

# Podmínky provozu moderních kolejových vozidel v České republice

Jan MAJ<sup>1</sup>, Jiří POHL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ing. Jan Maj, Siemens s.r.o., Siemens Kolejová vozidla s.r.o.

<sup>2</sup>Ing. Jiří Pohl, Siemens Kolejová vozidla s.r.o.

## Abstrakt

Na základě zkušeností s vývojem a mnohaletým provozem velkého počtu elektrických vozidel závislé trakce s frekvenčně řízenými střídavými trakčními i pomocnými pohony lze konstatovat, že jde o vysoce přínosný a prakticky jediný perspektivní směr. Problém však spočívá v jejich návaznosti na infrastrukturu vybudovanou v minulosti. Dosud se na železnici používají zabezpečovací zařízení stará několik desítek let, která vznikla v době, kdy nebyly kladeny takové požadavky na vzájemnou kompatibilitu tratí a vozidel jako dnes. Konečným řešením této otázky je kompatibilita tratí a vozidel jejich důsledným zhotovováním podle Technických směrnic interoperability. To je však ještě poněkud vzdálená budoucnost. V zájmu zvýšení efektivity železniční dopravy i její konkurenceschopnosti s ostatními druhy dopravy je proto nyní aktuální programově zvýšit odolnost kolejových obvodů vůči rušivým proudům tak, aby i Česká republika již brzy mohla využívat přednosti moderních trakčních vozidel.

**klíčová slova: trakční vozidla, infrastruktura, kompatibilita, kolejové obvody**

## 1. Bezpečnostní požadavky

Jednou ze základních charakteristik každé lidské činnosti je bezpečnost. To pochopitelně platí i pro železniční dopravu. Bezpečnost není jen prázdným pojmem proklamativního charakteru, postupem času se stala objektivně měřitelným kritériem. Zejména ve vazbě na normu EN 50 126 se v evropských zemích bezpečnost chápe (podobně jako spolehlivost, náklady životního cyklu či vlivy na životní prostředí a další průřezové vlastnosti) jako objektivně hodnotitelná a doložitelná vlastnost systému.

Existuje více kritérií posuzování bezpečnosti. Jedním z nich, které se používá zejména při významných inovačních krocích, je původem francouzské kritérium ALARP – nový systém musí být alespoň tak bezpečný, jako předchozí systém. Tradiční železnice vyniká vysokým stupněm bezpečnosti. Je důležité a vůbec ne samozřejmé, aby si železnice tuto vlastnost zachovala i při výrazném zvýšení svých parametrů a své funkčnosti. Například to, aby si železnice zachovala stejný stupeň bezpečnosti jako tradiční železnice jezdící rychlostí 100 km/h i při rychlosti 300 km/h, vyžaduje mnoho úsilí jak na straně vozidel, tak i infrastruktury.

## 2. Střídavé trakční motory

Podobně lze nazírat na současnou pohonnou techniku kolejových vozidel. Třífázové asynchronní trakční motory jsou již sice na železničních vozidlech používány od roku 1892, avšak teprve jejich napájení z polovodičových střídačů otevřelo v roce 1971 cestu k hromadnému používání této techniky.

V technicky a hospodářsky vyspělých západoevropských zemích začala vozidla se střídavými trakčními motory, napájenými z polovodičových měničů, nahrazovat vozidla s komutátorovými trakčními motory již v osmdesátých letech minulého století. Postupně se tento trend rozšířil po celém světě a do všech druhů trakčních vozidel. Důvodem hromadného přechodu od komutátorových trakčních motorů, které byly v kolejové dopravě používány od roku 1879, tedy zhruba sto let, ke střídavým strojům s polovodičovými měniči, jsou jejich zásadní přednosti. Ty v podstatě vyplývají z toho, že původně používaný mechanický kontaktní střídač (komutátor) umístěný přímo v elektrickém stroji, který vyžadoval čistotu a podléhal opotřebením, byl nahrazen bezkontaktním polovodičovým střídačem umístěným vně elektrického stroje a pracujícím bez opotřebením:

- přesunutí komutátoru z trakčního motoru do měniče zmenšilo prostorové nároky trakčního motoru, což umožnilo buď při zachování rozměrů zvýšit moment a výkon trakčního motoru, nebo při zachování parametrů trakčního motoru zmenšit jeho rozměry a tím i potřebný prostor pro jeho zástavbu v podvozku,
- náhrada kontaktního principu střídače (s přímým vzduchovým chlazením částí pod napětím) bezkontaktním střídačem (s bezpotenciálovým chlazením) výrazně snížila nároky na údržbu i poruchovost pohonných zařízení,
- elektronické řízení činnosti střídače dalo pohonům zcela nové regulační vlastnosti využitelné i v oblastech, které původní technika komutátorových strojů zvládala s obtížemi (řízení tažných sil na mezi adheze, rekuperační brzdění).

Tyto přednosti způsobily, že se střídavé stroje prosadily i v oboru elektrické trakce. Stalo se tak o zhruba sto let později než v oboru běžných průmyslových pohonů, kde tento proces proběhl již na přelomu devatenáctého a dvacátého století. Příčinou stoletého zpoždění tohoto přechodu i v oboru trakčních pohonů za standardními průmyslovými pohony je nutno spatřovat ve velkých setrvačných hmotách vlaků, které nelze tak snadno a rychle rozbíhat, jako například obráběcí stroje, a v potřebě řídit proměnnou rychlost. Podobně obtížně jako u vozidel, se střídavé pohony prosazovaly i v těch oblastech průmyslu, kde bylo potřeba řídit rychlost či pohybovat těžkými předměty.

V průběhu několika desetiletí se několikrát změnilы technické prostředky sloužící k realizaci střídavých elektrických pohonů:

- proběhla náhrada konvenčních tyristorů GTO tyristory a posléze IGBT tranzistory,
- proběhla náhrada synchronních motorů s elektromagnetickým buzením rotoru asynchronními motory a později i synchronními motory s buzením rotoru permanentními magnety,
- proběhla náhrada analogového řízení digitálním.

Veškeré tyto dílčí kroky způsobily a způsobují nárůst kvality střídavých pohonů. Ty se proto staly samozřejmostí v trakčních i pomocných pohonech vozidel. Již několik let v zásadě není žádný důvod,

proč pokračovat ve výrobě pohonů s komutátorovými stroji – jejich výroba je v podstatě kažením materiálu, neboť výsledný produkt dosahuje nižší efekt, než je možné.

### 3. Význam a přínos střídavých trakčních pohonů

Technika polovodičovými měniči řízených trakčních pohonů přinesla nové hodnoty a zásadním způsobem pozitivně ovlivnila obor kolejových vozidel:

- možnost zvýšit výkon pohonu dvojkolí o zhruba 50 % spolu se schopností lépe řídit tažné síly na mezi adheze vedla k odklonu od používání těžkých šestnápravových elektrických lokomotiv s nežádoucími účinky na trať ve prospěch lehčích, levnějších a jednodušších lokomotiv čtyřnápravových při zachování jejich trakčních vlastností,
- možnost zmenšit rozměry trakčních motorů vedla k usnadnění řešení nízkopodlažních vozidel. To se významně projevilo zejména v oboru tramvají, kde prakticky ustala výroba tradičních (bariérových) tramvají,
- možnost umístit trakční pohon vysokého výkonu v železničních vozidlech pro dopravu osob způsobila náhradu velké většiny vlaků dopravovaných lokomotivami ucelenými jednotkami, a to prakticky v celém spektru jejich aplikací - od příměstské a regionální dopravy až po dálkové a vysokorychlostní vlaky,
- schopnost rekuperovat při brzdění kinetickou či potenciální energii vlaku její přeměnou na elektrickou energii našla velmi široké uplatnění jak v městské, tak i v železniční dopravě. Úspory energie dosahují v provozu až 50 %, což je s ohledem na končící období energetické hojnosti velmi podstatné,
- výrazné zvýšení spolehlivosti vozidel, které provází i zvýšení jejich dostupnosti (poklesem četnosti a rozsahu preventivní i korektivní údržby došlo k poklesu správkového procenta z desítek na jednotky procent), se projevilo podstatným poklesem nákladů na údržbu a její personální náročnosti. V důsledku toho přestala být údržba jednou ze základních činností provozovatele dopravy a stává se předmětem outsourcingu.

### 4. Související komplikace

Každá věc má vedle svých pozitiv i určitá negativa. To platí i pro střídavé pohony s polovodičovými měniči. Jsou složitější a vývojově náročnější než tradiční pohony. To vedlo k větší koncentraci výroby do velkých firem a k uplatnění typově vyzrálých vozidel na celosvětovém trhu. Tyto kroky umožnily zvládnout vyšší složitost a vývojovou náročnost vozidel, takže v běžném provozu nejsou vyšší složitostí ani vozidla ani dopravci nijak postiženi. V průběhu let byly vyvinuty spínací součástky na patřičně vysoké napětí. To umožnilo vyřešit napájení polovodičových měničů i trakčních motorů přímo ze sítě 3 kV bez problematického sériového řazení prvků či měničů. Tím nastalo sjednocení obvodových řešení vozidel pro stejnosměrné napětí 600 V až 3 kV.

Postupně se zvládly i otázky pulsačních momentů, vibrací a hluku, které mají tendenci provázet frekvenčně řízené pohony. Z velké části se též podařilo vyřešit otázky elektromagnetické kompatibility vozidel se střídavými pohony napájenými z polovodičových měničů s ostatními zařízeními. V zásadě

Ize říci, že elektromagnetická kompatibilita moderních kolejových vozidel s těmi okolními prvky, které jsou alespoň rámcově v Evropě standardizovány, jako například rozhlasové a televizní vysílání, hovorové i povelové radiostanice, mobilní telefony, přenos dat, notebooky či kardiostimulátory, je v zásadě vyřešena a je též vcelku jednoznačně kontrolovatelná a prokazovatelná.

Závažnou otázkou však stále zůstává vzájemná snášenlivost kolejových vozidel s frekvenčně řízenými střídavými pohony a starších typů železničních zabezpečovacích zařízení. Z bezpečnostních důvodů je tato skutečnost naprosto zásadní a neopomenutelnou podmínkou provozu moderních vozidel.

## 5. Historické souvislosti

Příčinu, proč nejsou evropské železnice v oblasti možného ovlivnění zabezpečovací techniky provozem vozidel technicky jednotné, musíme hledat v nejednotnosti systémů elektrizace železničních tratí. Ta má své kořeny v období krátce po skončení první světové války. V té době umožňovala evropská normálněrozchodná železniční síť svými parametry v podstatě volný pohyb vozidel včetně lokomotiv. To se ostatně potvrdilo i při válečných operacích.

Zcela logicky vznikl záměr, aby se sjednotila i elektrizace hlavních tratí tehdy se rozvíjející železnice. Ke škodě věci však byla vojenská a politická hlediska silnější než hlediska technická. Iniciativa zavést v Evropě v rámci UIC jednotný systém 15 kV 16 2/3 Hz byla spojována s ve válce poraženým Německem a Rakouskem. Francie prosazovala stejnosměrný systém 1,5 kV, Itálie systém 3 kV, Maďarsko činilo pokusy s použitím střídavého napětí o kmitočtu 50 Hz.

Pod dojmem hrůz ze světové války byla v té době železnice vcelku přirozeně chápána jako důležitá součást obranyschopnosti každého státu. Možnost zabránit vstupu nepřátelských lokomotiv na území státu se v té době, kdy na sebe sousední státy nahlížely jako na potenciální nepřátele, cenila více než volný pohyb vlaků po celém evropském prostoru. Československo, jako stát náležící k Dohodě, zavedlo již i v té době problematický systém 1,5 kV, ale (naštěstí) jen ve velmi malém rozsahu.

Upřednostnění vojenských zájmů vedlo k nejednotnosti elektrizace železničních tratí v Evropě, v zásadě orientované do tří systémů: 1,5 kV, 3 kV, 15 kV. Po druhé světové válce se situace v podstatě opakovala. Zpočátku byl silněji rozvíjen systém 3 kV, na který přešlo i Československo. V pozdějších letech Francie místo systému 1,5 kV zavedla a propagovala systém 25 kV 50 Hz. Ten pak zvolily jako základní ty státy, které zahajovaly elektrizaci svých tratí později, až v šedesátých letech. Jiné státy, jako například Svaz sovětských socialistických republik a po jeho vzoru Československá socialistická republika, zavedly systém 25 kV 50 Hz jako druhý vedle systému 3 kV. Tak došlo k rozdrobení evropské železniční sítě na množství dílčích území lišících se způsobem napájení drah.

Tento stav dopravní infrastruktury je v současnosti, kdy spolu evropské národy neválčí, ale spolupracují, pro železnici velmi nevýhodný, neboť brání volnému pohybu elektrických trakčních vozidel. Tato nevýhoda je o to významnější, že žádný jiný dopravní systém podobné omezení nemá – silniční, vodní i vzdušná dopravní cesta umožňují automobilům, lodím i letadlům volný pohyb.

Zejména v souvislosti se zvyšováním rychlostí a výkonů vozidel se v současnosti stejnosměrné systémy 1,5 a 3 kV jeví neperspektivními a řada evropských států je, zejména na nově budovaných tratích, postupně opouští (Španělsko, Itálie, Belgie, Holandsko, Slovensko). Ale i tak zůstávají v Evropě čtyři systémy napájení železnic, které jsou navíc do sebe velmi propleteny a rozděleny na poměrně malá území.

Tomuto stavu se podřídila technika současných vícesystémových elektrických trakčních vozidel. Jejich trakční i pomocné měniče se napájí z meziobvodu o napětí 3kV, který je na tratích elektrizovaných systémem 3 kV napájen přímo, na tratích elektrizovaných systémem 1,5 kV přes zvyšovací vstupní měnič a na tratích elektrizovaných systémem 15 nebo 25 kV přes transformátor s pevným převodem a přes čtyřkvadrantový vstupní měnič.

Z hlediska soudobé pohonné techniky kolejových vozidel sice znamená existence čtyř různých napájecích systémů evropských železnic komplikaci, ale ne neřešitelnou překážku.

## 6. Kolejové obvody

Závažnější problémem představuje kompatibilita vozidel se střídavými trakčními motory napájenými z polovodičových měničů a kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení. Kolejnicemi protéká nejen proud kolejových obvodů, ale i zpětný proud elektrických trakčních vozidel. Z důvodu neovlivnění funkce zabezpečovacích zařízení činnosti vozidel byly kmitočty pracovních proudů kolejových obvodů voleny tak, aby se neshodovaly s kmitočtem zpětných proudů. Tato volba však neproběhla u jednotlivých železnic shodně. V Evropě tak vzniklo ke čtyřem systémům napájení elektrických vozidel velké množství systémů kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení, která pracují na nejrůznějších kmitočtech. Různé principy a různé pracovní kmitočty kolejových obvodů tvoří základ nejednotnosti evropské železniční sítě, a tedy i nežádoucí jedinečnosti národních železnic.

## 7. Vliv měničů frekvence

Zásadní rozdíl mezi střídačem, realizovaným komutátorem a polovodičovým střídačem je v počtu fází. Komutátory s uhlíkovými kartáči měly z obavy před vznikem kruhového ohně nízké mezilamelové napětí, a tudíž měly mezi kartáči různé polarity velký počet lamel. Zvlnění proudu způsobené otáčením rotoru bylo proto nepatrné, kmitočty střídavého proudu z rotoru stroje nepronikaly do napájecí sítě.

Střídavé stroje jsou naproti tomu řešeny jako třífázové, polovodičový měnič, který je napájen, má proto tendenci odebírat ze stejnosměrného meziobvodu kromě stejnosměrného proudu i střídavé složky o kmitočtu rovném kmitočtu proudu motoru a jeho násobkům. Spektrum střídavých složek vstupního proudu měniče frekvence je proto spojitě. Jejich kmitočty je úměrný rychlosti jízdy vozidla a jejich amplituda je úměrná výkonu vozidla. Tyto proudy však na napájecí síť nepůsobí přímo, ale přes vstupní LC filtr vozidla. Jeho útlum roste s rostoucími frekvencemi, a tedy i rychlostí jízdy, neboť jak induktivní reaktance, tak kapacitní admitance jsou úměrné frekvenci.

Amplituda na síť působících, a tedy i do kolejnic odcházejících rušivých proudů proto roste s výkonem vozidla a klesá s jeho rychlostí. Velmi přibližně je tedy úměrná tažné, respektive brzdné

síle vozidla. Jejich frekvence se mění úměrně s rychlostí vozidla, dominantní je základní harmonická vlna statorového proudu, ale vyskytují se i její násobky, a také subharmonická, odpovídající mechanické frekvenci otáčení rotoru ( $f/p$ ). Toto spojitě spektrum znamená zásadní rozdíl mezi vozidly se střídavými frekvenčně řízenými pohony a vozidly se stejnosměrnými komutátorovými motory a pulsními měniči taktovanými s pevnou frekvencí, které mají spektrum čárové.

Vozidlo s frekvenčně řízenými střídavými trakčními motory produkuje střídavé složky zpětného proudu o frekvenci, která se mění v závislosti na rychlosti jízdy, tedy na traťových podmínkách a na odporu vlaku. Záleží na provedení a řízení měničů, respektive vstupních filtrů, na jakou úroveň se tyto složky podaří utlumit, což má pochopitelně své technické meze.

## 8. Řešení kompatibility

Kompatibilita vozidel se střídavými trakčními motory a kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení není novou otázkou, v Evropě se řeší již několik desetiletí, a to nejen na železnici. Lze připomenout i případ pražského metra, kde z důvodu prevence možné kolize byl v předstihu před nasazením vozidel typu M1 s asynchronními trakčními motory a IGBT napěťovými střídači nahrazen původní nízkofrekvenční vlakový zabezpečovač ARS za nový systém PA 135.

Hlavním úkolem při řešení kompatibility je dosažení souladu vozidel a infrastruktury, a to vstřícností z obou stran. Pochopitelně však platí zásada, že na tratích či ve stanicích vybavených určitým typem zabezpečovacího zařízení nesmí být provozována vozidla, která by mohla činnost zabezpečovacího zařízení ovlivnit. V České republice je tato podmínka stanovena zákonem o dráhách 266/1994 Sb. Tento zákon uvádí, že na dráhách lze provozovat pouze vozidla technicky způsobilá. V podmínkách technické způsobilosti, které definuje dopravní řád drah ve vyhlášce 173/1995 Sb., se mimo jiné též uvádí, že drážní vozidlo celostátních a regionálních drah nesmí být zdrojem rušivých proudů vyšších, než jaké připouští ČSN 342613.

Podobná ustanovení platí prakticky ve všech evropských zemích. Kontrola toho, zda vozidlo prokazatelně neruší v konkrétní zemi zavedené zabezpečovací zařízení, bude až do doby vytvoření interoperabilní železniční sítě jednou ze základních úloh národních drážních úřadů při povolování provozu vozidel na dráhách. Podobně jako v České republice jsou mezní hodnoty rušivých proudů předepsány prakticky ve všech evropských zemích. Z důvodu nejednotnosti zabezpečovacích systémů se požadavky jednotlivých evropských států velmi liší. Tyto odlišnosti se projevují v mnoha parametrech:

- počet frekvenčních pásem vyhrazených pro činnost zabezpečovacích zařízení,
- jmenovité hodnoty chráněných frekvencí,
- šířka pásma chráněných frekvencí,
- povolená mez rušivého proudu,
- povolená doba překročení povolené hodnoty proudu,
- definování podmínek při použití dvou a více vozidel k dopravě vlaku.

Ve srovnání s ostatními evropskými státy jsou podmínky pro provoz vozidel v České republice uvedené v ČSN 34 2613:1998 velmi přísné a pro provoz vozidel s frekvenčně řízenými střídavými trakčními pohony velmi nepříznivé:

- celkem je definováno 5 chráněných pásem mezi 25 a 275 Hz,
- pro činnost kolejových obvodů zabezpečovacích zařízení jsou vyhrazeny i velmi nízké frekvence (25, 50 a 75 Hz), které se z trakčního proudu pomocí LC filtrů obtížně odstraňují,
- chráněná pásma jsou poměrně široká,
- ve chráněných pásmech je povolena mez rušivého proudu jen 0,1 A, což je například u lokomotiv o výkonu 6 MW na systému 3 kV DC méně než jedna dvacetitisícina celkového proudu,
- doba překročení mezních hodnot 0,1 sekundy je velmi krátká,
- společný provoz více vozidel norma vůbec neřeší.

Většina evropských železnic má podmínky z hlediska vozidel příznivější – méně chráněných pásem, vyšší pracovní frekvence kolejových obvodů, užší pásma, vyšší mezní hodnoty rušivých proudů, delší ochranné časy. Je zřejmé, že požadavky na vozidla byly v ČSN 34 2613:1998 definovány s cílem, aby byla zajištěna bezchybná funkce všech kolejových obvodů, které se v síti drah vyskytují.

## 9. Kolejové obvody na železnicích v České republice

Velmi stručně a velmi nepřesně lze popsat historii v České republice používaných kolejových obvodů následovně:

- v padesátých letech byla v souvislosti s elektrizací hlavního tahu zavedena sovětská zabezpečovací technika s kolejovými obvody pracujícími s frekvencí 50 Hz. Z důvodů omezených investičních prostředků dosud nebyla ani v rámci rekonstrukcí koridorových tratí provedena přestavba některých rozhodujících železničních uzlů. Proto jsou dosud mnohé důležité železniční stanice vybaveny těmito zastaralými kolejovými obvody,
- v šedesátých letech byly v souvislosti se zahájením elektrizace železničních tratí ČSD systémem 25 kV 50 Hz aplikovány kolejové obvody pracující s frekvencí 25 Hz, také tyto obvody jsou dosud provozovány v některých důležitých stanicích,
- na základě zjištění, že frekvence 50 Hz může být (například při závadě usměrňovacího soustrojí v měničce) přítomná v trakčním napětí a proudu i na tratích elektrizovaných systémem 3 kV a na základě nedobrych zkušeností s kolejovými obvody 25 Hz, došlo v sedmdesátých letech k zavedení kolejových obvodů o frekvenci 275 Hz (zejména u staničních zabezpečovacích zařízení) a 75 Hz (zejména u traťových zabezpečovacích zařízení a to ve vazbě na liniový vlakový zabezpečovač).

Náhrada historických zabezpečovacích zařízení tehdy moderními systémy s kolejovými obvody se v druhé polovině dvacátého století pochopitelně prioritně nejdříve prováděla v nejdůležitějších stanicích. Teprve v pozdějších letech přišly na řadu méně významné stanice. V důsledku tohoto logického postupu se v současnosti paradoxně v nedůležitějších stanicích nacházejí starší a méně dokonalá zabezpečovací zařízení než v menších a méně významných stanicích.

## 10. Zkušenosti se schvalováním vozidel

V České republice je provozováno několik set elektrických trakčních vozidel mnoha typů. Přitom pravděpodobně žádné z nich neprokázalo, že splňuje podmínky ČSN 34 2613, byť je tato podmínka technické způsobilosti ve vyhlášce 173/1995 Sb. výslovně uvedena. Elektrická trakční vozidla provozovaná na dráhách celostátních i regionálních lze z hlediska prokázání splnění požadavků ČSN 34 2613 v zásadě rozdělit do dvou skupin:

- vozidla, která byla uvedena do provozu před vydáním zákona o dráhách 266/1994 Sb., splnění požadavků ČSN 34 2613 neprokazují, neboť jsou ve smyslu zákona považována za typově schválená,
- vozidla, která byla uváděna do provozu po vydání zákona o dráhách 266/1994 Sb., byla zkoušena z hlediska vlivu na železniční zabezpečovací zařízení. Požadavky ČSN 34 2613 nesplnila beze zbytku, ale přesto byla po úvaze příslušných orgánů typově schválena, neboť byla shledána jako bezpečná, respektive byly pro ně určeny omezující podmínky, které bezpečný provoz zajišťují.

Tento stav je nadále neudržitelný, neboť definování přísných podmínek, jejich všeobecné neplnění a následné udílení výjimek postrádá logiku. Navíc zcela pochopitelně vyvstává otázka, kde leží meze bezpečného provozu, kam až lze při udělování výjimek ustoupit. Zcela samostatnou kategorií je procesní stránka věci.

## 11. Další postup

V současné době se prakticky všechny instituce, kterých se tato záležitost dotýká, tedy zejména Ministerstvo dopravy, Drážní úřad, Správa železniční dopravní cesty, České dráhy, ÖBB, DB, ostatní tuzemští i zahraniční dopravci, VUZ, FD ČVUT, výrobci zabezpečovacích zařízení, výrobci kolejových vozidel, shodují v tom, že současný stav je nevyhovující a je potřeba jej řešit.

Skutečnost, že některé zastaralé prvky infrastruktury železnic brání provozu soudobých elektrických trakčních vozidel, je totiž ke škodě České republiky, neboť:

- v České republice nelze provozovat moderní elektrická trakční vozidla, která svými parametry (vyšší produktivita, nižší spotřeba elektrické energie, nižší náročnost na údržbu) zvyšují efektivnost a konkurenceschopnost železniční dopravy,
- nákladně z prostředků České republiky i z prostředků Evropské unie vybudované koridorové tratě nejsou náležitě využity tranzitní dopravou, neboť je nemožno využívat elektrická trakční vozidla, běžně v Evropě pro tento účel používaná.

Všechny zúčastněné strany si kladou za cíl oba tyto nedostatky urychleně odstranit, tedy i v České republice plně využívat předností moderních elektrických trakčních vozidel, a zapojit Českou republiku do tranzitní železniční dopravy. Otázka nezní zda ano či ne, ale otázka zní jak a kdy. Je totiž zcela zřejmé a naprosto mimo jakoukoliv diskusi, že zavedením provozu moderních elektrických trakčních vozidel s frekvenčně řízenými trakčními pohony nesmí dojít ke snížení bezpečnosti železniční dopravy.

Technický pokrok na straně vozidel přinesl velmi pozitivní výsledky. Přechodem z GTO na IGBT techniku měničů, zdokonalením řídicích algoritmů a dalšími kroky došlo k výraznému snížení úrovně

rušivých proudů. Tím však byly z hlediska současného stavu techniky možnosti na straně vozidel prakticky vyčerpány a další technické kroky je potřebné učinit na straně kolejových obvodů. V zásadě jde o opuštění nízkých pracovních frekvencí 25 a 50 Hz a o zvýšení limitu rušivých proudů.

## 12. Procesní pravidla

Současná ČSN 34 2613:1998 sice neumožňuje provozovat v České republice soudobá elektrická trakční vozidla, ale po procesní stránce je jednoznačná, neboť její platnost se vztahuje na všechna vozidla a na celou síť:

- vozidlo které v libovolném režimu a v libovolném ochranném kmitočtovém pásmu produkuje rušivý proud převyšující hodnotu 100 mA, není technicky způsobilé k provozu na žádné regionální ani celostátní dráze v České republice,
- mezní hodnotu rušivých proudů 100 mA by bylo možno zvýšit teprve potom, až budou na všech celostátních i regionálních dráhách vyměněny všechny kolejové obvody za nové s vyšší odolností proti rušení.

Podobně jednoznačné zajisté jednou budou i nově připravované Technické směrnice interoperability. Ty navíc nebudou v konfliktu s moderními vozidly, neboť budou připouštět úroveň rušivých proudů kolem 1 A a navíc nebudou zahrnovat kmitočty 25 a 50 Hz, ale jen 75 a 275 Hz. Tratě na území České republiky jim však budou odpovídat až za mnoho let. Ani jeden z těchto dokumentů však není vhodným řešením pro nejbližší léta.

Proto se jeví potřebné definovat systémové řešení, které by určilo pravidla bezpečného provozu v nejbližších letech, tedy v období, kdy se již budou v síti drah pohybovat stále početnější elektrická trakční vozidla s frekvenčně řízenými pohony a kdy budou postupně modernizovány kolejové obvody železničních zabezpečovacích zařízení.

Základním vodítkem pro toto období je EN 50 238, která ukládá povinnost provádět bezpečnostní rozbor, který prokáže, že konkrétní vozidlo nemůže nežádoucím způsobem ovlivnit konkrétní typ kolejových obvodů. Její praktické uskutečňování však naráží na komplikace způsobené velkým počtem různých typů kolejových obvodů, které se v železniční síti používají, a složitým prováděním zkoušek za provozu. Možné řešení představuje kategorizace kolejových obvodů podle jejich odolnosti vůči rušivým proudům a obdobná kategorizace vozidel. Na základě jednání se SŽDC, ČD, DÚ a dalšími partnery se zhruba rýsuje následující algoritmus:

- a) Zavést pro jednotlivá chráněná kmitočtová pásma v síti drah se vyskytujícími kolejových obvodů (25, 50, 75 a 275 Hz) několik kategorií povolené úrovně rušivých proudů (například – ilustrativní hodnoty: 100 mA, 200 mA, 500 mA, 1 000 mA, 2 000 mA, bez omezení).
- b) Zkouškami zjistit odolnost jednotlivých typů v síti drah používaných kolejových obvodů vůči trvale i krátkodobě působícím rušivým proudům.
- c) Na základě výskytu konkrétních typů kolejových obvodů v jednotlivých železničních stanicích a v mezistaničních úsecích zařadit jednotlivé traťové úseky sítě drah do kategorií charakterizovaných mezními hodnotami rušivých proudů a přípustných na jednotlivých chráněných frekvenčních pásmech 25, 50, 75 a 275 Hz. V principu by šlo o

určitou dobu tříd přechodnosti tratí, které dělí železniční tratě podle jejich schopnosti nést různě těžká vozidla (s různou hmotností na nápravu: například 14, 16, 18, 20, 22 t). Toto zařazení tratí průběžně aktualizovat a v souladu se zájmy dopravců plánovitě rozvíjet ve smyslu vytvoření tras průjezdných i pro moderní vozidla.

- d) Analogicky ke kategoriím povolených hodnot rušivých proudů na jednotlivých traťových úsecích (podle na nich použitých kolejových obvodů) lze definovat pro kmitočtová pásma 25, 50, 75 a 275 Hz též kategorie povolených hodnot rušivých proudů pro kolejová vozidla.
- e) Zkouškami prokázat, jaké kategorie rušivých proudů v kmitočtových pásmech 25, 50, 75 a 275 Hz jednotlivá vozidla splňují a do těchto kategorií je zařadit. V principu by šlo opět o analogii se zařazením vozidel do tříd přechodnosti podle jejich hmotností na nápravu.
- f) Provozními předpisy stanovit povinnost a odpovědnost dopravce provozovat jednotlivé typy vozidel jen na těch tratích, které mají ve všech kmitočtových pásmech odpovídající kategorii odolnosti kolejových obvodů vůči rušivým proudům. Také toto může být například řešeno formou již vzpomenuté analogie s tradičně zavedenými třídami přechodnostmi určenými hmotností vozidel na nápravu.

Tento navrhovaný proces umožní oddělit schválení typu vozidla od jeho připuštění k provozu na určité trati. V rámci schvalování typu bude prokazováno splnění deklarované úrovně rušivých proudů, zatímco připuštění vozidla k použití na konkrétní trati bude dáno povinností provozovatele dráží dopravy respektovat pravidla stanovená provozovatelem dráhy.

### 13. Problematické body

Není podmínkou, aby se proces vzájemného přizpůsobení vozidel a infrastruktury řešil tak, jak je popsáno v předchozím bodě. V každém případě však je nutno stanovit jednoznačná a veřejně známá pravidla a definovat odpovědnost jednotlivých partnerů. V každém případě zůstává dořešit velké množství dílčích technických úloh:

- a) V prvé řadě je potřebné určit meze trvalých i krátkodobých rušivých proudů pro jednotlivé, v síti tratí SŽDC se vyskytující kolejové obvody a jimi nahradit dosud jedinou paušální mez 100 mA uváděnou v ČSN 34 2613:1998. V této oblasti již velký kus práce vykonal výrobce kolejových obvodů AŽD, který na základě statistických měření stanovil pro připravenou novelizaci ČSN 34 2613:2007 meze rušivých proudů pro analogová relé typu DSŠ a odvozených typů i pro perspektivní digitální relé:

Tab.1: Analogové relé na bázi DSŠ:

F	Hz	50	75	275
Systém	I			
3 kV	mA	260	110	130
25 kV 50 Hz	mA	-	180	200

Tab. 2: Digitální relé:

F	Hz	50	75	275
System	I			
3 kV	mA	1 000	1 000	1 000
25 kV 50 Hz	mA	-	1 600	1 600

Obdobně je potřebné zjistit parametry i dalších typů v síti používaných či k použití připravovaných kolejových obvodů, a to včetně systémů o kmitočtech 25 a 50 Hz - dokud budou v síti používány.

- b) Pro napájecí stanice elektrických drah je potřebné stanovit mezní přípustné hodnoty obsahu rušivých složek o kmitočtu 50 Hz v napájecím napětí systému 3 kV, respektive rušivých složek 25 Hz a 75 Hz v napájecím napětí systému 25 kV 50 Hz. Z provedených zkoušek totiž jednoznačně vyplývá, že příčinou vzniku rušivých proudů vozidla, které mají frekvenci 50 Hz a které svojí hodnotou převyšují dovolenou mez, může být i zvlnění napětí v síti 3 kV. Tento jev se vyskytuje náhodně, pozorovatelný je i v klidovém stavu vozidla. Jeho příčinou je pravděpodobně nesymetrie třífázového napětí v síti 3 x 110 kV, neboť ve spektru střídavých složek výstupního napětí měnirny s dvanáctipulsním usměrňovačovým soustrojím lze kromě základní frekvence 600 Hz shledat i složky 300 Hz, 100 Hz a 50 Hz. Rušení způsobené kolísáním napájecího napětí může být jednou z příčin, proč zkoušce vlivu na zabezpečovací zařízení ve smyslu ČSN 34 2613 nevyhověla ani některá vozidla s komutátorovými motory a s odporovou regulací.
- c) Je potřebné jednoznačně definovat podmínky zkoušek vozidel. Dosud běžně prováděné akcelerační zkoušky na trati bez sklonu (pohon vozidla je zatížen jen setrvačnou hmotností prázdného vozidla a jeho jízdním odporem) totiž vlivem proměnné rychlosti jízdy nevytvářejí snadné podmínky k posouzení naměřených hodnot. V případě zjištění krátkodobých překročení statických mezních hodnot totiž není jednoduché určit, zda se jedná jen o neškodný krátkodobý zákmit, nebo zda byl zachycen stav, který se vlivem použité metodiky zkoušky jeví jako krátkodobý, ale který v provozu může v případě menší akcelerace (jízda do stoupání) působit dlouhodobě a musí být proto posuzován staticky. K eliminaci této chyby metodiky měření by bylo nutno pracovní body stabilizovat mechanicky brzděnou zátěží.
- d) Je třeba vytvořit podmínky pro zkoušení vozidel. Například na zkušební základně v Cerhenicích nelze na systému 3 kV zkoušet vozidla o výkonu větším než 4 MW a nelze objektivně posoudit rušení při rekuperačním brzdění, neboť napájecí systém není schopen odebírat proud generovaný vozidlem.
- e) Je třeba definovat a vzít v úvahu všechny možné způsoby napájení vozidel, které se mohou vyskytovat na území České republiky a které vedou ke vzniku zpětných proudů a s ohledem na jejich specifika stanovit příslušné mezní podmínky (elektrická trakce závislá 1,5 kV DC, elektrická trakce závislá 3 kV DC, elektrická trakce závislá 15 kV 16,7 Hz,

elektrická trakce závislá 25 kV 50 Hz, napájení vozů napětím 1,5 kV DC, napájení vozů napětím 3 kV DC, napájení vozů napětím 1 kV 16,7 Hz, napájení vozů napětím 1,5 kV 50 Hz, napájení vozů napětím 3 kV 50 Hz, napájení vozidel ze sítě 3 AC 400V 50 Hz).

- f) Pro potřeby běžného provozu je třeba určit pravidla pro používání více vozidel na vlaku (opět se nabízí analogie s třídami přechodnosti, určenými podle hmotnosti na nápravu – zda má vozidlo na příslušném traťovém úseku přechodnost i dvojmo).
- g) V případě, že vozidlo vyhoví požadovaným mezním hodnotám rušivých proudů jedině v případě omezení jeho parametrů (snížený výkon nebo rychlost), respektive funkčnosti (vypnutá rekuperační brzda), vyvstává potřeba stanovit omezující podmínky jeho provozu a způsob, jak jejich plnění prokazatelně kontrolovat (například formou registrace v tachografu nebo v jiném záznamovém zřízení).
- h) Kromě technické stránky věci, která je pochopitelně primární, je třeba vytvořit i celý její právní, normativní a předpisový rámec. Vazba mezi zákonem 224/1994, vyhláškou 173/1995 a ČSN 34 2613 totiž určuje závazná pravidla, která je nutno bezvýhradně respektovat. Tato pravidla proto musí být bezpečná, jednoznačná, aktuální a technicky správná.
- i) Jednoznačné definování mezí rušivých proudů je základní podmínkou k tomu, aby šlo tuto vlastnost vozidel zohlednit již při projektování a nikoliv až dodatečně zjišťovat na hotovém vozidle, kdy již jsou k dispozici jen minimální možnosti a prostředky k řešení.

## 14. Závěr

Na základě zkušeností s vývojem a mnohaletým provozem velkého počtu elektrických vozidel závislé trakce s frekvenčně řízenými střídavými trakčními i pomocnými pohony lze konstatovat, že jde o vysoce přínosný a prakticky jediný možný směr. Problém spočívá v jejich návaznosti na infrastrukturu vybudovanou v minulosti. Dosud se na železnici používají zabezpečovací zařízení stará několik desítek let, která vznikla v době, kdy nebyly kladeny takové požadavky na vzájemnou kompatibilitu tratí a vozidel jako dnes. Konečným řešením této otázky je kompatibilita tratí a vozidel jejich důsledným zhotovováním podle Technických směrnic interoperability. To je však poněkud vzdálený, a zatím i ne zcela konkrétní cíl.

V posledních letech byla u vozidel s frekvenčně řízenými měniči velmi výrazně snížena úroveň rušivých proudů. Nebylo však dosaženo mezní hodnoty předepsané v ČSN 34 2613:1998, kterou určují nejstarší v síti drah používané kolejové obvody. Další snížení úrovně rušivých proudů vozidel nelze při současném stavu poznání a při současných technických možnostech ani přislíbit, ani garantovat.

V zájmu zvýšení efektivity železniční dopravy i její konkurenceschopnosti s ostatními druhy doprav je proto nyní aktuální programově zvýšit odolnost kolejových obvodů tak, aby i Česká republika mohla využívat přednosti moderních trakčních vozidel. Zároveň s tím lze docílit i zvýšení objemu železniční dopravy, zejména tranzitní, a dosáhnout tak vyššího využití investic vložených do rekonstrukcí koridorových tratí.

**Název referátu v cizím jazyce:**

- v anglickém:

**Modern vehicle operation conditions in the Czech Republic**

- v německém:

**Betriebsbedingungen der modernen Schienenfahrzeuge in der Tschechischen Republik**