

4 VÝVOJ NA STRANĚ DOPRAVNÍ CESTY

4.1 Obsah

4	VÝVOJ NA STRANĚ DOPRAVNÍ CESTY	1
4.1	Obsah	1
4.2	Všeobecně	2
4.3	Nové tratě	2
4.4	Počet kolejí	2
4.5	Traťová rychlost	3
4.6	Délka staničních kolejí	3
4.7	Netrakční spotřeba	3
4.8	Subsystém CCS	3
4.9	Ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí	4
4.10	Ochrana před úderem blesku	5
4.11	Řízení dopravy (následná mezidobí)	5
4.12	Jízdní řád	6

4.2 Všeobecně

Železniční dopravní cesta je tvořena trojicí strukturálních subsystémů: trať (INS), elektrické napájení (ENE) a řízení a zabezpečení (CCS). Jejich vzájemný soulad je základní podmínkou funkčnosti a rozvoje železniční dopravní cesty. Proto je potřebné při rozvoji pevných trakčních zařízení (subsystém ENE) pozorně sledovat vývojové trendy i v oblasti subsystémů INS a CCS.

4.3 Nové tratě

Elektrizované železnice vytvářejí nejen kolejovou, ale i elektrickou (energetickou) síť. Jejím základem jsou trakční napájecí stanice. Cena napájecí stanice má konstantní složku (na výkonu nezávislou) a proporcionální složku (výkonu přímo úměrnou):

$$C = C_0 + k \cdot P$$

Měrná cena trakční napájecí stanice (mil. Kč/MW) proto klesá s rostoucím výkonem:

$$c = C / P = (C_0 + k \cdot P) / P = C_0 / P + k$$

Obecně proto platí, že je levnější budovat méně napájecích stanic vyššího výkonu, než více napájecích stanic nízkého výkonu. Rozšíření úhlu pohledu o stranu distribuční sítě tuto skutečnost ještě více zdůrazňuje. Navíc požadavek na nové připojení k distribuční síti může být na hraně splnitelnosti nebo časově velmi náročný (průchodnost vn (vvn) vedení územím). Proto je rozumné při budování nových tratí (aktuálně zejména vysokorychlostních) sdružovat jejich napájení společně s napájením tratí již dříve elektrizovaných, tedy vyžít společné trakční napájecí stanice. Tento princip se ostatně týká nejen novostaveb železničních tratí, ale i nové elektrizace již existujících železničních tratí.

4.4 Počet kolejí

Zásadní vliv na zatížení pevných trakčních zařízení má počet kolejí. Nejde jen o statický pohled na výkonové dimenzování, ale o časový průběh zatížení. Na dvojkolejných (respektive více kolejných) tratích probíhá provoz na jednotlivých kolejích v zásadě nezávisle na sobě, odebírané výkony se v napájeném úseku náhodně překrývají a doplňují. Odběr výkonu je díky tomu vyrovnaný a brzdícími vlaky rekuperovaná energie je zpravidla spotřebována jinými (rozjíždějícími se) vlaky. Poměr maximálního ke střednímu výkonu trakční napájecí stanice je proto příznivě vyvážený, instalovaný výkon je dobře využit.

Na jednokolejně trati je situace odlišná. Zejména při taktovém jízdním řádu dochází v napájeném úseku k opakovanému střídání směru jízdy vlaků a k jejich křižování. Odběr výkonu z napájeného úseku je proto velmi nevyvážený. V taktu jízdního řádu se střídají období nízkého či dokonce nulového odběru (v úseku není žádný vlak), období přebytku rekuperované energie (oba protijedoucí vlaky se blíží ke křižovací stanici a brzdí) a období velkých odběrů (oba protijedoucí vlaky se po vykřižování rozjíždějí). Poměr maximálního ke střednímu výkonu trakční napájecí stanice je proto velmi nevyvážený, instalovaný výkon je špatně využit.

Racionálním řešením je nenapájet jednokolejně tratě samostatně z jednotlivě zřízených trakčních napájecích stanic, ale jejich napájení společně sdružovat, respektive je přidružovat k napájení dvoukolejných tratí s intenzivním provozem. Takto pojatý princip vytváření co nejvíce rozlehlé napájecí sítě vede k hospodárnému využívání instalovaného výkonu trakčních napájecích stanic (příznivě nízký poměr maximálního a středního výkonu) a k prioritní spotřebě rekuperované energie v trakčním systému. Je však podmíněn aplikací principu jednotné fáze.

4.5 Traťová rychlost

Rychlost jízdy vlaku má zásadní vliv jak na měrnou spotřebu energie, neboť aerodynamická složka jízdního odporu i odpor zrychlujících sil rostou s druhou mocninou rychlosti. Podobně i energie rekuperovaná při zastavovacím brzdění roste s druhou mocninou rychlosti. Velmi závažným důsledkem vyšší rychlosti jízdy je kratší doba výskytu vlaku v napájeném úseku určité délky. Společným výsledkem zvýšení rychlosti jízdy vlaků (vyšší výkon a kratší doba jeho působení) je velké rozkolísání zatížení jednotlivých trakčních napájecích stanic: odebírané i navracené výkony jsou výrazně vyšší (účinkem třetí mocniny rychlosti: $P = E(v^2) / T \sim v^3$) a trvají kratší dobu. Zmírnit nepříznivé důsledky vyšší rychlosti jízdy vlaků na charakter zatížení trakčních napájecích stanic lze jedinečně vytvářením dlouhých napájených úseků (dvojstranné napájení, příčné a podélné spínání, síťování) s příznivým vlivem na snížení poměru mezi maximálním a středním výkonem i na prioritní absorpci rekuperované energie v trakčním systému s minimálním návratem do distribuční sítě.

4.6 Délka staničních kolejí

Hmotnost nákladních vlaků je spolu s rychlostí a četností jejich jízdy klíčovým parametrem pro dimenzování pevných trakčních zařízení (subsystém ENE). Důsledky Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 1316/2013 týkající se parametrů evropských železničních nákladních koridorů (RFC), jmenovitě délky nákladních vlaků 740 m nelze vnímat jen z hlediska potřebné délky předjízdňových kolejí v železničních stanicích (paradoxně na nich nákladní vlaky nechťejí stát, chtějí těmito stanicemi projet). Je proto potřebné je velmi pečlivě posuzovat z hlediska výkonnosti pevných trakčních zařízení, která musí být dimenzována tak, aby zajistila napájení 740 m dlouhých a úměrně své délce i těžkých nákladních vlaků, jedoucích ve svazku garantovaných rychlých tras.

4.7 Netrakční spotřeba

Dominantním odběratelem elektrické energie z trakčního vedení jsou vozidla. Navzdory aktuální tendenci řešit napájení vedlejší spotřeby na trati z průběžné linky 3AC 22 kV existují i netrakční odběry elektrické energie z trakčního vedení (například: elektrický ohřev výměn), které je též nutno vzít v úvahu při dimenzování výkonu trakčních napájecích stanic.

4.8 Subsystém CCS

Zásadním faktorem pro dimenzování pevných trakčních zařízení (subsystém ENE) je kromě parametrů vlaků (hmotnost, jízdní odpor, trakční výkon, rychlost, vedlejší spotřeba, ...) a tratí (sklon, poloměr oblouků, traťová rychlost, průřez a délka tunelů, ...) též vzájemný interval (odstup) mezi vlaky.

Řízení sledu jízdy vlaků s uvažováním limitu zatížitelnosti pevných trakčních zařízení (záměrné zvětšení odstupu mezi vlaky dopravovanými elektrickými trakčními vozidly na úroveň elektrických následných mezidobí – viz Předpis pro zjišťování propustnosti železničních tratí D24 - se ukázalo jako nevhodné:

- pevná trakční zařízení limitují propustnou výkonnost tratě,
- zejména v kritických situacích (výluky, mimořádné situace, zpoždění vlaku, ...), kdy je velký zájem nezdržovat provoz vlaků, působí požadavek na respektování elektrických následných mezidobí velmi kontraproduktivně, respektive až konfliktně,

- při nerespektování následných mezidobí vzniká riziko výpadku Trakční napájecí stanice,
- vlastní předpis D 24 je zastaralý, zhruba 30 let již nebyl aktualizován, nebere ohled na nová vozidla,
- při přechodu od místního řízení dopravního provozu na dálkové řízení dopravního provozu se vytratila povinnost sledovat elektrická následná mezidobí,
- při zavádění automatického řízení dopravního provozu (automatického stavění vlakových cest) není uvažován princip elektrického následného mezidobí.

Tento stav věcí je též do jisté míry ovlivněn poklesem nákladní dopravy na přelomu 20. a 21. století a jejímu soustředění především na nepříliš sklonově náročné tratě 1. a 2. národního tranzitního železničního koridoru.

Současné mínění je všeobecně takové, že pevná trakční zařízení (subsystém ENE) by neměla limitovat dopravní provoz. Sled vlaků, umožněný konfigurací kolejiště (subsystém INS) a zabezpečovacím zařízením (subsystém CCS) má subsystém ENE energeticky zajistit, a to i při své částečné poruše, respektive výluce (ve stavu N – 1).

Tento požadavek nabývá na závažnosti zejména v souvislosti s instalací jednotného evropského vlakového zabezpečovače ETCS, který umožňuje jízdu vlaků v těsnějším sledu.

4.9 Ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí

V souvislosti s růstem dopravních výkonů a tím i zpětných proudů vzrůstá na vážnosti úbytek napětí na kolejnicích. Vůči stejnosměrnému systému 3 kV jsou sice u systému 25 kV díky přibližně osminásobně násobně vyššímu napětí zpětné proudy zhruba osminásobně nižší, avšak při průtoku střídavého proudu se u kolejnic projevuje zvýšení činného odporu skinefektem a indukčnost způsobuje fázově posunutý úbytek napětí na induktivní reaktanci.

Velký úbytek napětí na kolejnicích je nežádoucí nejen z důvodu ochrany před nebezpečným dotykem kolejnic ve smyslu ČSN EN 50 122-1, ale i z důvodu propalování kolejnicových styků na kosých propojkách, na kterých působí rozdíl úbytků napětí na kolejnicích protékajícími odlišnými zpětnými trakčními proudy. K propalování izolovaných styků dochází plazivými povrchovými proudy u vrchní strany stojiny kolejnic, která je znečištěná prachem a vlhkostí (na rozdíl od izolovaných styků na tratích napájených stejnosměrným systémem 3 kV, které se napalují shora u temene kolejnic, a to působením oblouku při zkratování izolovaného styku oběžnou plochou kol železničních vozidel).

Izolované styky představují v mechanice železničního svršku s bezstykovou kolejí prvek nehomogenity. Kolejnice je zde namáhána nikoliv jako prostý nosník, ale jako krakorcový nosník, vlastní izolační vložka je poškozována vysokým měrným tlakem a trpí opotřebením. Proto musí být v pravidelných intervalech periodicky měněna, což vyžaduje několikahodinovou výluku.

Rozumné je využít náhradu vlakového zabezpečovače třídy B (národní systém LS) vlakovým zabezpečovačem třídy A (jednotný evropský vlakový zabezpečovač ETCS) k odklonu od používání kolejových obvodů. Volnost koleje kontrolovat nikoliv prostřednictvím kolejových obvodů, ale pomocí počítačů náprav. Izolované styky zrušit a přejít na důsledné uzemňování obou kolejnicových pásů (železniční zem). To též napomůže ke snížení nežádoucího potenciálu mezi nulovým vodičem systému 3 AC 400 V /230 V a kolejnicí, respektive s kolejnicemi spojenými vozidly, což je nutné pro správnou funkci ochrany v síti TN a k zamezení poškozování vodičů PEN průtokem vyrovnávacích proudů.

4.10 Ochrana před úderem blesku

Závažným tématem je ochrana kolejového roštu a s ním spojených zařízení před úderem blesku. Nedokonalé uzemnění kolejnic, podmíněné funkcí kolejových obvodů, vede k tomu, že výsledná impedance kolejového roštu je poměrně vysoká, kolejnice se proto chovají jako nedokonalé uzemněnýbleskosvod. Důsledkem je poškození s kolejnicemi spojených zařízení (zejména zabezpečovací techniky) při úderu blesku a následné přerušení provozu v období atmosférických bouřek. Také z tohoto hlediska je odstranění izolovaných styků a důsledné pravidelné uzemňování obou kolejnicových pásů (přechod na železniční zem) přínosem pro vyšší spolehlivost železniční dopravní cesty.

4.11 Řízení dopravy (následná mezidobí)

Natnou podmínkou správného a hospodárneho fungování železnice je soulad všech čtyř jejích strukturálních subsystémů:

- trať (INS),
- elektrické napájení (ENE),
- řízení a zabezpečení (CCS),
- vozidla (RST).

Z hlediska plného využití kapacity železniční dopravní cesty je podstatné, aby sled jízdy vlaků, umožněný výkonností subsystému CCS nabyt limitován nižší výkonností subsystému ENE. Nejde jen o logický požadavek na hospodárné využívání možností investic vložených do rozvoje železniční dopravní cesty, ale i o prostý fakt, že řízení sledu jízdy vlaků primárně provádí subsystém CCS. Po uvolnění koleje (vlakové cesty) dostává vlak povolení respektive oprávnění k jízdě automaticky a to bez kontroly kondice pevných trakčních zařízení. Princip řízení sledu jízdy vlaků v delších časových odstupech (elektrická následná mezidobí), respektujících proudové a tepelné poměry v pevných trakčních zařízeních, není již v současných technologických algoritmech dálkového či automatického řízení vlakové dopravy uvažován.

Z této skutečnosti logicky vyplývá, že v normálním provozním stavu (a při poruše N – 1 jak na straně distribuční soustavy, tak i TNS) musí být subsystém ENE dimenzován tak, aby neomezoval sled jízdy vlaků umožněný funkcí subsystému CCS a nezpožďoval jízdní doby vlaků stanovené jízdním řádem a dosažitelné příslušnými vozidly (subsystém RST). To platí jak pro pravidelný provoz, tak i pro základní údržbové, respektive výlukové stavy (jednokolejný provoz dvoukolejné trati) a pro odklonové trasy a to pro 30 let životnosti nově budovaných pevných trakčních zařízení.

Výjimka z tohoto pravidla je možná v případě, kdy by takové dimenzování pevných trakčních zařízení vedlo k neúměrně vysokým investičním nákladům (například vedlejší tratě s nízkou přepravní poptávkou a traťové úseky s extrémně velkými sklony). Pak však musí technologie a řízení dopravního provozu respektovat omezenou výkonnost subsystému ENE.

Velice užitečnou možností pro extrémní situace (například poruchy N-2, vedoucí k dočasnému snížení okamžité výkonnosti subsystému ENE) vytváří automatické prodlužování následných mezidobí prostřednictvím zařízení pro redukci trakčního výkonu vozidel při poklesu napětí na sběrači vozidla

pod 90 % jmenovité hodnoty, kterým jsou podle TSI LOC & PAS a v souladu s ČSN EN 50 388 povinně vybavována všechna trakční vozidla o výkonu vyšším než 2 MW.

Princip automatického prodlužování následných mezidobí je následující:

- trakční napájecí stanice reaguje na své přetížení poklesem napětí,
- pokud klesne napětí na sběrači vozidla pod 90 % jmenovité hodnoty, dojde k proporcionálnímu snížení trakčního výkonu dotyčného vozidla (tím je zároveň předcházeno zásahu podpěťových ochran na vozidlech a nadproudových ochran na TNS),
- pokles disponibilního výkonu způsobí snížení rychlosti jízdy vlaku (vozidlo však disponuje neomezenými tažnými silami, vlak jede pomaleji, ale neuvízne),
- v důsledku poklesu rychlosti jízdy vlaků dochází k prodloužení jízdních dob a tím zvětšení odstupu mezi vlaky - automaticky se vygeneruje prodloužené (elektrické) následné mezidobí,
- takto vytvořené následné mezidobí v sobě nemá žádné nadbytečné přírážky, TNS si samy řídí sled jízdy vlaků tak, jak je stačí napájet,
- po pominutí přetížení se TNS zotaví, napětí vzroste. Vozidla jsou opět schopna pracovat neomezeným výkonem, vlaky jezdí rychle a v neprodlouženém sledu, jízdní řád je plněn.

Je pochopitelné, že jde o nouzový nástroj pro zvláštní situace. Nelze využívat v pravidelném provozu, neboť by vedl k nedodržení předepsaných jízdních dob a tím ke zpoždění vlaků a k porušení jízdního řádu.

4.12 Jízdní řád

Základem plánování a řízení dopravy je jízdní řád. Je sestavován na základě výpočtu jízdních dob. Výpočet jízdních dob je prováděn řešením diferenciální rovnice jízdy vlaku. Důležitým vstupem pro výpočet jízdních dob je trakční charakteristika trakčních vozidel, dopravujících vlak. Ta je u vozidel elektrické trakce definována pro jmenovité napětí. Skutečná trakční charakteristika je však závislá na hodnotě okamžitého skutečného napětí na sběrači vozidla. Pro reálnou dosažitelnost vypočtených jízdních dob a tím i pro reálnost jízdního řádu je důležitá napěťová konvence mezi výpočtem napájení vlaků a výpočtem jízdních dob. Pokud jsou jízdní doby pro konstrukci jízdního řádu počítány podle trakčních charakteristik trakčních vozidel, platných pro jmenovité napájecí napětí, nemělo by napětí na sběrači klesat pod 90 % jmenovité hodnoty (tedy pod 22 500 V), neboť při poklesu napětí pod 90 % jmenovité hodnoty dochází k radikálnímu proporcionálnímu poklesu trakčního výkonu a to až k hodnotě 0 kW při napětí na 70 % jmenovité hodnoty (tedy na 17 500 V) – viz příloha 3.1. I tak již znamená pokles napětí na 22 500 V pokles trakčního výkonu na 90 % jmenovité hodnoty, který není kompenzován zvýšením trakčního výkonu při klidné odchylce napětí (při $U > 25\,000\text{ V}$).