komplikuje zajišťování cateringu. Běžné kuchyňské spotřebiče (mikrovlnné trouby, konvektory, kávovary, myčky nádobí, ...) resetují po přerušení napájecího napětí obsluhou nastavený program, zajištění spojitěho napájení je pro jejich správnou funkci nezbytné,
- u vozidel aktivním naklápěním vozové skříně a s aktivním příčným posuvem vozidlové skříně (Pendolino) dochází při výpadcích napájení k omezení těchto funkcí s dopadem na snížení rychlosti jízdy v obloucích.

Podobně jako u trakčních vozidel je i u netrakčních vozidel spojitě napájení velmi důležité.

3.7 Převážná poptávka

Navzdory intenzivnímu růstu počtu osobních automobilů se v České republice rok od roku zvyšuje podíl železnice na celkových přepravních výkonech osobní dopavy (viz **Příloha 3.2**). Za posledních 6 let (2010 až 2016) vzrostla v ČR na železnici přepravní poptávka o 34 %, tedy v průměru téměř o 6 % ročně (k úrovni roku 2010). Železnice je v ČR nejrychleji rostoucím přepravním módem osobní dopavy (viz **Příloha 3.3**). Potenciál růstu osobní železniční dopavy je značný. Dominantní přepravní mód, který železnice postupně nahrazuje, tedy individuální automobilová doprava, má dosud 61 % podíl na přepravních výkonech. Proto je potřeba přistupovat k dimenzování pevných trakčních zařízení velmi odpovědně.

3.8 Přílohy ke kapitole 3

Příloha 3.1

Omezování výkonu AC elektrické lokomotivy při poklesu napětí

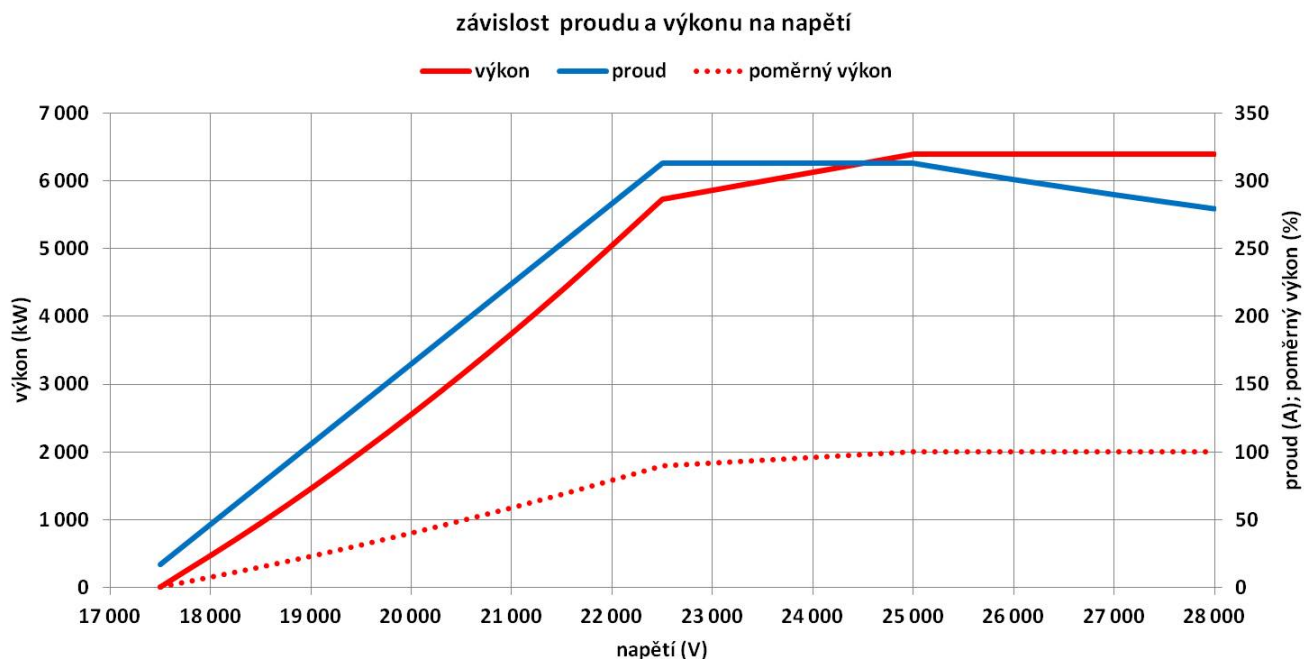
Příloha 3.2

Růst stupně automobilizace a růst podílu železnice na přepravních výkonech osobní dopavy v ČR

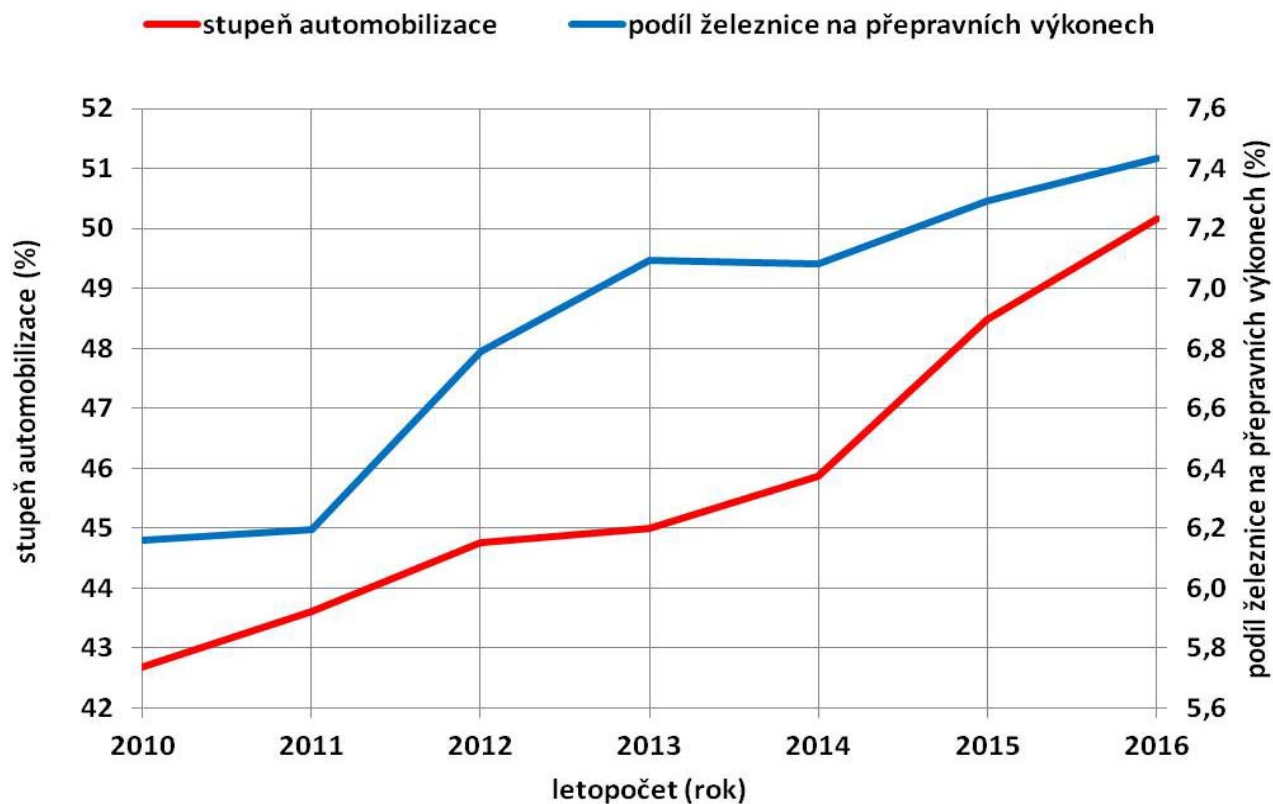
Příloha 3.3

Růst přepravních výkonů osobní železniční dopavy

Příloha 3.1 Omezování výkonu AC elektrické lokomotivy při poklesu napětí



Příloha 3.2 Růst stupně automobilizace a růst podílu železnice na přepravních výkonech osobní dopravy v ČR



Příloha 3.3 Růst přepravních výkonů osobní železniční dopravy

