

Jiří Pohl¹, Tomáš Michálek²

Provoz nákladních vlaků délky 740 m, díl I.

Klíčová slova: *nákladní vlak, délka vlaku, hmotnost vlaku, tažné a narážecí ústrojí, sklon, adheze, přípřež, postrk, účinky vozidla na kolej*

1 Úvod

Převedení významného podílu nákladní dopravy ze silnic na železnice je jedním z prostředků k dosažení nižší energetické náročnosti a snížení uhlíkové stopy dopravy, jakožto i k podstatnému snížení zdraví škodlivých emisí. Tedy k naplnění cílů, které si pro následující léta předsevzala Evropská unie [1] a k jejichž plnění se připojila i Česká republika. A to zejména ve své Státní energetické koncepci, která stanoví snížit do roku 2030 spotřebu ropných paliv v dopravě proti roku 2015 o 9 miliard kWh/rok a nahradit ji zvýšeným využitím elektrické energie o 1,9 miliardy kWh/rok [2], a v Národním programu snižování emisí, který ukládá úkol převést do roku 2030 30 % nákladní dopravy ze silnic na železnice [3].

Jak vyplývá ze základních fyzikálních vlastností dopravních systémů (elektrický pohon má zhruba 2,5násobnou účinnost vůči naftovému, vlak má zhruba třetinový vozidlový odpor v porovnání s automobily), dochází při náhradě dopravy, zajišťované silničními vozidly poháněnými spalovacími motory, železnicí s elektrickou vozbou k 7,5násobnému zvýšení energetické účinnosti. Tedy k poklesu konečné spotřeby energie k vykonání stejné přepravní práce na pouhých cca 13 %. To je velmi významná úspora nejen pro dopravu, ale i pro hospodářství jako celek, neboť spotřeba energie pro dopravu je v ČR přibližně rovna spotřebě energie v průmyslu či v domácnostech. K naplnění tohoto cíle však musí být železnice schopna:

- příslušné přepravní výkony kapacitně zajistit;
- nabídnout cestujícím a přepravním ačtraktivní kvalitu a cenu.

Účinným nástrojem ke splnění obou těchto požadavků je zvyšování délky nákladních vlaků:

- zejména na hlavních tratích, přetížených souběhem nákladní a osobní dopravy, je růst délky a hmotnosti vlaků důležitým nástrojem ke zvyšování produktivity železniční dopravní cesty, a tím i k růstu přepravní nabídky. Pochopitelně za podmínky, že jsou tyto vlaky dopravovány náležitě výkonnými trakčními vozidly – tak, aby nekomplikovaly provoz ostatních segmentů

¹ Ing. Jiří Pohl; Siemens, s. r. o., divize Mobility; Siemensova 1, 155 00 Praha 13; tel.: +420 724 014 931, e-mail: jiri.pohl@siemens.com

² Ing. Tomáš Michálek, Ph.D.; Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky – Oddělení kolejových vozidel; Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová; tel.: +420 466 037 428, e-mail: tomas.michalek@upce.cz

vlakové dopravy – a že jsou dopravci cenou za použití dráhy motivováni k využívání limitních délek vlaků (nezávislost, resp. minimální závislost ceny za použití dopravní cesty na hmotnosti nákladního vlaku). To je součástí aktuálního tématu stanovení struktury ceny za použití dráhy tak, aby motivovala dopravce jednat v souladu s efektivním využíváním dráhy;

- zvyšování délky vlaků je nástrojem ke zvyšování produktivity vlakové dopravy, a tím i k růstu přepravní poptávky její cenovou stimulací (větší délka nákladních vlaků vede k vyšší produktivitě lokomotiv i personálu).

Za účelem vytvoření podmínek umožňujících vyšší stupeň využití železnice v nákladní dopravě je pro nákladní železniční koridory v Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1315/2013 [4] zakotven požadavek na zajištění vozby vlaků délky alespoň 740 m. Jakkoliv je v prostředí české železnice zpravidla tento požadavek vnímán zejména jako potřeba zřídit ve stanicích předjízdne koleje odpovídající délky, jde o průřezovou úlohu, která zahrnuje všechny čtyři strukturální subsystémy železničního systému:

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

Pro naplnění výše uvedených cílů je potřebné přistoupit k systémovému řešení. Neboť nejen cestující, ale i zboží spěchá k cíli své cesty, kde je očekáváno. Nákladní vlaky chtějí především plynule jet, a nikoliv stát a čekat na (dlouhých) staničních kolejích. K tomu je potřebné definovat řadu souvisejících témat, která je potřebné včas řešit, aby bylo zavádění dlouhých vlaků do běžného provozu technicky možné. A pochopitelně sledovat i ekonomickou stránku věci, aby byla vozba dlouhých těžkých nákladních vlaků pro všechny zúčastněné (provozovatel dráhy, provozovatel drážní dopravy i přepravce) přínosem. Tento příspěvek si proto klade za cíl pojmenovat ta nejzákladnější témata a poukázat na potřebu jejich včasného a koordinovaného řešení.

2 Vozba nákladních vlaků délky 740 m

Požadavek článku 39 odst. 2 Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1315/2013 [4] doslova zní: „...*infrastruktura hlavní sítě kromě toho splňuje také tyto požadavky: (...) nákladní tratě hlavní sítě, jak je uvedeno v příloze I: hmotnost na nápravu nejméně 22,5 t, traťová rychlost 100 km/h a možnost provozovat vlaky o délce 740 m...*“

Tento požadavek není zcela novým. Již dohoda AGTC o hlavních směrech kombinované dopravy z roku 1991 [5] definovala cílovou hodnotu délky vlaku (ale i staničních kolejí) 750 m. Česká železnice však v té době zažívala významný pokles přepravních výkonů, spojený s poklesem četnosti i hmotnosti a délky nákladních vlaků. V důsledku této souvislosti nebyl v ČR při modernizaci národních tranzitních železničních koridorů požadavek na zajištění vozby dlouhých nákladních vlaků

vnímán tak důležitým jako například zajištění prostorové průchodnosti a traťové třídy zatížení. Proto nebyl systémově řešen a v některých případech došlo při modernizaci železničních stanic i ke zkrácení využitelné délky staničních kolejí.

Délka vlaku se však stala důležitým parametrem interoperability, definovaným v technických specifikacích pro interoperabilitu. V článku 4.2.1 TSI INS [6] jsou v tabulce 3 pro tratě kategorie F1 uváděny výkonnostní parametry pro nákladní dopravu:

- obrys vozidla: GC;
- hmotnost na nápravu: 22,5 t;
- traťová rychlost: 100–120 km/h;
- délka vlaku 740–1050 m.

Z výše uvedeného lze usuzovat, že požadovaná hodnota 740 m je dolním limitem délky vlaku, jehož vozbu je nutné zabezpečit. A analogicky lze předpokládat, že i hodnota 100 km/h je dolním limitem požadované traťové rychlosti pro příslušnou kategorii tratí.

Ano, má logiku vozit i delší nákladní vlaky. Před několika lety, při zavedení přímých kontejnerových expresních nákladních vlaků v relacích z ČR do severomořských přístavů, omezoval limit délky vlaku počet vlakem přepravovaných dvacetistopých ISO kontejnerů (TEU) na hodnotu 92. Limit délky vlaku se podařilo zvýšit a současná přepravní kapacita těchto expresních nákladních vlaků je 96 TEU, tedy o 4 TEU vyšší. Tím došlo k úspoře dalších dvou automobilů a dvou deficitních řidičů při jen nepatrném nárůstu nákladů na straně železnice, neboť vzrostla produktivita lokomotiv i personálu.

Při uvažování dnes běžně používaných kontejnerových vozů délky přibližně 26 m (tedy téměř shodně s rychlíkovými vozy se skříní typu UIC-Z) a při započtení délky běžné lokomotivy limit 740 m prakticky omezuje soupravy kontejnerových vlaků na 27 vozů. To je dalších šest ušetřených nákladních automobilů a jejich stále více chybějících řidičů. Avšak má být i do budoucna tento limit absolutním? Logicky proto lze na evropských nákladních koridorech v příštích letech reálně očekávat požadavky na ještě větší délku nákladních vlaků.

2.1 Rychlost jízdy

Jakkoliv by souběh vlaků nákladní dopravy s vlaky osobní přepravy, využívající na konvenčních železnicích traťovou rychlost až 200 km/h, vyžadoval pro náležité využití kapacity železniční dopravní cesty vyšší rychlost než v nařízení EU č. 1315/2013 uváděných 100 km/h, není zvýšení tohoto limitu snadné:

- v současnosti nejrozšířenější konstrukce pojezdu nákladních vozů (podvozky typu Y25) umožňuje využívat limit hmotnosti na dvojkolí 22,5 t jen do rychlosti 100 km/h (režim S). Jízda rychlostí 120 km/h (režim SS) již vyžaduje snížení limitu hmotnosti na dvojkolí na 20 t. To po odečtení vlastní hmotnosti vozu znamená snížení ložné hmotnosti vozu přibližně o 15 %, což citelně snižuje produktivitu vlakové dopravy;

- zvýšení rychlosti jízdy vlaku ze 100 km/h na 120 km/h znamená v důsledku vyšší aerodynamické ztráty, zvýšení spotřeby energie pro jízdu ustálenou rychlostí cca o třetinu, neboť aerodynamický odpor dominuje nad odporem z valení;
- zvýšení rychlosti jízdy vlaku ze 100 km/h na 120 km/h znamená zvýšení akustického výkonu hluku valení úměrně třetí mocnině rychlosti, tedy o 2,4 dB, a efektivního akustického tlaku úměrně druhé mocnině rychlosti, tedy o 1,6 dB. Jeví se racionální kompenzovat tento trend hladkým povrchem kol (náhrada špalíkových brzd brzdami kotoučovými);
- zásadním tématem jsou třecí brzdy nákladních vozů, a to jak z hlediska tepelného namáhání kol (řešení je v náhradě špalíkových brzd brzdami kotoučovými), tak z pohledu ovládání (řešení je v přechodu od pneumatického ovládání samočinné brzdy k elektrickému – při současném stavu techniky patrně bezdrátovému, i když i drátové ovládání je zejména v souvislosti s přechodem na spojení vozů centrálním automatickým spřáhlem nepochybně možné). Okamžité synchronní elektrické ovládání brzd ve všech vozech vlaku umožní odstranit současné záměrně dlouhé doby plnění brzdových válců při druhém způsobu brzdění (režim „G“, resp. česky „N“). Dosud používané pomalé plnění brzdových válců je u dlouhých nákladních vlaků s konvenční pneumatickou samočinnou brzdou nutností, a to s ohledem na nízkou rychlost šíření povelu k brzdění, dávaného snížením tlaku vzduchu v hlavním potrubí. Bez pomalého plnění brzdových válců by z důvodu dřívějšího účinku brzd přední části vlaku docházelo k velkým silovým podélným rázům v soupravě vlaku. Avšak jen za polovinu doby plnění brzdového válce rozvaděčem na 95 % plného tlaku, která podle vyhlášky UIC 540 činí v režimu „G“ 18 až 30 sekund, ujede vlak pohybující se rychlostí 100 km/h vzdálenost 250 až 417 m. Ke zmírnění nepříznivých důsledků pomalého poklesu tlaku vzduchu v hlavním potrubí samočinné brzdy na brzdění dlouhých nákladních vlaků je (zejména v USA, ale i v Evropě – ve Francii, Itálii a Švýcarsku) používáno současné vypouštění tlaku vzduchu z hlavního potrubí samočinné brzdy po povelu k brzdění nejen od čela vlaku (brzděčem), ale i od jeho konce přenosným zařízením EOT („End of Train“). Napojením EOT na hlavní potrubí samočinné brzdy posledního vozu je dosahováno určitého zkrácení zábrzdné dráhy a zmenšení podélných mezivozových sil;
- samostatným tématem při zvyšování rychlosti jízdy nákladních vlaků jsou obecně nepříliš dobré jízdní vlastnosti nákladních vozů. Optimalizace vypružení těchto vozů je však limitována požadavky na jeho svislou tuhost. Ta je v případě použití pasivních pružících prvků determinována rozdílem hmotností plně loženého a prázdného vozu na straně jedné a přípustným rozdílem výšky středů nárazníků na straně druhé. Bez změny koncepce tažného a narážecího ústrojí či bez aplikace pneumatického vypružení jsou možnosti v oblasti zlepšení vypružení nákladních vozů (a tedy i jejich jízdních vlastností) velmi omezené.

Bylo by chybou tvrdit, že konvenční nákladní vlaky budou vždy jezdit nejvyšší rychlostí jen 100 km/h. Avšak podmínkou k překonání této meze je, aby i železniční nákladní vozy prošly podobnou inovační proměnou, jakou prošly v posledních

desetiletých osobní železniční vozy i silniční nákladní automobily. Z tohoto trojlístku zůstaly na technické úrovni minulého století již jen nákladní vozy.

Nejde však o otázku technickou, jde o otázku ekonomickou. Dokud nedojde k internalizaci externalit, tedy k naplnění hesel „uživatel platí“ a „znečišťovatel platí“, a škody na životním prostředí a zdraví obyvatelstva způsobované nákladní automobilovou dopravou ve výši 2,67 Kč/tkm [3] budou neadresně hrazeny ze státního rozpočtu, bude železnice chronicky podinvestovaná. Ve snaze nabídnout trhem akceptovatelné přepravné nebude generovat výnosy potřebné pro zásadní inovace vozového parku.

Klíčem k řešení jak elektropneumatického ovládání brzd, tak i vyššího statického průhybu vypružení (jakožto i v dalším textu popisovaných témat tažných a tlačných sil a také bezpečnosti, produktivity a personální náročnosti posunu) je dokončení záměru ze sedmdesátých let minulého století opustit dosavadní typ tažného a narážecího ústrojí (táhlový hák se šroubovkou a nárazníky) a nahradit je centrálním spřáhlem. V uvažované evropské jednotnosti tento záměr napoprvé nevyšel (blíže viz kapitola 2.7) a Evropa zůstala posledním kontinentem nevyužívajícím na železnici centrální automatické spřáhlo. Avšak bez ohledu na tuto skutečnost se v souvislosti s trendem ucelených trakčních i netrakčních jednotek u vozidel osobní přepravy v Evropě ujala a doznala stále rozsáhlejšího uplatnění centrální spřáhla. A to jak vně trakčních jednotek (automatická spřáhla typu Scharfenberg s hlavou typu 10), tak i uvnitř trakčních i netrakčních jednotek (projektově specifická semipermanentní spřáhla). Zejména v souvislosti s prioritní orientací nákladní železniční dopravy na ucelené vlaky lze v budoucích letech logicky podobný trend reálně očekávat i u vozidel a vlaků nákladní přepravy. Podobně jako v případě osobní dopravy nepůjde o centrálními orgány EU nařízenou povinnost, ale o iniciativní kroky dopravců ke zvýšení bezpečnosti, produktivity a výkonnosti nákladní železniční dopravy. Dokladem tohoto trendu jsou nejen již od roku 2010 provozované těžké ucelené nákladní vlaky, sestavené z vozů s centrálními spřáhly, vedené dvojicemi lokomotiv německé řady 189 (rovněž vybavených automatickými spřáhly) a přepravující železnou rudu mezi Německem a Nizozemím, či dvojice nákladních vozů spojených krátkými spřáhly (typicky pro přepravu automobilů), ale i projekt „5L“, v jehož rámci plánuje švýcarské SBB Cargo do konce roku 2018 vybavit automatickými spřáhly na 130 nákladních vozů a podrobit tuto technologii zkušebnímu provozu. Motivací zde přitom je i nezanedbatelná úspora fyzicky náročné a rizikové manuální práce.

2.2 Hmotnost vlaku

S délkou vlaku úzce souvisí i další otázka, kterou je nutné si položit – jak bude takový vlak vlastně těžký? Ponecháme-li stranou úvahu, že ke zvýšení produktivity nákladní železniční dopravy by jistě nemalou měrou přispělo zvýšení dovoleného nápravového zatížení na 25 t (pro které vyhovují i mnohé stávající konstrukce podvozků nákladních vozů), tak za předpokladu využití parametrů traťové třídy D4 (22,5 t/n, až 8,0 t/m) může hmotnost soupravy kontejnerového vlaku o 27 vozech činit 2 430 t v případě čtyřnápravových vozů (např. typu Sggnss 80'), až 3 645 t v případě vozů šestnápravových (člankových, např. typu Sggrss 80'). Avšak při uvažování čtyřnápravových vozů o délce 13,5 až 14 m (např. typů Falls, Eas apod.) tak může být ve vlaku délky 740 m řazeno i více než 50 vozů, jejichž celková hmotnost může přesáhnout hodnotu 4 500 t. Takové nákladní vlaky v Evropě existují,

například v Polsku (přeprava uhlí), odkud též přijíždějí na území ČR. Avšak u nás jsou rozdělovány, což pochopitelně zásadním způsobem zvyšuje dopravní náklady. Otázka hmotnosti vlaku je zcela zásadní, neboť z ní vyplývají požadavky na trakční parametry hnacích vozidel (subsystém RST), která mohou takové vlaky dopravovat, a na pevná trakční zařízení (subsystém ENE), která budou příslušná vozidla elektricky, respektive energeticky napájet.

S parametry trakčních vozidel pak přímo souvisejí i další požadavky na vozidla, především přípustné tažné a tlačné síly, ale i požadavky na další související subsystémy, a to zejména v oblasti elektrického napájení (subsystém ENE). Ve vzájemné vazbě subsystémů RST a ENE jde především o výkonnost trakčních napájecích stanic při dodávce příkonu pro vozidla, jakožto při odběru výkonu při rekuperačním brzdění, a o schopnost vrchního i zpětného vedení příslušné příkony a výkony přenést (s nízkými ztrátami a v rámci akceptovatelných úbytků napětí). Se zpětným trakčním vedením bezprostředně souvisí nejen téma úbytků napětí, přípustných hodnot dotykového napětí na kolejnicích a s nimi spojených předmětů (včetně vozidel) a průtoku podélných proudů vozidly vlaku, ale rovněž téma vlivu zpětných proudů na železniční zabezpečovací zařízení (subsystém CCS). Zde jde jak o schopnost proudovodivých překlenutí izolovaných styků kolejových obvodů přenášet příslušnou intenzitu proudu (dimenzování stykových tlumivek) a o schopnost proudonevodivých izolovaných styků kolejových obvodů odolávat napěťovému namáhání, zejména na kosých kolejových propojkách, tak i o dovolenou úroveň rušivých proudů trakčních vozidel, která vede k instalaci perspektivních kolejových obvodů s vysokou odolností vůči rušivým proudům ve smyslu požadavků ČSN 342613 [7].

V souvislosti s instalací ETCS na tratích a vozidlech je po ukončení migračního období (což podle Národního implementačního plánu ERTMS nastane na 1. a 2. národním tranzitním železničním koridoru ke dni 1. 1. 2025) plánováno demontovat hlavní návěstidla. To umožní optimalizovat délku a rozmístění prostorových oddílů (odpadne kritérium viditelnosti návěstidel a jednotné zábrzdné vzdálenosti 1 000 m) s cílem vytvořit podmínky pro jízdu vlaků v těsnějším sledu. Indikace volnosti koleje již bude prováděna výhradně počítači náprav napojenými na optickou datovou sběrnici. To umožní zbavit se v kolejišti izolovaných styků a problémů s jejich provozem spojenými.

Všechna tato témata nabývají na vážnosti při vícenásobné trakci (připřeže a postrky), jejichž aplikace úzce souvisí s podélným profilem trati. Jde zejména o výkonnost pevných trakčních zařízení (subsystém ENE), která je limitována nejen výkonem trakčních napájecích stanic, ale i přenosovou schopností trakčního vedení. Podstatné je, aby byla splněna kvalita napájení podle TSI ENE, tedy aby napětí na sběrači lokomotiv neklesalo pod 90 % jmenovité hodnoty. V souladu s TSI LOC&PAS jsou totiž vozidla o výkonu vyšším než 2 MW povinně vybavena softwarovým zařízením podle EN 50 388 pro automatické snižování výkonu při poklesu napájecího napětí pod 90 % jmenovité hodnoty. To sice chrání napájecí systém před přetížením s následkem vypnutí v důsledku zásahu ochrany, avšak za cenu nedodržení jízdního řádu vlivem prodloužení jízdních dob. Kvalitní napájení je proto výrazným opatřením k zajištění stability jízdního řádu. S tím přímo souvisí náhrada systému 3 kV

systémem 25 kV, který se vyznačuje mnohonásobně vyšší přenosovou schopností trakčního vedení, neboť ta roste s druhou mocninou napětí.

Se stabilitou jízdního řádu souvisí i další téma, a tím jsou elektrická následná mezidobí. Zejména v souvislosti s jízdou skupin nákladních vlaků v těsném sledu za sebou (ve svazcích) je důležité, aby výkonnost subsystému ENE nelimitovala výkonnost subsystémů INS a CCS. Tedy aby elektrické následné mezidobí nebylo delší než následné mezidobí umožněné konfigurací kolejiště a zabezpečovacím zařízením. V opačném případě by prodloužení rozestupu mezi vlaky v důsledku slabého napájení omezovalo kapacitu dráhy a tím znehodnocovalo investice vložené do modernizace tratí a zabezpečovací techniky včetně ERTMS. Proto ani současné pojetí řízení provozu z centrálních dispečerských pracovišť nepočítá s omezováním sledu jízdy vlaků v důsledku překročení výkonnosti subsystému ENE. Ten musí být dimenzován tak, aby potřeby provozu pokryl.

2.3 Podélný sklon

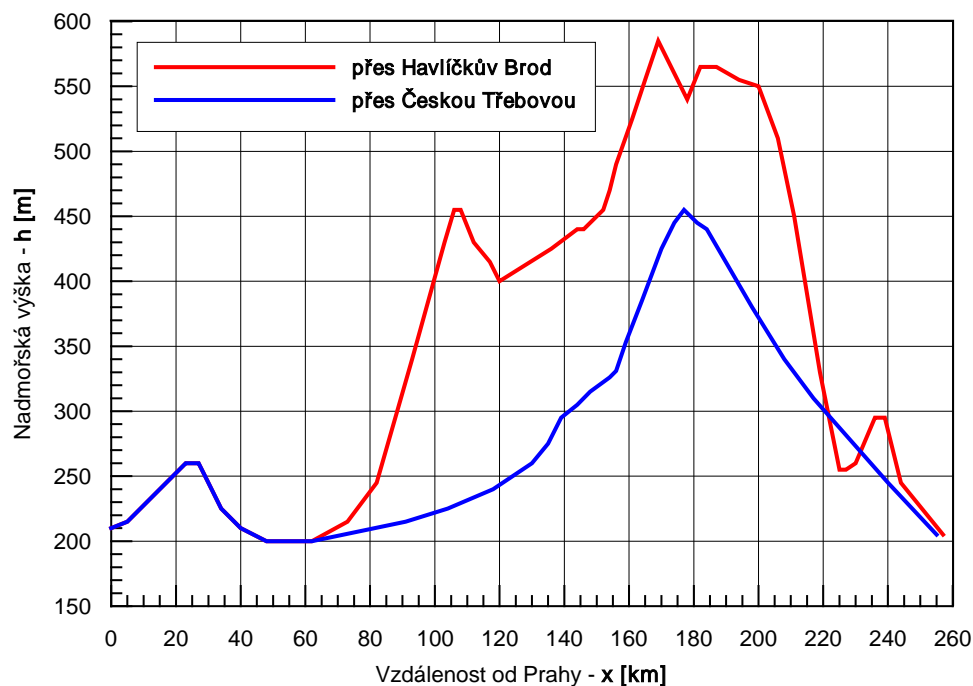
V souvislosti s hmotností vlaků je nutné uvědomit si, že v současnosti se v České republice většina nákladní železniční dopravy odehrává na tratích 1. a 2. národního tranzitního železničního koridoru, což jsou tratě sklonově velmi příznivé s podélnými sklony zpravidla jen do 7 ‰. Alois Negrelli důsledně trasoval tratě z Olomouce do Prahy a z Brna do České Třebové s nejvyšším sklonem 1 : 150 (6,7 ‰), což ve zvládnutém reliéfu krajiny nebylo snadné. To je dodnes činí velmi vhodnými pro nákladní dopravu, neboť vytvářejí podmínky pro vysoké normativy zátěže lokomotiv. Nástrojem k dosažení těchto sklonových poměrů mu byly oblouky o poloměru 200 sáhů (380 m). To byla ve své době velkorysá hodnota, avšak v současné době omezuje rychlost jízdy vlaků (v závislosti na velikosti stavebního převýšení) na úrovni 80 až 90 km/h. Snaha zvýšit traťovou rychlost cestou napřímení oblouků je spojená se zkrácením trasy a v důsledku toho (při zachování výškové úrovně) i se zvětšením podélného sklonu. To pak pochopitelně negativně ovlivňuje normativ zátěže nákladních vlaků pro jízdu lokomotiv ustálenou rychlostí. Tato nežádoucí situace nastala na modernizované trati Zábřeh na Moravě – Česká Třebová, kde nově vznikl před Třebovickým sedlem z moravské strany úsek se sklonem 10 ‰.

Tato skutečnost je závažným varováním. V minulosti univerzálně pojaté tratě mohou být po modernizaci, která je prioritně podřízená potřebám rychlé osobní dopravy (zvýšení traťové rychlosti), vůči nákladní dopravě méně přívětivé. A to jak snížením propustnosti (nerovnoběžný grafikon), tak i poklesem normativu hmotnosti v důsledku zvýšení podélného sklonu. To vede k poznání segregovat dopravu pomalých a rychlých vlaků výstavbou vysokorychlostních železnic. Avšak bylo by velkou chybou znehodnotit vysokorychlostní tratě snahou o jejich univerzální využitelnost i pomalými vlaky – vedlo by to k vysokým investičním i provozním nákladům.

V porovnání se současnou realitou převažujícího soustředění nákladní dopravy na tratě 1. a 2. tranzitního železničního koridoru odlišná situace nastane, až se po dokončení modernizačních prací vrátí nákladní doprava i na 3. a 4. tranzitní železniční koridor. Pro oba tyto koridory jsou charakteristické táhlé sklony 10 až 11 ‰. Ještě náročnější sklonové poměry se ovšem nacházejí na odklonové trati přes

Vysočinu (trať Brno – Havlíčkův Brod – Kolín, součást Východního a východo-středomořského koridoru RFC 7) s táhlým stoupáním 17 ‰ v úseku Tišnov – Vlkov.

Proto je logické, že nákladní dopravci preferují mezi Kolínem a Brnem jízdu přes Českou Třebovou před jízdou přes Havlíčkův Brod (viz obr. 1). Vyšší podélné sklony vedou z titulu vyšší spotřeby energie i z důvodu nižších normativů zátěže lokomotiv k vyšším provozním nákladům vlakové dopravy. Neschopnost úbočím vedené paralelní Duchcovsko-podmokelské dráhy s vrcholovým bodem u Malého Chvojna v nadmořské výšce téměř 400 m konkurovat při přepravě uhlí údolní kmenové trati ÚTD s vrcholovým bodem u Oldřichova ve výšce 250 m je dějinným dokladem této skutečnosti. Kompenzace vyšších provozních nákladů vlakové dopravy na tratích s velkými sklony (zejména objízdných tras) jejich zařazením do levnější kategorie při určování ceny za použití dráhy, jak nově činí SŽDC v Prohlášení o dráze [8], je správnou cestou k zapojení dalších tratí do sítě vhodné k zajišťování vlakové dopravy. Avšak toto zvýhodnění musí být náležitě významné, aby dopravci kompenzovalo zvýšené náklady spojené s jízdou vlaku po sklonově náročnější trati (vyšší spotřeba energie, nižší normativ zátěže, nižší produktivita vozidel a personálu).



Obrázek 1: Porovnání podélných profilů železničních tratí Praha – Brno trasovaných přes Havlíčkův Brod a přes Českou Třebovou

Podobně náročné sklonové poměry jako na trati přes Vysočinu jsou však i na obou větvích koridoru RFC 9 Rýn – Dunaj, které československou státní hranici překonávají jak přes Střelnou, tak přes Jablunkov s využitím dlouhých ramp se sklonem 16 ‰.

2.4 Tažná síla

Zcela samostatnou a mimořádně závažnou kapitolou je schopnost trakčních vozidel (lokomotiv) dopravovat do velkých stoupání dlouhé těžké nákladní vlaky. Zde působí dvě kritéria:

- zvládnout dopravu vlaku (neuvíznout);
- zvládnout dopravu těžkého vlaku určitou požadovanou rychlostí (nesnižovat propustnou kapacitu dráhy).

První kritérium je dáno adhezními schopnostmi lokomotivy (využitelná tažná síla na mezi adheze), k druhému ještě přistupuje trakční výkon.

Pro zajištění každodenního nekonfliktního provozu je z hlediska adhezního omezení rozhodující dosažitelná tažná síla nejen na suché koleji (bez písku), ale i na mokré koleji (s pískem). Zatímco u lokomotiv se stejnosměrnými trakčními motory bylo dlouhodobým provozem ověřeno využívat v tomto režimu součinitel adheze cca 0,21 (tažná síla 180 kN při hmotnosti 88 t), u lokomotiv s frekvenčně řízenými střídavými třífázovými asynchronními trakčními motory dospěl vývoj k hodnotám:

- využitelný součinitel adheze 0,24 (tažná síla 215 kN při hmotnosti 90 t) v případě vektorového řízení trakčního pohonu po podvozcích (dvojice trakčních motorů je napájena ze společného pulzního napěťového střídače) a tlapového pohonu dvojkolí (vyšší oscilace svislých kolových sil z důvodu velkých nevypružených hmot) – na suché koleji bez písku, na mokré koleji s pískem;
- využitelný součinitel adheze 0,28 (tažná síla 250 kN při hmotnosti 90 t) v případě vektorového řízení trakčního pohonu po dvojkolích (každý trakční motor je napájen z individuálního pulzního napěťového střídače) a odpruženého pohonu dvojkolí (nižší oscilace svislých kolových sil z důvodu menších nevypružených hmot) – na suché koleji bez písku, na mokré koleji s pískem.

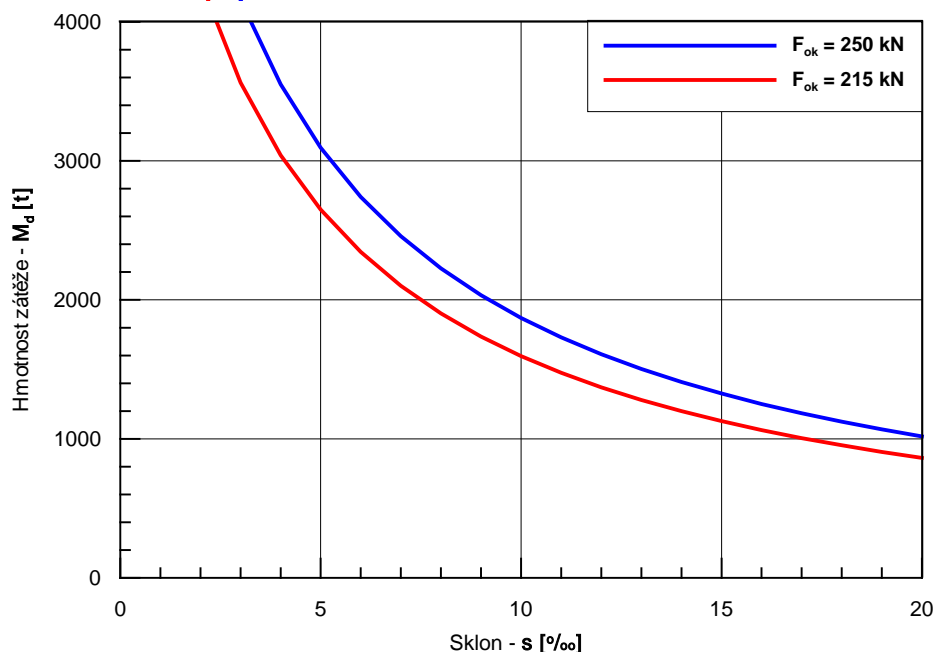
V této souvislosti však stojí za zmínku vliv kvality železničního svršku na dosažitelnou tažnou sílu hnacího vozidla. Zatímco výše uvedené hodnoty tažných sil na mezi adheze je možné v běžných podmínkách dosáhnout na koleji s dobrou geometrií (přijatelná úroveň nerovností koleje, absence vlnovitosti kolejnic), na neudržované koleji s velkými nerovnostmi mohou být disponibilní tažné síly stejných hnacích vozidel výrazně nižší, zejména u lokomotiv s tlapovými trakčními motory, což ostatně potvrzují i zkušenosti z provozu. Příčinu lze hledat ve známé závislosti dosažitelné tažné síly na součiniteli adheze a na svislém zatížení hnacích dvojkolí (tedy na součtu příslušných svislých kolových sil).

Běžně udávaná závislost dosažitelného součinitele adheze na rychlosti jízdy v podobě různých starších empirických vztahů (Curtius-Kniffler, Kother, ...), poplatných dnes již překonaným tehdejšími trakčním pohonům, pojezdům i kvalitě tratí, ve skutečnosti nemá přímé fyzikální opodstatnění. Skutečná podstata problému se skrývá v hodnotách svislého zatížení na jednotlivých kolech. Nikoliv součinitel adheze (μ), ale okamžitá hodnota svislé kolové síly (Q), ovlivněná dynamikou jedoucího vozidla, je závislá na rychlosti jízdy. Vlivem jízdy vozidla po nerovné koleji dochází k rozkmitání svislých kolových sil okolo hodnoty statického zatížení, čímž klesá výsledná efektivní hodnota svislého zatížení, využitelná pro adhezní přenos

podélných sil mezi kolem a kolejnici. A tento rozkmit svislých kolových sil je závislý jednak na rychlosti jízdy, ale právě také na nerovnostech koleje a svoji roli hraje i konstrukce pojezdu vozidla (zejména velikost nevypružených hmot). K tomu, aby mohla hnací vozidla i při vyšších rychlostech využívat vysoké hodnoty tažných sil, jsou proto kvalitní a udržovaná trať i kvalitní pojezd a kvalitní regulace tažných sil na mezi adheze nutnou podmínkou.

Zajímavým tématem je též porovnání dosažitelných adhezních tažných sil lokomotiv na kolejnicích s úklonem 1 : 20 a 1 : 40. Fyzikálně není důvod k tomu, aby byly na kolejnicích s úklonem 1 : 20 horší adhezní podmínky než na kolejnicích s úklonem 1 : 40. Avšak strojvedoucí dálkových nákladních vlaků takovou zkušenost mají. Příčinu tohoto jevu tak lze hledat zejména ve skutečnosti, že modernizované tratě s kolejnicemi s úklonem 1 : 40 jsou v lepším stavu jak z hlediska geometrie koleje, tak i opotřebení příčného profilu hlav kolejnic než původní traťové úseky s kolejnicemi s úklonem 1 : 20.

V grafu na obr. 2 je pak demonstrováno, jak závisí hmotnost zátěže, kterou je schopna dopravovat do stoupání konstantní rychlostí jedna lokomotiva disponující tažnou silou 215 kN (případ řízení tažné síly po podvozcích, tlapové trakční motory), resp. 250 kN (případ individuálního řízení tažné síly po dvojkolích, odpružené trakční motory) na hodnotě sklonu koleje za předpokladu působení měrného vozidlového odporu o hodnotě 2,5 N/kN (přibližně odpovídajícího odporu kategorie T4 při rychlosti 90 km/h) a měrného odporu z oblouku o hodnotě 0,5 N/kN, tedy za předpokladu působení odporu ze stoupání zvětšeného o 3 N/kN.



Obrázek 2: Závislost hmotnosti zátěže, kterou je schopna dopravovat jedna lokomotiva s disponibilní tažnou silou 215 kN, resp. 250 kN, na hodnotě sklonu koleje za předpokladu působení měrného vozidlového odporu o hodnotě 2,5 N/kN a měrného odporu z oblouku o hodnotě 0,5 N/kN

2.5 Trakční výkon

Zejména na tratích s taktovou osobní železniční dopravou (dálkovou či regionální) zbývají v jízdním řádu pro nákladní vlaky jen poměrně krátké časové úseky. Ty jsou využitelné jen pro trasování rychle jedoucích nákladních vlaků. Praktickým výsledkem je, že nákladní vlak schopný překonat rozhodné stoupání vyšší rychlostí, která nezdržuje osobní dopravu (typicky kolem 90 km/h), projede příslušný traťový úsek s minimem čekání na předjíždění, tedy relativně rychle, například s cestovní rychlostí 70 km/h. Avšak nákladní vlak schopný překonat rozhodné stoupání nižší rychlostí, která by zdržovala osobní dopravu (tradičně kolem 40 až 60 km/h), projede příslušný traťový úsek s řadou dlouhých čekání na předjíždění, která sníží jeho cestovní rychlost na hodnoty kolem 20 až 30 km/h. To má zásadní dopad nejen na atraktivitu nákladní dopravy a na produktivitu vozidel a personálu, ale v zásadě i na použitelnost nákladní železniční dopravy – pomalé nákladní vlaky přes osobní dopravou silně zatížené traťové úseky neprojedou.

Důsledkem této skutečnosti je růst trakčního výkonu elektrických lokomotiv z tradičních 2 MW (tažná síla 180 kN při rychlosti 40 km/h), resp. 3 MW (tažná síla 180 kN při rychlosti 60 km/h), na současných 6,4 MW (tažná síla 250 kN při rychlosti 92 km/h), který byl umožněn odklonem od používání trakčních motorů s komutátory (limitní výkon cca 1 MW na dvojkolí) ve prospěch třífázových asynchronních trakčních motorů (limitní výkon cca 1,6 MW na dvojkolí). To vyplývá z požadavku zvýšit měrný trakční výkon nákladních vlaků z někdejších 1 až 1,5 kW/t na současných typických 3 kW/t.

Tento vývoj pěkně ilustrují rakouské železnice. V éře někdejších Kk.St.B. byly lokomotivy označovány cedulkou s válečnou kategorií, která udávala hmotnost vlaku, kterou je lokomotiva schopna dopravit do stoupání 10 ‰ rychlostí 17 km/h. V současné době je na rakouských železnicích kritériem normativu hmotnosti nákladního vlaku nejen tažná síla lokomotivy, ale i její výkon, neboť je nutno dodržet stanovenou jízdní dobu pro danou trasu. Náležitě využití možné propustnosti tratí je základním cílem.

2.6 Kombinace různých lokomotiv

Pokud jsou k dopravě vlaku použity (v podobě příprěže či postrku) dvě či více lokomotiv různých výkonů a různých mezních tažných sil, tedy s různými mezními rychlostmi, nelze jejich výkony a mezní tažné síly jednoduše sčítat. Pokud by byly lokomotivy používány k vlakové dopravě samostatně, poveze každá z nich svůj vlak jinou rychlostí. Avšak při společném nasazení k dopravě vlaku musí jet rychlostí stejnou. Z toho při různých výkonech plynou dvě možnosti (které lze aplikovat i společně):

- výkonnější lokomotiva sníží svůj výkon tak, aby se přizpůsobila méně výkonné lokomotivě (její mezní rychlosti). Pak obě lokomotivy plně využijí své mezní tažné síly, ale výkonnější lokomotiva nevyužije svůj jmenovitý výkon. Výsledný normativ zátěže odpovídá součtu normativů zátěže jednotlivých lokomotiv, ale vlak jede pomalu, rychlostí odpovídající méně výkonné lokomotivě;
- méně výkonná lokomotiva zvýší svojí rychlost tak, aby se přizpůsobila více výkonné lokomotivě (její mezní rychlosti). Pak obě lokomotivy plně využijí své

jmenovité výkony, ale méně výkonná lokomotiva nevyužije svoji mezní tažnou sílu. Vlak jede sice rychle (rychlostí odpovídající výkonnější lokomotivě), ale výsledný normativ zátěže je nižší než součet normativů zátěže jednotlivých lokomotiv.

Pokud například společně dopravují vlak lokomotiva o výkonu 3 MW (tažná síla 180 kN při rychlosti 60 km/h) a lokomotiva o výkonu 6,4 MW (tažná síla 250 kN při rychlosti 92 km/h), tak je možno volit z hlediska využití výkonu a dosažené rychlosti dva stavy:

- výkonnější lokomotiva sníží svůj výkon tak, aby se přizpůsobila méně výkonné lokomotivě (její mezní rychlosti 60 km/h). Spolu disponují plnou mezní tažnou silou $180 + 250 = 430$ kN, ale sníženým výkonem $3 + 4,2 = 7,2$ MW (proti možným 9,4 MW);
- méně výkonná lokomotiva zvýší svojí rychlost tak, aby se přizpůsobila výkonnější lokomotivě (její mezní rychlosti 92 km/h), tím však klesne její tažná síla. Spolu disponují plným výkonem $3 + 6,4 = 9,4$ MW, ale sníženou mezní tažnou silou $250 + 117 = 367$ kN.

Použití vícenásobné trakce (připřež či postrk) je v současnosti při vozbě dálkových nákladních vlaků zpravidla vázáno na určitý nepříliš dlouhý horský úsek (překonání rozvodí). O tom, kterou z výše uvedených možností lze při dopravě vlaku kritickým úsekem použít, tedy zda dvě rovnocenné lokomotivy, nebo zda postačí výpomoc poskytnutá (starší) méně výkonnou lokomotivou, rozhodují dvě objektivní okolnosti:

- jak velký je rozdíl mezi normativem zátěže vlakové lokomotivy a skutečnou hmotností vlaku. Tedy jak velkou tažnou (respektive tlačnou) přídatnou sílu připřežní či postrkové lokomotivy je potřeba doplnit k tažné síle vlakové lokomotivy, a zda je k docílení této přídatné síly nutno snížit výkon, a tedy rychlost vlakové lokomotivy;
- jak silný je provoz vlakové dopravy na dotyčné trati, tedy zda je z titulu její propustnosti přípustné případné snížení rychlosti jízdy nákladního vlaku z důvodu přizpůsobení (snížení) výkonu vlakové lokomotivy méně výkonné připřežní či postrkové lokomotivě.

Každopádně se při vícenásobné trakci jeví jako výhodnější používat typově stejná hnací vozidla. Tuto důležitou skutečnost je nutno vzít v úvahu i při dimenzování trakčních zařízení (trakčního vedení a trakčních napájecích stanic – subsystém ENE) na sklonově náročných tratích s předpokladem využívání vícenásobné trakce.

2.7 Dovolené namáhání spřáhel

S hmotností (dlouhých) vlaků a se sklonovými poměry na trati přímo souvisí jeden z konkrétních provozních problémů, a to dovolené namáhání spřahovacího ústrojí. Na rozdíl od např. amerických, australských, ruských či čínských železnic se v evropské nákladní železniční dopravě dosud až na výjimky neprosadilo centrální spřáhlo, které umožňuje přenášet podstatně větší podélné síly než dnešní standard UIC – táhlový hák se šroubovkou. Iniciativa UIC zavést ho na evropských železnicích, intenzivně rozvíjená v 70. letech minulého století, byla zmařena tehdejšími politickým rozdělením Evropy:

- západoevropské země (tehdy spojené v EHS) inklinovaly k automatickému spřáhlu zajišťujícímu kromě mechanického spojení vozidel i propojení jejich pneumatických a elektrických zařízení, tedy ke spřáhlu tuhému (bez možnosti vzájemného vertikálního pohybu hlav);
- země socialistického tábora (tehdy spojené v RVHP) požadovaly kompatibilitu nového evropského automatického spřáhla s automatickým spřáhlem typu SA-3 zavedeným na železnicích tehdejšího Svazu sovětských socialistických republik (rozchod 1 524 mm), které je spřáhlem netuhým (s možností vzájemného vertikálního pohybu hlav), a tedy z principu neumožňuje koncentrické spojení pneumatických potrubí a elektrických vodičů.

Výsledkem těchto protichůdných požadavků, definovaných ve vyhláškách OSŽD 522/1 a UIC 522, bylo vytvoření vzorků sice funkčních, ale složitých a drahých spřáhel OSŽD typ 1.197 a UIC Eurocoupler, respektive Unicoupler, s nevelkou důvěrou v jejich provozní spolehlivost. Ekonomickým důsledkem bylo neúspěšné ukončení projektu jednotného evropského automatického spřáhla a zachování tradičního tažného a nárazecího ústrojí. Jen mohutné šrouby v čelních partiích lokomotiv z té doby dodnes připomínají tehdejší rozhodnutí. Zároveň dokládají, že toto téma nebylo zdoáno, ale jen odsunuto. Jeho řešení má evropská železnice stále před sebou, neboť nárazníky a tažný hák se šroubovkou jsou rok od roku stále větším anachronizmem.

Stojí za povšimnutí, že navzdory popisovanému nezdaru se v osobní dopravě u trakčních jednotek neformálně prosadil standard:

- vně automatické spřáhlo s hlavou typu 10;
- uvnitř semipermanentní spřáhlo.

Na dobrou zkušenost se spojením vozidel centrálními spřáhly navázaly i netrakční jednotky, které praktikují standard:

- vně táhlový hák se šroubovkou a nárazníky (z důvodu jednotného standardního rozhraní s lokomotivami, případně i s posilovými vozy);
- uvnitř semipermanentní spřáhlo.

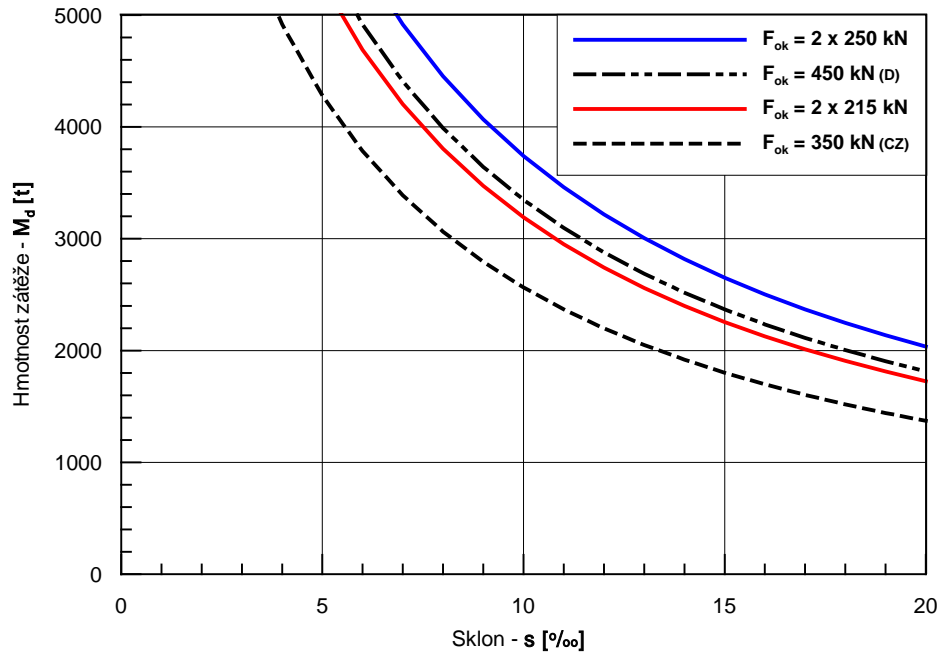
Z vozidel určených k přepravě osob tak (zejména v novovýrobě) tradiční UIC mezivozové rozhraní postupně mizí. Avšak v nákladní dopravě ustrnula evropská vozidla na tradičních náraznicích a táhlovém háku se šroubovkou, což nepříjemně limituje tažné i tlačné síly. Omezujícím prvkem této konstrukce je šroubovka, konkrétně pak závěsnice, které mají ve své základní variantě (tzv. „spřahovací systém 1 MN“ dle EN 15 566 [9]) statickou pevnost 850 kN. Je však zřejmé, že při vyvíjení tažných sil hnacími vozidly v čele vlaku nelze z důvodu existence podélných dynamických jevů v soupravě statickými silami plně využívat tuto limitní hodnotu. Musí být zachována určitá bezpečnost vůči překročení pevnosti spřahovacího systému, které by vedlo k přetržení vlaku. Definice limitní hodnoty tažné síly, kterou může být šroubovka zatěžována, však není zakotvena ani v TSI (WAG, LOC&PAS ani OPE), ani v normě EN 15 566, a je tudíž v rámci evropské železniční sítě národním specifikem. V podmínkách SŽDC se touto otázkou zabývá předpis SŽDC (ČD) D2/1 [10], kde je pro vozidla normální stavby uvedeno, že: „*Hranice dovoleného*

namáhání táhlového ústrojí v tahu je překročena, činí-li okamžitá tažná síla na háku vozidla více než 350 kN.“

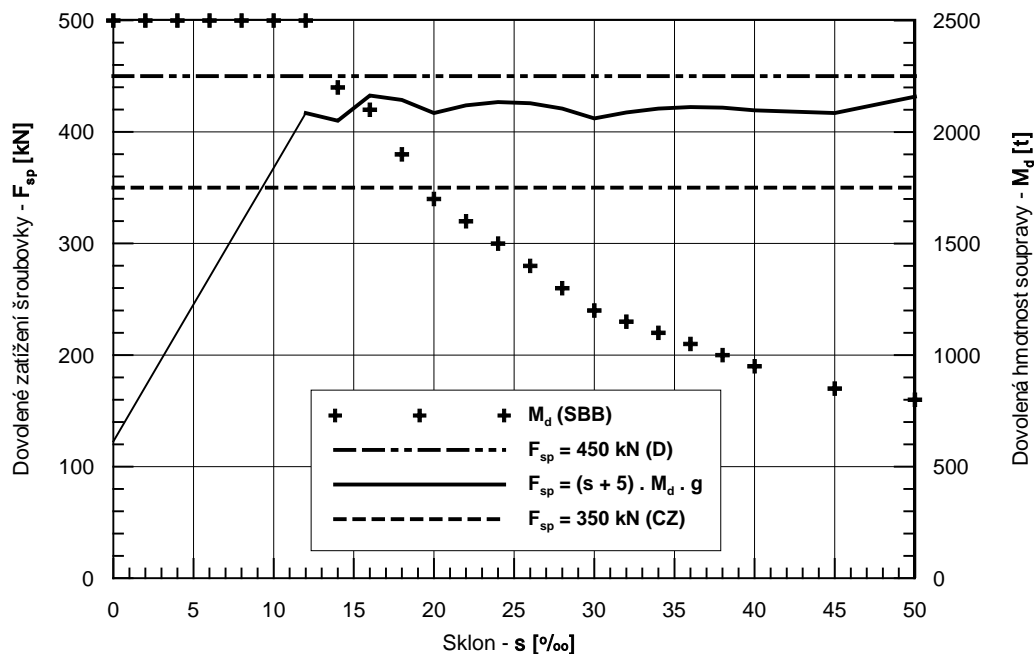
V kontextu tohoto limitu je zřejmé, že trakční parametry moderních čtyřnápravových elektrických lokomotiv (trakční výkon přibližně 6 MW, rozjezdová tažná síla na obvodu kol až 300 kN, disponibilní tažná síla na obvodu kol cca 215 kN v případě regulace po podvozcích, resp. cca 250 kN v případě individuální regulace trakčních motorů) nelze efektivně využít, má-li být druhá lokomotiva řazena jako přípřežní. Pokud nemá být překročen limit tažné síly na háku 350 kN, musí být tažná síla každé z dvojice lokomotiv v čele vlaku omezena přibližně na 175 kN, tedy přibližně na 80 %, resp. 70 % uvažovaných hodnot disponibilní tažné síly každé lokomotivy. To je nepříjemné, neboť snaha plnohodnotně využít tažných sil obou lokomotiv vede k použití druhé lokomotivy nikoliv jako přípřežní (v režimu vícečlenného řízení), ale na postrku. To je v porovnání s přípřeží určitou provozní komplikací, která zvyšuje provozní náklady, protože vzniká potřeba nejen druhé lokomotivy, ale i druhého strojvedoucího.

Hodnota dovoleného zatížení tažného a narážecího ústrojí 350 kN, uplatňovaná na síti SŽDC, pravděpodobně pochází z výzkumu prováděného kolem roku 1960 na tehdejších ČSD (viz [11]). Tento výzkum probíhal za velmi dramatických souvislostí, neboť v síti ČSD tehdy docházelo ročně k cca 2 500 případům přetržení vlaku. Skutečnost, že více než polovina přetržení nastala při brzdění, dokládá, že nikoliv statické, ale dynamické síly byly základní příčinou této kalamitní situace. Tu však je nutno vidět v kontextu tehdejšího technického stavu vozidel (velký podíl vozů bez průběžné brzdy, kombinace pneumatických brzd s jednorázově a stupňovitě odbrzditelnými rozvaděči, průběžného a neprůběžného táhlového ústrojí, nárazníky s kuželovými pružinami s malým vnitřním útlumem, ...). Od té doby došlo k významnému zlepšení technického stavu vozidel (nárazníky s prstencovými pružinami s velkým vnitřním útlumem, sjednocení a modernizace brzdové výstroje vozů, dokonalejší brzdové rozvaděče ve vozech i dokonalejší brzdiče na lokomotivách, plynulá regulace tažné síly, moderní protiskluzové ochrany, ...). Následně však již podobná měření prováděna nebyla.

O konzervativnosti limitu 350 kN tahového namáhání spřahovacího ústrojí svědčí i situace v zahraničí. V současnosti v Německu umožňuje správce infrastruktury DB Netz využívat pro tatáž vozidla jako u nás (tj. pro lokomotivy a vozy se standardní šroubovkou se statickou pevností 850 kN) maximální hodnotu tažné síly 450 kN. V případě zesílené šroubovky (tzv. „spřahovací systém 1,2 MN“ se statickou pevností šroubovky 1 020 kN, nebo „spřahovací systém 1,5 MN“ se statickou pevností šroubovky 1 350 kN dle EN 15 566) pak dokonce 500 kN (viz [12]). V grafu na obr. 3 je – analogicky k obr. 2 – znázorněno porovnání hmotnosti zátěže, která může být za daných předpokladů dopravována dvojicí lokomotiv, a to jak při respektování definovaných limitů zatížení táhlového ústrojí, tak při plném využití disponibilních tažných sil dvojice lokomotiv.



Obrázek 3: Závislost hmotnosti zátěže, kterou je schopna dopravit dvojice lokomotiv při plném využití disponibilní tažné síly 215 kN, resp. 250 kN a při respektování limitů namáhání spřahovacího systému 350 kN a 450 kN, na hodnotě sklonu koleje za předpokladu působení měrného vozidlového odporu o hodnotě 2,5 N/kN a měrného odporu z oblouku o hodnotě 0,5 N/kN



Obrázek 4: Různé definice dovoleného zatížení táhlového ústrojí (šroubovky s pevností 850 kN) v závislosti na hodnotě sklonu koleje (ČR: 350 kN, Německo: 450 kN, Švýcarsko: závislost hmotnosti soupravy na sklonu a odpovídající jízdní odpor, určený jako odpor ze sklonu zvětšený o 5 N/kN)

A podobně jako v Německu je tomu i ve Švýcarsku. Provozní předpisy švýcarských drah SBB (viz [13]) definují dovolené zatížení tažného ústrojí vozidel formou tabulky závislosti hmotnosti zátěže na sklonu trati. Tyto uvažované limity jsou pro názornost graficky porovnány na obr. 4. Ve Švýcarsku používané dovolené hodnoty hmotnosti zátěže jsou zde přepočítány s uvažováním odporu ze sklonu zvětšeného o 5 ‰, což zohledňuje vliv vozidlového odporu a odporu z jízdy obloukem. Z grafu je zřejmé, že odpovídající celková tažná síla se pohybuje těsně pod hranicí 450 kN (hodnoty hmotnosti vlaku jsou zaokrouhlovány dolů na celé stovky).

Z těchto skutečností je zřejmé, že stojí za to prověřit (jak na straně vozidel, tak na straně železniční dopravní cesty), zda a za jakých podmínek lze i na tratích SŽDC zvýšit limit tažných sil dvojice lokomotiv ze současných 350 kN na hodnotu 450 až 500 kN.

2.8 Postrky

Vedle použití přípřeže lokomotiv je druhou možností jak zvýšit hmotnost vlaku, kterou lze dopravit kritickým traťovým úsekem, využití postrku. Tato možnost je v poslední době velmi diskutovaná, a to aktuálně zejména v souvislosti se snahou o zavedení veřejné postrkové služby dostupné všem dopravcům v relaci Brno-Maloměřice – Kutná Hora hl. n., resp. Kolín. Při poskytování veřejné postrkové služby je důležitým aspektem, že z právního hlediska zůstává (na rozdíl od přípřeže) odpovědnost za dopravu vlaku na osobě strojvedoucího vlakové lokomotivy kmenového dopravce.

V souvislosti s postrky jsou dnes na síti SŽDC omezujícími faktory opět příslušná ustanovení předpisu D2/1 [10], která pro vozidla normální stavby stanovují hranici dovoleného namáhání nárazecího ústrojí v tlaku na 350 kN pro případ dvou postrků („dvojitého postrku“). Použití dvou postrků však musí být pro daný traťový úsek povoleno v příslušných tabulkách traťových poměrů (TTP). V úsecích, kde TTP umožňují řazení jen jednoho postrku, je tlačná síla hnacích vozidel na konci vlaku omezena na 200 kN. Kromě toho jsou pro nákladní vlaky s postrkem stanoveny další podmínky týkající se řazení vozidel ve vlaku nebo dovoleného rozdílu výšek nárazníků sousedních vozidel (viz např. směrnici PTs9-B-2011 ČD-C [14]). Ještě z období parních lokomotiv převzatý pojem „dvojitý postrk“ je poněkud zavádějící. U parních lokomotiv byla předpisem D 12 ČSD definována maximální síla pro součinitel adheze cca 0,20 a zpravidla měly nejvýše 16 t na nápravu, tedy dosahovaly v pětispřežním provedení tažnou či tlačnou sílu kolem 160 kN. Avšak rozjezdové tažné či tlačné síly blížící se limitu 350 kN dosahují i jednoduše jak starší šestinápravové lokomotivy, tak moderní čtyřnápravové lokomotivy. U parních lokomotiv byla navíc z důvodu jejich nízkého výkonu, a tím i nízké kritické rychlosti (556.0: 20 km/h) téměř totožná rozjezdová tažná síla a tažná síla při práci plným výkonem. U elektrických lokomotiv (starších i novějších) tomu tak není, mezi maximální rozjezdovou tažnou silou (omezenou adhezí či pohonem) a tažnou silou při práci jmenovitým výkonem (pracovní bod při jízdě ustálenou rychlostí) může být značný rozdíl. Proto je potřebné hodnoty obou sil rozlišovat.

Omezení tlačné síly postrků je v zahraničí poněkud komplikovanější. Například v provozních předpisech DB Netz – konkrétně v Ril 408.2441 [15] – lze najít ustanovení, které říká, že v případě vlaků složených výhradně z podvozkových vozů není předepsáno žádné omezení tlačné síly postrkového hnacího vozidla, ve všech

ostatních případech je ovšem dovolená tlačná síla omezena na 240 kN a v obvodech nádraží a odboček pak nesmí tlačná síla překročit hodnotu 120 kN. Kromě toho je uvedeným předpisem omezena i rychlost jízdy vlaků s postrkem, a to na 60 km/h v případě nezavěšeného postrku, resp. na 80 km/h v případě, kdy je postrkové hnací vozidlo s vlakem svěřeno. V porovnání s tradicí i současností předpisů na železnicích v ČR, které připouštějí stejnou hodnotu 350 kN pro tažení i tlačení vlaku, jsou tedy současné německé předpisy při tlačení mnohem více opatrné než při tažení.

Těmi skutečnými faktory, které limitují možnosti využití postrků, však nejsou předpisy samotné, nýbrž jejich fyzikální podstata. Nejde o pevnost nárazecího ústrojí, ale zejména o příčné silové účinky vozidel na kolej a bezpečnost proti vykolejení. Za zmínku v této souvislosti stojí metodika, která definuje, jak se v současné době ověřuje bezpečnost nákladních vozů při působení podélných (tlačných) sil, potažmo pro jaké podmínky jsou nákladní vozy navrhovány. Tato metodika je definována v normě EN 15 839 [16], která vychází z vyhlášky UIC 530-2 a de facto říká, že dvounápravové nákladní vozy musí vyhovět působení podélné tlačné síly alespoň 200 kN (přičemž původní vyhláška UIC 530-2 pracovala u starších vozů i s limity 150 kN, resp. 180 kN) a vozy vybavené dvounápravovými podvozky alespoň 240 kN. Příslušné zkoušky vozů probíhají v definované sestavě vlaku při jeho sunutí rychlostí 4 až 8 km/h dvojicí protisměrných oblouků o poloměru 150 m s krátkou mezipřímou délkou 6 m. Sledovanými veličinami jsou přitom především zdvihy jednotlivých kol zkoušeného vozidla a hodnoty rámových sil na jednotlivých dvojkolích pro danou podélnou sílu.

Uvedená omezení úzce souvisejí právě s použitím standardního tažného a nárazecího ústrojí UIC, kdy při působení tlačných sil vznikají při vzájemném příčném pohybu sousedních vozů – tedy zejména při průjezdu (protisměrnými) oblouky a výhybkovými konstrukcemi – mezi těmito vozy příčné třecí síly na jejich náraznicích. Tyto příčné třecí síly jsou úměrné podélné tlačné síle a mohou poměrně výrazně ovlivnit silové poměry mezi koly a kolejnicemi, a tudíž i bezpečnost proti vykolejení. Existenci a velikost těchto příčných třecích sil ostatně dokládají i případy únavového poškození vnitřních nárazníků, známé z minulosti například z provozu elektrických jednotek řady 560 na obloukovitých tratích v okolí Brna, nebo případy v provozu upadlých nárazníků zaznamenané na nových plošinových vozech pro přepravu dřeva ve Švédsku na přelomu loňského a letošního roku.

Je zřejmé, že v přímé koleji a v obloucích o velkých poloměrech není potřeba tlačnou sílu postrkového hnacího vozidla omezovat tak výrazně jako v případě stísněných směrových poměrů. S ohledem na výše uvedené je ovšem nutné požadavky na dovolenou tlačnou sílu určitým způsobem přenést z podmínek zkušebního úseku podle normy EN 15 839 do běžných traťových poměrů předmětných traťových úseků. Tedy omezit tlačnou sílu tak, aby vlivem jejího působení nevznikaly velké příčné síly navozující nebezpečné situace. Respektive aby nedocházelo k enormnímu nárůstu silového působení vozidel na kolej (a samozřejmě také opotřebení).

K tomu je potřeba mít na paměti, že např. kolejová spojka pro rychlost jízdy do odbočky 40 km/h je tvořena dvojicí protisměrných oblouků o jmenovitém poloměru

190 m s krátkou mezipřímou. Přitom za vyhovující vůz se při zkouškách dle EN 15 839 považuje takový, jehož nenabíhající kola se při působení tlačné síly výše uvedených hodnot (tedy hodnot výrazně nižších než v ČR povolených 350 kN) nenadzdvihávají více než o 50 mm nad kolejnici. Toto je tedy jeden z důvodů, proč např. výše zmíněné německé provozní předpisy omezují dovolenou tlačnou sílu postrkového vozidla v obvodu stanic na 120 kN. Podobně tak ve Švýcarsku je – dle informací uvedených v článku [17] – tlačná síla lokomotivy situované na konci těžké vratné soupravy automaticky omezována maximálně na 150 kN při rychlostech do 45 km/h, což odpovídá právě jízdě odbočkou. Toto téma se pochopitelně týká i tlačných sil při brzdění, zejména elektrodynamickém. Je proto zcela na místě, že SŽDC již zadala k řešení úkol technického rozvoje, který se zabývá tématem vzniku a působení příčných sil mezi vozidlem a kolejí iniciovaných podélnými tlakovými silami v soupravě vlaku.

3 Závěr I. dílu

Jak vyplývá z výše uvedeného, jsou současná pravidla pro dopravu těžkých nákladních vlaků více lokomotivami na síti železničních tratí SŽDC poněkud odlišná v porovnání s některými dalšími evropskými státy:

- z hlediska dovoleného tahového namáhání táhlového ústrojí jsou předpisy v ČR opatrnější;
- z hlediska tlačných sil při sunutí souprav lze považovat předpisy v ČR naopak za odvážnější.

Tato odlišnost je – zejména v kontextu vývoje železniční techniky v posledních desetiletích – patrně dána především tradicí. Proto se jeví rozumné ji blíže analyzovat a řešit. Pro jízdu těžkých nákladních vlaků do strmějších stoupání (ať již na Vysočině, nebo směrem na Slovensko do Lyského či Jablunkovského průsmyku, ale také na tratích 3. a 4. tranzitního železničního koridoru) je při použití dvojic lokomotiv v čele vlaku stávající limit tahového namáhání šroubovky 350 kN omezujícím faktorem. Logickým řešením je tedy použití postrku k jízdě do stoupání. To však má svá úskalí jak z pohledu využití personálu, tak z důvodu bezpečnosti jízdy a zvýšené úrovně příčného silového působení vozidel na trať ve stísněnějších směrových poměrech.

Zajištění provozu nákladních vlaků délky 740 m na české železniční síti však zdaleka není podmíněno jen nalezením odpovědi na otázku, jak vyvézt těžký vlak do stoupání. Velmi zásadním tématem je i jízda po spádu, tedy záležitosti týkající se brzdění dlouhých těžkých nákladních vlaků.

V souvislosti s aktuálním úkolem zajistit vozbu dlouhých těžkých vlaků vyvstává i více dalších otázek, které se dotýkají širokého spektra problémů – od brzdění vlaků přes elektrické napájení až po zabezpečení jízdy vlaků. A to jak na tratích již provozovaných, tak, a to zejména, na tratích nově budovaných (resp. plánovaných), trasovaných přes pohoří. Těmto otázkám bude proto věnován další díl tohoto pojednání.



Poděkování:

Autoři článku děkují za cenné připomínky a náměty p. Lukáši Soukupovi z Ministerstva dopravy ČR, p. Janu Plomerovi z Českých drah, p. Josefu Hendrychovi, p. Marku Binkovi a p. Rudolfu Mrzenovi ze SŽDC, p. Jaroslavu Tylemu ze sdružení ŽESNAD.CZ a p. Zdeňku Malkovskému z VÚKV.

Literatura:

- [1] *KOM (2011) 144. Bílá kniha. Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje.* Brusel: Evropská komise, 2011.
- [2] *Státní energetická koncepce České republiky.* Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky, 2014.
- [3] *Národní program snižování emisí České republiky.* Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2015.
- [4] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1315/2013 ze dne 11. prosince 2013 o hlavních směrech Unie pro rozvoj transevropské dopravní sítě a o zrušení rozhodnutí č. 661/2010/EU.* Brusel, Evropský parlament a Rada, 2013.
- [5] *European Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations (AGTC).* Geneva: United Nations – Economic Commission for Europe, 1. 2. 1991.
- [6] *Nařízení Komise (EU) č. 1299/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technických specifikacích pro interoperabilitu subsystému infrastruktura železničního systému v Evropské unii.* Brusel: Evropská komise, 2014.
- [7] *ČSN 342613 ed.3:2014. Železniční zabezpečovací zařízení – Kolejové obvody a vnější podmínky pro jejich činnost.* Praha: ÚNMZ, 2014.
- [8] *Prohlášení o dráze celostátní a regionální, platné pro přípravu jízdního řádu 2018 a pro jízdní řád 2018, účinné od 1. 12. 2016.* Č.j. S 46755/2016-SŽDC-O12. Praha: SŽDC, s. o., 2016.
- [9] *ČSN EN 15566:2017. Železniční aplikace – Železniční vozidla – Táhlové ústrojí a šroubovka.* Praha: ÚNMZ, 2017.
- [10] *SŽDC (ČD) D 2/1. Doplněk s technickými údaji k Dopravním předpisům.* Praha: České dráhy, a.s., 1994. (Změna č. 1 s účinností od 1. 4. 2006.)
- [11] Pospíšil, M.: *Příčiny trhání vlaků.* Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1962.
- [12] *DB Netze: Grenzlasten – Definition, Grenzlasttabellen und Einzelgrenzlastberechnung.* Dostupné z: http://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/technischer_netzzugang/grenzlasten.html [cit. 2018-04-27].
- [13] *R P 20000813. Betriebsvorschrift SBB Verkehr [5.2a] – Normallasten.* Bern: Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013.
- [14] *Směrnice PTs9-B-2011. Provoz a technologie sestavy vlaku.* Praha: ČD Cargo, a.s., 2011.
- [15] *Richtlinie 408.2441. Bahnbetrieb – Fahrdienstvorschrift – Züge fahren; Nachschieben.* Frankfurt am Main: DB Netz AG, 2016.
- [16] *ČSN EN 15839+A1:2016. Železniční aplikace – Přejímací zkoušky jízdních charakteristik železničních vozidel – Nákladní vozy – Zkoušky jízdní bezpečnosti při působení podélných tlakových sil.* Praha: ÚNMZ, 2016.
- [17] *Weitere IC-Entgleisungen in Stuttgart.* In: *Eisenbahn-Revue International*, 11/2012, s. 535–536. ISSN 1421-2811.



Praha, září 2018

Lektorovali: Ing. Rudolf Mrzena, Ph.D.
Správa železniční dopravní cesty, s. o.

Ing. Jaroslav Tyle
ŽESNAD.CZ