

# Elektrické jednotky pro modernizované a vysokorychlostní tratě

## Úvod

Rychlá železniční doprava zaznamenala v Evropě, především v hospodářsky vyspělých západních zemích rychlý a dynamický rozvoj. Významně přispěla k zastavení poklesu výkonů v železniční dopravě a prokázala, že je dopravním systémem schopným dalšího vývoje v období, kdy vzdusný prostor v exponovaných oblastech je již na hranici kapacitních možností a živelný rozvoj silniční dopravy by způsoboval značné nároky na půdní fond a vedl ke zhoršování životního prostředí.

Vysokorychlostní doprava v některých vyspělých západoevropských zemích a v Japonsku zajišťující hromadnou přepravu osob mezi velkými aglomeracemi po specializovaných vysokorychlostních tratích i na návazné železniční síti zaznamenala velký úspěch, je vysoce efektivní a konkurenceschopná vůči silniční i letecké dopravě.

Tomuto perspektivnímu významu rychlé železniční dopravy odpovídá i rozhodnutí Rady Evropy z prosince 1994. Tehdy bylo na základě podrobných rozborů dopravních proudů, ekonomických a kapacitních možností jednotlivých druhů dopravy a stavu životního prostředí stanoveno 14 prioritních projektů Evropské unie. Mají nejvyšší význam a budou ekonomicky podporovány. Z těchto 14 prioritních projektů o celkovém objemu 92 mld. ECU je 9 projektů železničních o objemu 73,8 mld. ECU.

Do systému rychlých železničních tratí se zahrnují novostavby vysokorychlostních tratí na rychlost 250 - 300 km/h, které by v roce 2010 měly dosáhnout délky 12 500 km, modernizované tratě na rychlost 200 km/h, o délce 14 000 km a spojovací tratě délky 2 500 km. Celkové náklady na infrastrukturu systému se do tohoto roku odhadují na 207 miliard ECU, z toho zhruba polovina do roku 2000 a druhá polovina v prvním desetiletí příštího století. Patří sem modernizované a vysokorychlostní tratě doplňující rychlý železniční systém ve Francii, Německu, Itálii a ve Španělsku, vzájemné propojení modernizovaných a vysokorychlostních tratí do dalších zemí západní Evropy a další zdokonalování a dobudování systému ve skandinávských zemích. Náklady na nová vozidla pro tyto tratě se předpokládají ve výši 33 mld ECU.

Rozhodnutí o zvyšování rychlosti musí být i ekonomicky doložené. Je nutné si uvědomit poměr časových úspor i nákladů. Jednoduchým propočtem např. zjistíme, že pro 100 km trati zvýšení rychlosti ze 100 na 150 km/h přináší úsporu 20 min; ze 150 na 200 km to je 10 min; z 200 na 250 km/h - 6 min; z 250 na 300 km/h - 4 min a při zvýšení z 300 na 350 km/h se uspoří 2,5 minuty. Přitom podstatně narůstají náklady na stavbu trati i vozidel.

Ing. Karel Sellner, CSc., ředitel odboru drah a železniční dopravy Ministerstva dopravy ČR, nábf. L. Svobody 12, 110 15 Praha 1

Prof. ing. Jaroslav Čáp, DrSc., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Studentská 84, 530 09 Pardubice

Zapojení vybraných železničních spojení zemí střední a východní Evropy do evropského systému rychlých železnic se příkládá velká důležitost. Současně je však známo, že ekonomické problémy těchto zemí a objemy zátěžových proudů zatím nedávají předpoklady k budování vysokorychlostních tratí v nejbližší době. Nejenom u nás, ale i u ostatních zemí střední a východní Evropy se hlavní důraz klade na modernizaci tranzitních železničních koridorů na rychlost 120 - 200 km/h při splnění podmínek průchodnosti a přechodnosti vozidel. Evropská unie bude modernizaci vybraných tranzitních koridorů podporovat granty v rámci programu PHARE a výhodnými úvěry nekomerčních bank EIB a EBRD. Počátkem příštího století bude nezbytné vrátit se na vybraných spojeních opět k problematice budování vysokorychlostních tratí, s největší pravděpodobností pro smíšenou dopravu navázaných na vysokorychlostní tratě sousedních států. Rozvoji železničních systémů pro vysoké rychlosti se věnuje pozornost i mimo Evropu. V Japonsku pokračuje rozvoj sítě Sinkansen, u nových tratí se uvažuje s rychlostmi 300 - 350 km/h.



Obr. 1 Motorový vůz elektrické jednotky francouzských železnic TER EMU

V severní Americe se intenzivně diskutuje o reálnosti, technických parametrech a termínech budování vysokorychlostních tratí. V úvahu přicházejí pouze v oblastech s velkou hustotou obyvatel, kde je letecká i silniční doprava přetížená. Týká se to především severovýchodní části Spojených států s propojením do Kanady, na Floridě a v Texasu. Dřívější úvahy o rychlé realizaci prvních tratí se však zdají být příliš optimistické.

Reálně je naproti tomu budování vysokorychlostních tratí na Taiwanu, kde vláda rozhodla o stavbě 345 km dlouhé trati spojující hlavní město Taipei na severu ostrova s přístavem Kaoshing v jižní části ostrova. Trať bude mít 7 mezilehlých

stanic a povede velmi náročným terénem, o čemž svědčí, že cca 200 km trati bude na viaduktech a galeriích a 56 km bude v tunelech. Je konstruována na rychlost 250 - 300 km/h a nejrychlejší vlaky s jednou zastávkou ji překonají za 90 min. Uvedení do provozu se předpokládá v roce 2003.

Rovněž v Korejské republice je rozhodnuto o stavbě vysokorychlostní tratě (první úsek se již buduje), spojující hlavní město Soul s Pusanem. Jde o trať 426 km dlouhou, konstruovanou na rychlost 300 km/h. Podobně jako na Taiwanu se uvažuje s nasazením jednotek koncepce TGV, vyráběných konsorciem zahraničních firem za účasti domácího průmyslu. Čistá jízdní doba má být 1 hod 58 min, první část tratě má být uvedena do provozu v roce 2000, celá trať pak v roce 2002. Na toto spojení má v roce 2006 navázat druhá vysokorychlostní trať spojující Soul s Kwangju.

O výstavbě vysokorychlostních tratí se reálně uvažuje i v Austrálii, kde má být do roku 2000 propojeno Sydney s Canberrou a v Rusku na trati Moskva - St. Petěrburg a s prodloužením do Helsinek.

## Koncepce vlaků pro rychlou železniční dopravu

Pro rychlou železniční dopravu osob, která se realizuje na hlavních elektrizovaných železničních tratích a na tratích vysokorychlostních, je možno v zásadě použít jak klasických železničních souprav tažených lokomotivou, tak elektrických jednotek se zpravidla větším množstvím hnacích vozidel v soupravě. Požadovaná rychlost a z toho vyplývající výkon vozidel limituje možnost použití klasických souprav tažených lokomotivou do rychlosti 200 - 230 km/h. Pro vyšší rychlosti již výkon hnacího vozidla v čele vlaku nedostačuje, a proto je nezbytné uvažovat s elektrickými jednotkami. Toto řešení navíc umožňuje dosáhnout nižší hmotnost na nápravu a větší obsaditelnost, což jsou významné hodnoty z hlediska provozní ekonomiky. To jsou hlavní důvody, proč převážná většina železnic pro modernizované i nově budované tratě pro rychlou železniční osobní dopravu akceptuje jednoznačný vývojový trend představující elektrické jednotky.

Odlišnost základních technických i provozních požadavků na elektrické jednotky pro stávající modernizované tratě a pro nově budované vysokorychlostní tratě jsou důvodem, že o elektrických jednotkách pro tyto dvě kategorie bude pojednáno odděleně. V podmínkách evropských železnic však platí, že elektrické jednotky konstruované pro modernizované tratě mohou být provozovány i na tratích vysokorychlostních a obráceně jednotky vysokorychlostní musí umožnit provoz na navazujících modernizovaných železničních tratích.

## Elektrické jednotky pro modernizované železniční tratě v Evropě

Základním požadavkem pro tuto kategorii elektrických jednotek je rychlost nejméně 200 km/h. Výkon jednotek a jejich složení závisí na provozních požadavcích jak z hlediska obsaditelnosti, tak i z hlediska traťových poměrů, především sklonů. V koncepci jednotek se projevují dva základní směry s následujícími hlavními charakteristikami:

### A/ Jednotky s pevně uloženými skříněmi

složení: tří až osmivozové jednotky z motorových, vložených a řídicích vozů, příp. hnacího vozidla a vozů

pojezd: dva dvounápravové hnací nebo běžné podvozky skříní: jednopodlažní celosvařovaná ocelová nebo hliníková s neprůchozími vnějšími čely a průchozími vnitřními čely

výkon: 2000 - 5000 kW

hmotnost na nápravu: 16 - 20 tun

trakční výzbroj: asynchronní trakční motory, dynamická brzda

typičtí představitelé:

TER-EMU, 2780 kW, 220 km/h, M+2N, Francie

ř. 91, 4540 kW, 225 km/h, 2M+4N, Spojené království

### B/ Jednotky s naklápěcími skříněmi

systém naklápění: nucený

složení: čtyř až devítivozové jednotky z motorových, vložených a řídicích vozů obsaditelných cestujícími, příp. hnacího vozidla a vložených a řídicích vozů

pojezd: dva dvounápravové hnací nebo běžné podvozky se zařízením pro nucené naklápění skříně

skříní: celosvařovaná ocelová nebo hliníková s aerodynamicky řešenými neprůchozími vnějšími čely a průchozími vnitřními čely v jednopodlažním uspořádání

výkon: 1800 - 6000 kW

hmotnost na nápravu: 12 - 16 tun

trakční výzbroj: asynchronní trakční motory, dynamická brzda

typičtí představitelé:

ETR 401, 1800 kW, 250 km/h, 4M, 3000 V, Itálie

ETR 450, 5008 kW, 250 km/h, 8M+1N, 3000 V, Itálie

ETR 460, 6000 kW, 250 km/h, 8M+1N, 3000 V, Itálie

ETR 470, 5880 kW, 200 km/h, 6M+3N, 3 kV / 15kV 162/3 Hz, Švýcarsko

S 220, 4000 kW, 250 km/h, 4M+2N, 25 kV 50 Hz, Finsko

X 2000, 3260 kW, 210 km/h, 1H+5N, 15 kV 16 2/3 Hz, Švédsko

(H - čelní hnací vozidlo, M - čelní, vložený nebo řídicí motorový vůz, N - čelní, vložený nebo řídicí nemotorový vůz)

V oblasti elektrických jednotek pro modernizované tratě je v současnosti i v budoucnosti jednoznačný trend k vývoji a provoznímu nasazení elektrických jednotek s nuceně naklápěcími skříněmi. Hlavním důvodem je možnost zkrácení jízdních dob o 20 až 30 % oproti jednotkám i klasickým soupravám.



Obr. 2 Elektrická jednotka s naklápěcí skříní italských železnic ETR 460

vám s pevně uloženou skříní na podvozcích a nízké zatížení železniční tratě ve svislém i příčném směru. To je umožněno rozložením elektrické výzbroje do většiny vozů v soupravě a dosažením nízké hmotnosti na nápravu.

V souvislosti s úvahami o úsporách jízdních dob se často přihlíží k jediné skutečnosti. Ta spočívá v tom, že při průjezdu obloukem bývá uvažováno jen naklopení skříně, a to pouze jako kompenzace vlivu příčné síly na cestujícího. Jde o známé vzorce pro dovolenou rychlost  $V_d = k \sqrt{R}$ , kde v konstantě  $k$  se skrývají maximální a nevyrovnané převýšení (u ČD  $k = 4,6$ ). Při naklopení skříně o úhly  $3^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  se zahrnuje i tzv. dodatečné převýšení, kdy hodnota narůstá -  $k = 5,25$ ;  $5,87$ ;  $6,42$ ;  $6,60$ . Z těchto vztahů vyplývá, např. pro oblouk o  $R = 300$  m, zvýšení rychlosti z cca  $V = 80$  km/h na max.  $V = 115$  km/h, tj. o cca 44 %.

Toto řešení není úplné. Výsledné příčné zrychlení působí nejen na cestujícího, ale na vozidlo jako celek a tedy základním kritériem je působení vozidla na trať. Část příčného zrychlení je kompenzována převýšením oblouku (u ČD  $p_m = 150$  mm  $\rightarrow c_{vk} = 0,981$  m/s<sup>2</sup>), druhá, nekompenzovaná část, nemůže podle zkušeností zahraničních železničních zpráv, vycházejících z Proudhoových vztahů, překročit  $1,65 \div 1,8$  m/s<sup>2</sup>, což je souhrnně  $2,63 \div 2,8$  m/s<sup>2</sup>. Potom ze vzorce  $V_{dm} = 3,6 \sqrt{a_c \cdot R}$  dovolená odvozená maximální rychlost (pro  $R = 300$  m a  $a_c = 2,8$  m/s<sup>2</sup>) je  $V_{dm} = 104$  km/h a zvýšení jen o 30 %. Výsledek naznačuje, že naklopení skříně až  $10^\circ$  je pro takový oblouk nevyužitelné, pokud bychom ovšem nechtěli ještě snížit nevyrovnané příčné zrychlení (u ČD  $0,65$  m/s<sup>2</sup>) při uvedené  $V_{dm}$ . Zkušenosti ze zahraničí ukazují, že úplná kompenzace je cestujícímu spíše nepřijemná. Je poněkud paradoxní, ale logické, že procento zvýšení rychlosti, respektující působení vozidla na trať, narůstá se snížením maximálního převýšení koleje.

Kromě již realizovaných jednotek jsou ve vývoji další typy jednotek obdobného konstrukčního principu. V České republice vyvíjí konsorcium ČKD Praha, MSV Studénka, Fiat a Siemens sedmivozovou jednotku pro rychlost 220 km/h s termínem dokončení prototypu v roce 1997. Tato jednotka řady 680 bude mít jako první na světě třísystémové provedení.

Zajímavým vývojem naklápěcích vozidel prošly německé dráhy DB, resp. DB AG. V první fázi to byl vývoj vlastního vozidla a posléze jeho zastavení (1965 - 75). Později DB přijímají italskou koncepci a zavádějí dieselelektrické dvoudílné jednotky VT 610 s naklápěcím systémem Fiat. Zvýšené dopravní požadavky si vyžádaly vyvinutí řady VT 611 s dieselhydraulickým přenosem výkonu nebo elektrickým přenosem výkonu.

Výhody, které nabízejí naklápěcí vozidla, jsou užitečné i na elektrifikovaných tratích. Proto DB AG objednávají sedmidílné jednotky (Br 411) a dále pětídílné jednotky (Br 415) ICT - Inter City NeiTech. Tato vozidla na modulární bázi s maximální hmotností na nápravu 15 t se skládají ze skupin M, H, H, kdy první vůz je současně traťový, druhý je vybaven usměrňovací a měničovou technikou a motory a třetí vůz pouze motory. Uspořádání modulu je 2' 2'+ (1A') (A1)' + (1A') (A1)'. V sedmi-

dílné variantě je mezi dva moduly zařazen mezivůz a v pětídílné variantě je jeden modul doplněn nehnaným traťovozem a hnaným vozem se silovou technikou. V současné devíti vozové variantě se předpokládá vložit mezi dva moduly tři vozy - traťový, vůz se silovým obvodem a motorový vůz v uspořádání, jak je naznačeno výše. Všechny vozy jsou určeny pro cestující, včetně prostoru pro restauraci či bistro. Zvláštností je, že i čela řídicích vozů budou obsazena cestujícími, když stanoviště strojvedoucího by bylo umístěno ve zvýšené části. Naklápěcí technika bude poslední vývojový systém Fiat z vozidel ETR 460, resp. 470. Napěťový systém je prozatím 15 kV, 16 2/3 Hz pro spojení i se Švýcarskem, s předpokladem doplnění systémem 25 kV, 50 Hz a 3 kVss. Výkonově půjde u pětídílné jednotky o 6 x 500 kW, sedmidílné 8 x 500 kW a u devítídílné 12 x 500 kW, s  $V_{max} = 230$  km/h. Počet cestujících u sedmidílné jednotky je 400 osob. Uvažuje se i o spojování jednotek s možností vícenásobného řízení.

Ve Švédsku firma ABB vyvíjí pro Norské státní dráhy elektrickou třívozovou jednotku pro rychlost 200 km/h s termínem dodání prototypu v roce 1997. Italské železnice objednaly 15 jednotek ETR 480, jejichž koncepce a vnější vzhled bude odpovídat jednotkám ETR 470.

Výjimečnou koncepcí používanou ve Španělsku jsou vlaky Talgo složené z krátkých vozů lehké konstrukce uložených na jednonápravové Jakobihovo podvozky s přirozeným naklápěním skříně. Jsou uzpůsobeny pro nejvyšší rychlost 200 - 220 km/h, taženy jsou motorovou nebo elektrickou lokomotivou bez naklápění skříně. Podvozky umožňují plynulý přechod ze širokého na normální rozchod a vytvářejí tak předpoklad pro jízdu těchto vlaků do sousedních i dalších zemí západní Evropy. Soupravy pro noční expresy - Inter City Night - zakoupily i německé dráhy.

(Pokračování článku v NŽT č. 3/1996)

Lektoroval: Doc. ing. Jiří Izer, CSc.

## **Elektrické jednotky pro modernizované a vysokorychlostní tratě**

*Obsáhlý výčet typů elektrických jednotek pro modernizované a vysokorychlostní tratě v různých státech světa a naznačené trendy ukazují jako správné rozhodnutí zaměřit se také u ČD na stavbu elektrických jednotek s naklápěcími skříněmi.*

## **Elektrische Triebzüge für die Ausbau- und Hochgeschwindigkeitsstrecken**

*Die ausführliche Übersicht über elektrische Triebzugtypen für ABS und HGS in verschiedenen Ländern der Welt sowie die angedeuteten Trends beweisen die Richtigkeit der Entscheidung auch für die ČD die elektrischen Triebzüge mit Wagenkastensteuerung zu beschaffen.*

## **EMUs for Upgrade and High-speed Lines**

*The detailed review of EMU types used for upgrade and high-speed lines in various countries of the world as well as the latest trends confirm the rightness of the ČD decision to order tilting body EMUs.*