

Jiří Pohl<sup>1</sup>

## **Energetické aspekty moderní železniční dopravy**

**Klíčová slova:** *energetika, uhlíková stopa, železnice, úspory energie, technické inovace, exhalace*

### **Úvod**

Po velkém budovatelském úsilí ve druhé polovině 19. století a zjevném ochabnutí v průběhu 20. století prožívá železnice v 21. století opět velké investiční oživení. Příčinou tohoto pro železnici šťastného období není nostalgické vzpomínání na železnici 19. a 20. století, ale především její nízká energetická náročnost a schopnost fungovat i bez fosilních paliv. Jakkoliv jde v zásadě o návrat ke kořenům, neboť právě nízká energetická náročnost dopravy vozů po ocelových kolejnicích byla motivem ke vzniku železnic, v té době ještě koněspřežných. Avšak tehdy se nehovořilo o energetice vozby, ale jednoduše o tom, že na hladkých ocelových kolejnicích zvládali koně dopravovat větší zátěž, tedy k přepravě nákladu spotřebovali méně energie v podobě krmiva.

Princip snížení valivého odporu použitím ocelových kol a ocelových kolejnic byl tvůrcům prvních železnic dobře znám, proto železnice budovali jako náhradu za tradiční silnice. Avšak v té době netušili, že s jízdou po kolejnicích, respektive s vedením vozidel v koleji, souvisí ještě další dva principy, které jsou pro nízkou energetickou náročnost železnice minimálně stejně důležité jako nízký valivý odpor. Prvním je nízký aerodynamický odpor, který souvisí s jízdou vozidel v zákrytu, tedy se schopností kolejových vozidel tvořit dlouhý štíhlý vlak. Druhým principem je snadná proveditelnost elektrického napájení, neboť ocelové kolejnice vedou vozidla v podélné ose pod trakčním vedením, a navíc svojí elektrickou vodivostí vytvářejí zpětnou cestu trakčního proudu a udržují vozidlo na potenciálu země, což umožňuje používat konstrukčně snadné jednostopé vrchní trakční vedení.

## **1 Význam a přínosy úspor energie**

### *1.1 Souvislost energetické náročnosti s exhalacemi*

Zpočátku měly přirozené snahy o nízkou spotřebu energie zejména ekonomickou motivaci, úspory energie byly vnímány jako vítané snížení provozních nákladů. Až mnohem později, po extenzivním rozvoji dopravy, zejména silniční, který nastal v průběhu 20. století díky dostatku levných ropných paliv a který byl spojený s masivní aplikací spalovacích motorů v dopravních prostředcích, začala společnost

---

<sup>1</sup> Ing. Jiří Pohl, Siemens, s. r. o., Mobility Division, Engineering Mainline Transport, Senior Engineer. Člen Výboru pro udržitelnou dopravu. Člen Výboru pro udržitelnou energetiku.

vnímat, že úspory energie s sebou nesou i snížení exhalací produkovaných dopravou.

Až teprve v posledních letech se lidská společnost naučila (a v některých zemích, ke kterým patří i Česká republika, se to učí teprve nyní) vnímat a rozlišovat dva druhy škodlivosti exhalací produkovaných spalovacími motory:

- **globální exhalace**, jejichž škodlivý účinek se projevuje souhrnně v součtu za celou planetu Zemi. Jde o přesun uhlíku, léta uloženého ve fosilních palivech v podzemí, do zemského obalu, a to v podobě oxidu uhličitého, který vzniká jejich spalováním a který spolu s dalšími plyny zvyšuje tepelně izolační schopnost zemského ovzduší s následkem zvyšování teploty Země. Přestože se jedná o zákonitost známé již více než sto let (Stewe Arhenius je popsal na počátku 20. století), a přestože k jejich matematickému popisu stačí trojčlenka, tedy znalosti prvního stupně základní školy, začaly být klimatické důsledky používání fosilních paliv vnímány až poté, kdy se lidstvu podařilo spalováním uhlí, ropy a zemního plynu nevratně zvýšit teplotu Země o cca 1 °C a klimatické změny doprovázené extrémními výkyvy počasí a suchem se staly realitou;
- **lokální exhalace**, jejichž škodlivý účinek se projevuje v místě spalování, tedy v případě dopravy podél dopravních cest. Jedná se o látky, které svojí přítomností v ovzduší poškozují zdraví obyvatelstva. Jde zejména o polyaromatické uhlovodíky (PAH), typicky benzo(a)pyren, které se vážou na jemné prachové částice a pronikají spolu s nimi přes sliznice do krevního oběhu lidského těla a podporují vznik řady vážných chorob.

Velmi nebezpečné pro lidské zdraví jsou i oxidy dusíku, zejména NO<sub>2</sub>, které vznikají oxysličováním vzdušného dusíku při vysokých teplotách vyvolaných spalováním.

Hodnota zdraví je stále více ceněna. Podobně jako došlo v průběhu posledních let k zásadní restrikci kouření ve veřejných prostorách (dopravní prostředky, pracoviště, restaurace...) a k přísné regulaci spalin domácích topenišť, vyspěla již společnost do stadia rozhodnutí dále již netolerovat jedovaté výfukové plyny dopravních prostředků. Přelomovým momentem pro další vývoj dopravy se stal výrok lipského soudu z jara roku 2018, podle kterého je právo na zdraví nadřazeno právu na používání určitého dopravního prostředku.

Je zřejmé, že soud dospěl k takovému závěru po analýze stavu techniky. Po zjištění, že používání automobilů se spalovacími motory již není nutností. Existuje za ně náhrada jak v podobě bezemisní veřejné hromadné dopravy, tak i v podobě elektrických automobilů.

Nízká účinnost spalovacích motorů (primárně určená nízkou účinností tepelného cyklu), která v provozu ve střední hodnotě jen mírně přesahuje 30 %, způsobuje zvýšení spotřeby energie paliva pro spalovací motory na zhruba trojnásobek vůči vytvořené mechanické práci. To je velmi zásadní. Tímto faktorem je totiž násobena

nejen spotřeba paliva, ale i globální a lokální exhalace, které vznikají při jeho hoření. Tepelná energie paliv je spalovacími motory využívána jen z jedné třetiny, ale exhalace způsobující nevratné klimatické změny i exhalace poškozující zdraví obyvatelstva působí naplno [1], [2].

### *1.2 Důsledky spotřeby fosilních paliv*

Po letech blahovolného plýtvání fosilními palivy se téma odklonu od jejich používání stalo důležitým cílem. V časovém měřítku lidského věku je oxid uhličitý přidaný lidskou činností, tedy spalováním uhlí, ropy a zemního plynu, do zemského obalu neodbouratelný. Platí zákon zachování hmoty. Těžbou a spalováním fosilních paliv se uhlík neztrácí, jen se přemísťuje z podzemí do ovzduší. Zemský obal tak má funkci integrátoru (nádrže, skladiště...) oxidu uhličitého. Na rozdíl od cirkulační složky oxidu uhličitého, která se zúčastňuje přirozených přírodních cyklů, organických (fotosyntéza a následné tlení) i anorganických (zvyšování a snižování rozpustnosti oxidu uhličitého v oceánské vodě a v horninách), je tok translační složky oxidu uhličitého z povrchu Země do ovzduší jen jednosměrný.

Z těchto přírodních zákonitostí plynou dvě důležité skutečnosti:

- jedenkrát, respektive jednou generací lidí, způsobené zvýšení obsahu oxidu uhličitého v zemském obalu a tomu úměrné zvýšení tepelně izolační schopnosti zemského obalu již nelze snížit,
- pro zastavení klimatických změn nestačí spotřebu fosilních paliv jen částečně snížit, ale je potřeba fosilní paliva přestat spalovat úplně.

Kvantitativní dimenze těchto procesů je všeobecně známá. K původnímu množství oxidu uhličitého v zemském obalu (3 500 miliard t, koncentrace 280 ppm, tedy 280 miliontin) již do současnosti lidstvo přidalo spalováním fosilních paliv dalších 1 600 miliard tun oxidu uhličitého, tedy aktuální množství oxidu uhličitého v zemském obalu již koncem roku 2018 dosáhne kolem 5 100 miliard tun (koncentrace 410 ppm). Tomu odpovídá zvýšení střední teploty Země o cca 1,1 °C, důsledky klimatických změn již jsou zjevně patrné.

Vlivem růstu životní úrovně celosvětová spotřeba fosilních paliv neustále rostla a spolu s ní se zvyšovala i produkce oxidu uhličitého. Ještě před nedávnem docházelo k pravidelnému meziročnímu nárůstu roční produkce oxidu uhličitého o cca 0,6 miliardy tun/rok<sup>2</sup>. Teprve až od roku 2015 se dekarbonizačními snahami daří držet celosvětovou produkci oxidu uhličitého na přibližně stálé hodnotě 32 miliard tun/rok. Matematicky vyjádřeno: derivace již je nulová, ale integrál roste dál.

### *1.3 Řízené snižování spotřeby fosilních paliv*

Žijeme v 21. století, informace a dezinformace se staly nejučinnější válečnou zbraní. Tradiční zbraně jsou sice díky setrvačnosti lidského myšlení stále ještě výborným prodejním artiklem, ale války se již vyhrávají informacemi. Nelze se proto divit tomu, že si státy a podnikatelské subjekty, které bohatnou na těžbě a užití fosilních paliv,

přejí zachovat své příjmy. Proto se účinně snaží zpochybnit zhoubné důsledky používání uhlí, ropných produktů a zemního plynu.

K zamyšlení je, proč se k tématu dekarbonizace staví laxně Česká republika. Vždyť jde o stát, který:

- fosilní paliva z velké části dováží a jejich dovozem podporuje režimy, které zároveň pokládá za hrozbu, která pro něj představuje riziko,
- svojí vysokou měrnou produkcí oxidu uhličitého (ČR: 11 tun/obyvatele/rok) vysoce překračuje průměr světa (4,4 tun/obyvatele/rok) i průměr EU (7,4 tun/obyvatele/rok). Tedy musí počítat s tím, že obyvatelstvo ČR bude muset velmi zásadně změnit svůj energetický životní styl.

Kontrast lehkovážného přístupu ČR k tématům klimatu a životního prostředí a odpovědnosti mnoha jiných evropských a mimoevropských zemí je rok od roku silnější. Pravděpodobnou příčinou tohoto stavu je nevhodná struktura a nízká efektivita základního vzdělání, které neefektivně ztrácí příliš mnoho času gramatikou a historií na úkor učení o budoucnosti, ve které žáci prožijí podstatnou část své existence.

Pro porozumění tomu, k čemu Českou republiku zavazuje podpis Pařížského protokolu a s jakými cíli ji spojuje členství v Evropském společenství, je potřebné si osvojit několik základních výpočtů.

Měrná produkce oxidu uhličitého je daná součinem podílu fosilních paliv v energetickém mixu, jejich měrné uhlíkové stopy a reciproké hodnoty energetické účinnosti:

$$u = f \cdot u_f \cdot \eta^{-1}$$

$u$  ... výsledná měrná uhlíková stopa (kg CO<sub>2</sub>/kWh),

$f$  ... relativní podíl fosilních paliv (doplňková hodnota k relativnímu podílu obnovitelných zdrojů energie),

$u_f$  ... měrná uhlíková stopa fosilních paliv (kg CO<sub>2</sub>/kWh),

$\eta$  ... energetická účinnost.

Měrná uhlíková stopa jednotlivých uhlovodíkových paliv se poněkud liší v závislosti na poměru uhlíku a vodíku v jejich struktuře (oba prvky uvolňují při oxidaci v průběhu hoření teplo, ale jen uhlík produkuje CO<sub>2</sub>), avšak rozdíly nejsou příliš velké:

- čistý (100%) uhlík 0,40 kg CO<sub>2</sub>/kWh,
- uhlí cca 0,36 kg CO<sub>2</sub>/kWh,
- ropné produkty cca 0,27 kg CO<sub>2</sub>/kWh,
- zemní plyn zhruba 0,21 kg CO<sub>2</sub>/kWh.

Proto zásadní cesta ke snížení produkce oxidu uhličitého není v náhradě jednoho druhu fosilního paliva jiným druhem fosilního paliva, ale v kombinaci dvou kroků:

- zvýšení energetické účinnosti (snížení spotřeby energie),
- zvýšení podílu obnovitelných zdrojů (snížení podílu fosilních paliv).

Takto je též strukturovaná klimaticko-energetická politika Evropského společenství. Cíl v oblasti snižování produkce oxidu uhličitého doplňuje EU dvěma dílčími cíli:

- o kolik procent zvýšit energetickou účinnost, respektive kolik procent energie ušetřit (nespotřebovat),
- na kolik procent zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energie, tedy zdrojů s nulovou uhlíkovou stopou.

Tyto cíle jsou v dokumentech EU postupně zpřísňovány:

- do roku 2020 bylo stanoveno snížit produkci oxidu uhličitého o 20 %, a to kombinací zvýšení energetické účinnosti o 20 % a zvýšením podílu obnovitelných zdrojů energie o 20 %,
- na klimatickém a energetickém summitu EU v říjnu 2014 byly dohodnuty cíle do roku 2030, a to snížit produkci oxidu uhličitého o 40 % kombinací zvýšení energetické účinnosti o 27 % a zvýšením podílu obnovitelných zdrojů energie o 27 %,
- v návaznosti na dohodu přijatou na Pařížské klimatické konferenci v prosinci 2015 (nepřesáhnout zvýšení teploty Země o 1,5 °C až 2 °C) bylo v listopadu 2016 v Zimním energetickém balíčku EU navrženo zpřísnění cílů EU do roku 2030, a to zvýšení energetické účinnosti o 30 % a zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie o 30 %,
- v návaznosti na aktuální vývoj jak na straně klimatických změn (zjevný nežádoucí růst střední teploty, provázený extrémními výkyvy počasí), tak na straně dostupných technologií (obnovitelné zdroje elektřiny se stávají levnějšími než fosilní) byly po společných jednáních Evropské komise, Evropského parlamentu a Evropské rady v červnu 2018 dílčí cíle pro rok 2030 zpřísněny na 32 %.

Tato čísla, respektive jejich doplňkové hodnoty, nelze jednoduše matematicky násobit, neboť produkce oxidu uhličitého je posuzována absolutně, zatímco energetická účinnost i podíl obnovitelných zdrojů jsou relativní veličiny, které jsou násobeny rostoucí úhrnnou společenskou produkcí. Navíc pojem energetická účinnost není počítána jako poměr výkonu ve fyzikálním smyslu (W) a příkonu ve fyzikálním smyslu (W), ale jako poměr výkonu v hospodářském smyslu (například v dopravě přepravní výkon, tedy oskm/rok, respektive netto tkm/rok) a příkonu ve fyzikálním smyslu (W).

#### *1.4 Úspory energie se stanou zdrojem*

Vzniká nový pohled na úspory energie. Úspory energie jsou vnímány a ekonomicky posuzovány jako zdroj energie. Ekonomická efektivnost (návratnost) investic do úsporných opatření je poměřována s ekonomickou efektivností (návratností) investic



do budování nových energetických zdrojů. To mimo jiné vytváří podmínky pro úvěrové financování investic vkládaných do dlouhodobě působících opatření ke snížení spotřeby energie.

Obecně definované cíle jsou v národních programech jednotlivých zemí upřesňovány a jejich plnění je kontrolováno. Přitom je rozlišována konečná spotřeba energie, tedy elektřina, paliva či teplo odebrané spotřebitelem, a primární spotřeba energie, tedy veškerá spotřeba energie včetně spotřeby energie paliv pro výrobu elektřiny a tepla.

Tato klasifikace umožňuje rozdělit odpovědnost za hospodárné využívání energie:

- energetika odpovídá za minimalizaci poměru primární spotřeby a konečné spotřeby energie (za minimalizaci ztrát při výrobě elektřiny a tepla),
- spotřebitelé odpovídají za minimalizaci konečné spotřeby energie (v poměru k hospodářské aktivitě).

Naplňování závazků a cílů v oblasti zvyšování energetické účinnosti, tedy ve snižování konečné spotřeby energie, se však České republice moc nevede. Ze tří oborů, které mají nejvýznamnější a téměř stejný (každý zhruba 30%) podíl na spotřebě energie a kterými jsou průmysl, domácnosti a doprava, se sice v průmyslu a v domácnostech určitého poklesu podařilo dosáhnout, ale ve výsledku se konečná spotřeba energie v ČR nesnižuje, nýbrž mírně roste. Příčinou tohoto nežádoucího výsledku je soustavný nárůst spotřeby energie v dopravě, který v průběhu tří let (2013 až 2016) dosáhl 12 %, tedy v průměru 4 % ročně. Tím vývoj v dopravě zcela nagoval příznivé výsledky docílené v průmyslu a v domácnostech [3]. Takový trend je do dalších let nepřípustný, změna je nutností.

## **2 Úspory energie v dopravě**

Přínos dopravy jak pro harmonický územní rozvoj (zapojení celé plochy území státu do společného systému tvorby a spotřeby hodnot s cílem zabránit polarizaci území na bohaté centrum a chudé odlehlé oblasti), tak i pro naplňování občanských svobod (svoboda pohybu je podmínkou k uskutečnění mnoha základních lidských svobod: pracovat, vzdělávat se, navštěvovat se, využívat lékařskou péči, využívat volnočasové aktivity...) je zásadní a nesporný. Cílem proto není dopravu omezovat, ale dopravu rozvíjet, zvyšovat její výkonnost, rychlost a kvalitu. Nutnou podmínkou k tomu však je snížit energetickou náročnost dopravy. Zejména zbavit dopravu závislosti na uhlovodíkových palivech. Neboť 97 % energie pro dopravu je v ČR tvořeno uhlovodíkovými palivy pro spalovací motory, což je provázáno jak nebezpečnými globálními i lokálními exhalacemi, tak i nízkou účinností energie paliv na mechanickou práci (vytvářením velkého množství nevyužitého ztrátového tepla).

Inspirativním příkladem pro dopravu, tedy pro přemísťování osob a věcí, je druhá část komunikace, tedy přenos informací. Tento obor prošel díky digitalizaci a elektronizaci v posledních desetiletích disruptivními (přelomovými) inovacemi. Nové technologie umožnily díky osvobození přenosu informací od přenosu hmoty (text či grafika na papíře byly nahrazeny kombinací nul a jedniček v elektromagnetickém poli) zásadním způsobem zvýšit výkonnost, rychlost a kvalitu přenosu informací při

minimální energetické náročnosti. Tuto změnu přijalo obyvatelstvo velmi pozitivně a nyní logicky předpokládá podobný posun vpřed i v oblasti prvé části komunikace, tedy v dopravě osob a věcí.

Skutečnost, že přeprava osob i přeprava věcí jsou zajišťovány více druhy dopravy, tedy různými přepravními módy, které se vyznačují různou měrnou energetickou náročností (kWh/oskm, kWh/netto tkm), existují v dopravě dvě cesty ke snížení energetické náročnosti, dva druhy úspor energie:

- intramodální úspory energie, což jsou úspory energie dosažené v rámci jednoho dopravního módu,
- extramodální úspory energie, což jsou úspory energie dosažené převodem určité části přeprav z energeticky náročnějšího dopravního módu na energeticky méně náročný dopravní mód.

Tak jako v ostatních oborech lidské činnosti, jsou i v dopravě základem pokroku a rozvoje technické inovace. To platí i o úsporách energie.

### *2.1 Intramodální úspory energie v železniční dopravě*

Cílem intramodálních úspor energie v železniční dopravě je snížit energetickou náročnost železniční dopravy a zároveň odstranit globální i lokální exhalace. Nástrojem k tomu je oprostít železniční dopravu od používání fosilních paliv a od používání spalovacích motorů. To znamená přeorientovat železniční dopravu na stoprocentně elektrickou vozbu s využitím elektrické energie z obnovitelných zdrojů (vodní, větrné a solární elektrárny).

V některých zemích (včetně našich sousedů – Německo a Rakousko) vlastní železniční podnik i výrobu a přenos elektrické energie. Železniční podnik pak logicky řeší přechod na bezemisní železnici komplexně. A to jak v oblasti spotřeby (užití) elektrické energie, tak i v oblasti výroby elektrické energie. Například buduje větrné parky náhradou za tepelné elektrárny spalující uhlí.

V České republice je situace odlišná. S výjimkou úplných počátků (viz například elektrické železnice Tábor–Bechyně a Rybník–Lipno, které byly napájeny z vlastních elektráren) je v České republice tradicí odběr elektrické energie pro trakční napájecí stanice elektrických drah z distribuční sítě veřejné elektrizační soustavy. Tedy při přechodu na zcela bezemisní dopravu se železnice stará o náhradu uhlovodíkových paliv elektřinou pro vozidla a energetika se stará o bezemisní výrobu elektrické energie.

Státní energetická koncepce ČR (usnesení vlády ČR č. 362/2015) [4] respektuje princip této dělby a předepisuje:

- rezortu dopravy pokles spotřeby ropných paliv (v rozmezí let 2015 až 2030 z hodnoty 58,9 miliardy kWh/rok na hodnotu 50,0 miliardy kWh/rok) a zvýšení využití elektrické energie (v rozmezí let 2015 až 2030 z hodnoty 2,4 miliardy kWh/rok na hodnotu 4,3 miliardy kWh/rok),

- rezortu energetiky pokles podílu fosilních paliv na výrobě elektrické energie (v rozmezí let 2015 až 2030 z 56 % na 45 %) a zvýšení jejich účinnosti, provázený poklesem uhlíkové stopy elektrické energie (v rozmezí let 2015 až 2030 z 0,60 kg CO<sub>2</sub>/kWh na 0,44 kg CO<sub>2</sub>/kWh).

V odpovědnosti železnice v ČR je snížit spotřebu energie a nahradit uhlovodíková paliva (naftu) elektrickou energií. V odpovědnosti energetiky v ČR je postarat se o to, aby železnice elektrickou energii dostala, a to vyrobenou v bezemisních elektrárnách. Taková je dělba práce.

Interoperabilní železnice je rozdělená na čtyři strukturální subsystémy:

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

Je proto přirozené stejným způsobem strukturovat i analýzu procesů a nástrojů snižování energetické náročnosti, dekarbonizace a bezemisnosti železniční dopravy.

### 2.1.1 *Subsystém INS*

V oblasti strukturálního subsystému tratí (INS) jsou uskutečňovány nepříliš nápadné, ale přínosné kroky ke snížení energetické náročnosti železniční dopravy:

- prodloužení délky předjízdnych staničních kolejí s cílem umožnit na tratích evropských nákladních koridorů (FRC) provoz vlaků délky alespoň 740 m. Pochopitelně nejde jen o delší staniční koleje, ale i o odpovídající zvýšení výkonnosti pevných trakčních zařízení (subsystém ENE) a náležitou odolnost kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení (subsystém CCS) vůči vyšším zpětným trakčním proudům a výkonnější vozidla včetně řešení tématu namáhání tažného a narážecího ústrojí (subsystém RST). Výsledkem je delší, a tedy aerodynamicky výhodnější nákladní vlak s menší kvadratickou složkou jízdního odporu,
- rektifikace oblouků o malém poloměru spojená jak s poklesem odporu z oblouku, tak i se zkrácením ujeté dráhy a s menším poklesem rychlosti jízdy v obloucích (odpadá snižování a následné zvyšování kinetické energie),
- k vyšší plynulosti jízdy vlaků (zmenšení ztrát energie brzděním a rozjezdem) přispívá i zvyšování rychlosti jízdy v obloucích cestou zvyšování dovolených hodnot příčného nevyrovnaného zrychlení (nedostatku převýšení),
- broušení kolejnic napomáhá snížit nejen hluk generovaný vlakovou dopravou, ale i valivý odpor kolejových vozidel, tedy snížit velikost konstantního členu jízdního odporu vozidel (a). Navíc eliminací svislých dynamických sil generovaných nerovnostmi přispívá hladký povrch kolejnic k dlouhodobé stabilitě geometrické polohy koleje, což má vliv na klidný chod vozidla, a tím i na minimalizaci lineárního členu jízdního odporu vozidel (b . v),
- téma tunelů není jednoduché. Nepochybně umožňují zkrácení trasy a snižují rozdíl výšek trajektorie jízdy vlaku, a tím i jemu úměrnou potřebu vytvářet



a mařit potenciální energii, avšak zároveň násobně zvyšují aerodynamický člen jízdního odporu vozidel ( $c \cdot v^2$ ), proto je z energetických důvodů potřebný jejich náležitě velký světlý průřez, a to zejména v souvislosti s trendem zvyšování rychlosti jízdy vlaků.

### 2.1.2 Subsystem ENE

Rozvoj strukturálního subsystému elektrického napájení (ENE) je pro úspěšné naplnění budoucí železnice zcela klíčový. Z tohoto pohledu je velmi přínosné rozhodnutí Centrální komise Ministerstva dopravy ČR ze dne 20. 12. 2016 o konverzi stejnosměrného napájení železničních drah 3 kV na jednotný systém střídavého napětí 25 kV, a to ve spojení s přechodem na moderní měničové trakční napájecí stanice 3 x 110 kV 50 Hz/25 kV 50 Hz, které umožňují spojitě dvoustranné napájení trakčního vedení při splnění podmínky symetrického zatěžování třífázové všeobecné elektrizační distribuční sítě.

Tato skutečnost má řadu pozitivních přínosů pro snižování energetické náročnosti dopravy:

- ztráty v trakčním vedení jsou úměrné druhé mocnině proudu, tedy při stálém výkonu klesají s druhou mocninou napětí. Při stejném způsobu napájení a při stejných průřezích jsou Joulovy ztráty u systému 25 kV vůči systému 3 kV celkem 69krát menší. Tento efekt se uplatňuje jak při odběru energie, tak i při rekuperačním brzdění, a roste s druhou mocninou výkonu vozidel,
- vyšší přenosová schopnost trakčního vedení 25 kV, ve srovnání se systémem 3 kV, umožňuje předávat mezi vozidly rekuperovanou energii na velké vzdálenosti a obousměrně průchodné trakční napájecí stanice umožňují v trakční síti nespotřebovaný přebytek rekuperované energie předávat zpět do třífázové distribuční sítě – brzdovou energii není nutno mařit v brzdových odporcích,
- vysoká přenosová schopnost trakčního vedení 25 kV v kombinaci se spojitým dvoustranným napájením v systému jednotné fáze umožňuje při rozmístování trakčních napájecích stanic nahradit dosud v ČR tradičně používanou metodu korálek na niti (trakční napájecí stanice jsou rozmístěny po určité vzdálenosti podél trati), metodu sluníček (trakční napájecí stanice jsou situovány v železničních uzlech a vstřícně napájejí více tratí) a metodou rybí kosti (z trakčních napájecích stanic podél hlavní tratě jsou napájeny i odbočné tratě). To vede k zásadnímu snížení počtu nově budovaných trakčních napájecích stanic, a tím i nákladů na elektrizaci, jakožto i k jejímu snadnějšímu uskutečňování, neboť jsou minimalizována nová připojení k distribuční síti.

Před více než 50 lety přijaté rozhodnutí elektrizovat železniční tratě na jih od tehdejšího hlavního tahu Most–Ústí nad Labem–Kolín–Olomouc–Ostrava/Púchov–Žilina–Košice–Čierná nad Tisou střídavým systémem 25 kV 50 Hz a na sever od téže osy elektrizovat železniční tratě stejnosměrným systémem 3 kV bylo naplněno jen z jedné poloviny. Na jihu přibylo na území ČR přes 1 300 km tratí elektrizovaných střídavým systémem 25 kV 50 Hz, avšak na sever od bývalého hlavního tahu (a jeho odklonové trasy Velký

Osek–Hradec Králové–Choceň) nebyl příslib elektrizace naplněn. Za celé půlstoletí bylo elektrizováno jen pár krátkých úseků (do Milovic, Jaroměře, Lichkova, Koutů nad Desnou a Opavy). V důsledku absence elektrizace ustrnula železnice v severní části ČR na mnohem nižší technické úrovni, než jak se stalo v jižní části ČR, a to ve všech svých strukturálních subsystémech (INS, ENE, CCS i RST).

Podstatnou příčinou této stagnace je teritoriální orientace na stejnosměrný systém, který je zejména pro elektrizaci jednokolejných tratí velmi drahý, a proto nevhodný. Z důvodu nízké přenosové schopnosti trakčního vedení 3 kV by bylo pro elektrizaci důležitých tratí v prostoru mezi Děčínem a Ostravou nutno vybudovat přes 50 nových trakčních napájecích stanic. To se pochopitelně jevílo nereálné nejen ekonomicky, ale i z hlediska nesnadné průchodnosti územím – obtížné budování nových třífázových linek vysokého napětí krajinou. Při aplikaci systému 25 kV a nových technologií (jednotná fáze) postačí vybudovat v severní části ČR jen 5 až 7 trakčních napájecích stanic a ty situovat v železničních uzlech. Příslušná města jsou zároveň průmyslovými centry, a tedy je v nich k dispozici i náležitě výkonná distribuční síť 3 x 110 kV 50 Hz. Přechod na jednotný systém 25 kV 50 Hz činí elektrizaci severu ČR velmi reálnou a v krátké době uskutečnitelnou,

- rozvoj elektrizace dalších tratí, usnadněný aplikací jednotného systému 25 kV 50 Hz, umožňuje nahradit naftová vozidla elektrickými nejen na nově elektrizovaných tratích, ale i na tratích okolních. Zkracuje totiž vozební ramena bez liniové elektrizace a činí je tak zvládnutelnými dvouzdrojovými vozidly trolej/akumulátor, pro která též vytváří příležitost k nabíjení.

Je velmi dobře, že SŽDC zahájilo systematickou elektrizaci důležitých dosud neelektrizovaných tratí. Aktuálně je ze strany Centrální komise MD ČR schválena elektrizace dalších 457 km tratí, pro elektrizaci 279 km tratí probíhá řešení studie proveditelnosti a pro elektrizaci 439 km tratí je připravováno zadání studie proveditelnosti. To je pochopitelně důležitý signál pro dopravce a objednatele dopravy směrem k orientaci na nová moderní elektrická vozidla náhradou za dožívající naftová vozidla.

### 2.1.3 *Subsystém CCS*

Je neúnosné, aby v době všeobecného rozšíření vysoce výkonných moderních digitálních elektronických komunikačních technologií probíhal přenos informace mezi železniční dopravní cestou a vlakem jen prostřednictvím několika bitů, předávaných návěstidly a návěstními znaky. Jednotný evropský vlakový zabezpečovač ETCS, založený na přenosu dat mezi tratí a vozidlem, zejména oprávnění k jízdě a rychlostního profilu, posouvá úroveň zabezpečení jízdy vlaku významně vpřed.

Kromě svého základního bezpečnostního významu (minimalizace počtu nehod způsobených přehlédnutím či nerespektováním návěsti) má však ETCS i značné přínosy v oblasti energetiky:

- trvalá datová komunikace mezi rádioblokovou centrálou a vlakem odstraňuje zbytečná nouzová brzdění (a následný opětý rozjezd) při výpadku přenosu kódu, typická pro náš národní liniový systém,
- znalost rychlostního profilu daleko před vlakem dává strojvedoucímu nebo zařízení pro automatické řízení vlaku (ATO) možnost energeticky optimálně řídit jízdu vlaku (využívat dlouhé výběhy a pozvolné rekuperační brzdění),
- zajištění bezpečnosti jízdy vlakovým zabezpečovačem (ATP) vytváří výborné podmínky pro snadnou aplikaci velmi sofistikovaných nadřazených systémů řízení s důrazem na energetickou optimalizaci jízdy. A to jak na úrovni vlaku (ATO), tak na úrovni dopravního systému (ATS) – dynamický jízdní řád.

#### 2.1.4 *Subsystém RST*

Nosným a stále se rozvíjejícím inovativním trendem v oblasti strukturálního subsystému vozidla (RST) je aplikovaná polovodičová elektronika. Její tři základní nástroje (výkonové měniče, počítačové řízení a komunikace po datových sběrnicích) zcela změnila elektrické trakční a pomocné pohony železničních vozidel.

Trend náhrady tradičních komutátorových trakčních motorů moderními frekvenčně řízenými třífázovými střídavými motory přinesl z energetického hlediska kromě minimalizace rozjezdových ztrát též vysoce účinné rekuperační brzdění v celém rozsahu rychlostí až do zastavení.

Velice podstatným efektem je při střídavém napájení též odběr pouze činné složky výkonu, nikoliv jalového a deformačního výkonu, docílený funkcí vstupního čtyřkvadrantového měniče. To má kromě snížení ztrát v rozvodu elektrické energie též pozitivní dopad na nepotřebnost filtračně kompenzačních zařízení v trakčních napájecích stanicích, jejichž provoz je spojen s nemalými ztrátami energie.

Příznivou vlastností frekvenčně řízených třífázových střídavých trakčních pohonů jsou malé rozměry, nízká hmotnost a vysoká odolnost vůči provozním vlivům. Tyto vlastnosti daly vzniknout zcela novým typům vozidel, která se vyznačují nízkou hmotností, což má příznivý dopad na jejich nízkou energetickou náročnost:

- ve třídě 6 MW umožnily střídavé trakční pohony náhradu těžkých šestinápravových elektrických lokomotiv lehčími čtyřnápravovými,
- u elektrických regionálních jednotek možnost instalovat elektrickou výzbroj pod podlahu nebo na střechu a celý vnitřní prostor ponechat cestujícím,
- u elektrických vysokorychlostních jednotek možnost využít i čelní vozy k přepravě cestujících a elektrickou výzbroj distribuovat do jednotlivých vozů.

Nově k tomu přichází i fenomén podvozků s vnitřním rámem. Jejich předchozí významné použití u železničních trakčních vozidel bylo zaznamenáno před 60 lety, a to u dieselhydraulických lokomotiv tehdejší řady V 200 DB. Ty však měly řešený skupinový pohon dvojkolí přes nápravovou převodovku s kuželovým soukolím. U železničních vozidel s individuálním pohonem dvojkolí trakčními elektromotory byly všeobecně používány podvozky s vnějším rámem, neboť umístit uvnitř rozkolí (1 360 mm) kromě trakčního pohonu i ložiska dvojkolí se jevilo nereálným.

Avšak meze techniky se opět podařilo překonat. Trakční (a pochopitelně i netrakční) podvozky s vnitřním rámem železničních kolejových vozidel jsou stavem techniky a staly se velmi žádaným trendem ve stavbě železničních kolejových vozidel. Jejich podstatným přínosem je zhruba o třetinu nižší hmotnost oproti tradičním podvozkům s vnějším rámem. To má řadu důležitých konsekvencí v oblasti snižování spotřeby energie:

- lehčí podvozky umožňují při dodržení limitu zatížení dvojkolí prodloužit vozidlové skříně a úsporu hmotnosti ještě zvětšit snížením počtu podvozků, což má příznivý dopad na snížení energetické náročnosti vozby,
- jak samotný užší podvozek s vnitřním rámem, tak vozidlo (ucelená trakční jednotka) s menším počtem podvozků a s menším počtem mezivozových přechodů (důsledek delších skříní) má výrazně nižší aerodynamický odpor, což má zejména u rychlých vozidel zásadní význam pro snížení spotřeby energie. U vysokorychlostní jednotky se aplikací kapotovaných podvozků s vnitřním rámem a dalšími kroky podařilo snížit spotřebu energie o 30 %,
- rezervu ve hmotnosti vozidla, získanou aplikací lehčích podvozků s vnitřním rámem, lze využít pro instalaci dalších komponent potřebných pro snížení energetické náročnosti železniční dopravy, kupříkladu zásobníků energie.

Poslední uváděná souvislost mezi mechanickou a elektrickou částí vozidla otevírá velmi důležité téma, a tím jsou dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor. Česká republika patří svými pouhými 34 % elektrizovaných tratí ke státům v Evropě s nejmenším rozsahem elektrizace. Proto je program elektrizace dalších tratí velmi potřebný. Liniová elektrizace má ekonomické opodstatnění jen na tratích se silnějším dopravním zatížením, avšak bezemisní provoz je potřeba zajistit na všech tratích. Vhodným řešením pro provoz v částečně elektrizované železniční síti jsou dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor. Stav techniky umožňuje stavět dvouzdrojové regionální elektrické jednotky trolej/akumulátor s dojezdem cca 80 km až 100 km, schopné nabíjet akumulátor za jízdy nebo při stání pod trakčním vedením.

Bylo by chybou vnímat akumulátorová vozidla jako protipól liniové elektrizace, jsou jejím doplňkem. Liniová elektrizace a vozidla s akumulátory se navzájem podporují:

- pokračující liniová elektrizace zkracuje vozební ramena bez elektrizace, a tím snižuje nároky na dojezd akumulátorových vozidel. Též vytváří další místa, kde lze akumulátorová vozidla za jízdy či při stání nabíjet,
- dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor zhodnocují investice do liniové elektrizace tím, že pevná trakční zařízení napájejí nejen vlaky na příslušné trati, ale nabíjením i vlaky na okolních tratích bez liniové elektrizace.

## 2.2 Extramodální úspory energie v železniční dopravě

Nízký valivý odpor ocelových kol na ocelových kolejnicích, nízký aerodynamický odpor vozidel zařazených za sebou ve vlaku a vysoká účinnost elektrického trakčního pohonu, podpořená vybudovaným elektrickým liniovým napájením, jsou příčinou nízké energetické náročnosti železnice. A to jak při přepravě osob, tak při

přepřavě věcí. Avšak v současnosti se železnice v ČR podílí na přepřavě osob jen 7 % z celkových přepřavních výkonů a na přepřavě věcí jen 23 % z celkových přepřavních výkonů (podle statistik MD ČR za rok 2016). Rozhodující podíl má silniční automobilová doprava, která se v ČR podílí na přepřavě osob 61 % z celkových přepřavních výkonů a na přepřavě věcí 73 % z celkových přepřavních výkonů [5].

Silniční automobilová doprava je zhruba 7,5násobně energeticky náročnější než železnice s elektrickou vozbou. Navíc je automobilová doprava dosud téměř výhradně vázaná na spotřebu ropných paliv, respektive jejich náhražek. Při jejich spalování produkují automobily jak globální exhalace poškozující klima, tak i lokální exhalace poškozující zdraví obyvatelstva.

Extramodální úspory energie, spojené s převodem přepřavy osob i věcí ze silnice na železnici, jsou proto velmi vydatným zdrojem energie. K čerpání potenciálu tohoto zdroje je však nezbytné splnění dvou podmínek:

- přepřavní poptávka: cestující a přepřavci musí být ke změně svého dopřavního chování motivováni, a to zejména kvalitou, rychlostí, pohodlím, dochvilností a cenovou dostupností železniční dopřavy, použití vlaku pro ně musí být výhodné,
- přepřavní nabídka: železnice musí být kapacitně schopná zvýšené objemy přepřavy zajistit.

Stojí za povšimnutí, že obě tyto kategorie spolu úzce souvisí, neboť i kvantita (četnost spojů, dostatek místa ve vlaku...) je součástí kvality a atraktivity přepřavní nabídky.

### 2.2.1 Polarizace železniční sítě

Poptávka po železniční dopřavě není po železniční síti ČR rozložena rovnoměrně:

- celostátní tratě sítě TEN-T představují jen 27 % délky sítě, ale je na nich soustředěno 86 % dopřavních výkonů,
- ostatní celostátní tratě představují 32 % délky sítě, ale zajišťují 11 % dopřavních výkonů,
- regionální tratě představují 41 % délky sítě, ale nesou pouhá 3 % dopřavních výkonů.

Kritická situace je zejména na Národních tranzitních železničních koridorech v okolí velkých měst, kde jsou tratě přetížené v důsledku souběhu dálkové nákladní dopřavy, dálkové osobní dopřavy a intenzivní příměstské regionální dopřavy. Přitom všechny tři tyto segmenty mají růstovou tendenci, což je z energetických i environmentálních důvodů vítaným trendem, který je potřebné stimulovat.

K řešení disproporce mezi rostoucí přepřavní poptávkou a kapacitními možnostmi nejžádanějších tratí jsou tři základní možnosti:



- zvýšení dopravní výkonnosti nejvíce zatížených tratí,
- přenesení části dopravních úloh i na ostatní, dosud méně využívané tratě,
- výstavba nových železničních tratí.

Všechny tři jsou reálné a je namístě je využít.

### *2.2.1.1 Zvýšení dopravní výkonnosti nejvíce zatížených tratí*

K naplnění tohoto cíle lze dospět koordinovanými inovativními kroky ve všech strukturálních subsystémech:

- subsystém INS: doplnění dalších traťových kolejí zejména na příměstských radiálách a v místech zaústění více tratí do společné trasy, budování přesmyků náhradou za úroňové křížení tras vlaků, aplikace štíhlých výhybek pro zrychlení procesu vyhýbání vlaků, prodlužování staničních kolejí a nástupišť pro umožnění provozu dlouhých vlaků,
- subsystém CCS: využít probíhající instalaci jednotného vlakového zabezpečovače ETCS level 2 na tratích a vozidlech k umožnění jízdy vlaků v těsnějším sledu. Toho lze dosáhnout jak rozdělením současných prostorových oddílů na trati i ve stanicích na kratší (bez respektování podmínky jednotné zábrzdě vzdálenosti a bez respektování podmínky viditelnosti návěstidel – oboje nahrazuje dynamický rychlostní profil), tak i jízdou vlaků s kontrolou celistvosti (ucelené jednotky) v pohyblivých prostorových oddílech v hybridním režimu ETCS level 2/level 3,
- subsystém RST: zvýšení tažných a brzdných sil a výkonů trakčních vozidel zajišťujících vozbu nejpomalejších segmentů vlakové dopravy, tedy nákladních vlaků a osobních zastávkových vlaků s cílem více se přiblížit rovnoběžnému grafikonu, tedy jízdám vlaků rychlíků. Do této kategorie spadá i významné opatření na straně organizace dopravy, a tím je náhrada méně využívaných zastávek svozem cestujících do větších stanic návaznou dopravou (trend náhrady zastávkových vlaků zrychlenými, respektive spěšnými vlaky), což zároveň zvyšuje atraktivitu vlakové dopravy,
- subsystém ENE: zvýšení výkonnosti pevných trakčních zařízení (jak výkonu trakčních napájecích stanic, tak i přenosové schopnosti trakčního vedení) tak, aby elektrické napájení nelimitovalo sled jízdy vlaků. To není při výše uvedených trendech v oblasti subsystému CCS (jízda vlaků v těsnějším sledu) a RST (růst výkonnosti vozidel) snadnou úlohou. Konverze systému napájení 3 kV na systém 25 kV s výrazně vyšší výkonností je cesta správným směrem.

Velmi závažným tématem je též přizpůsobení přepravní nabídky rostoucí přepravní poptávce v oblasti kapacity vlaků. Na většině dopravně silně zatížených tratí již končí epocha, v průběhu které bylo možné zvyšovat přepravní nabídku přidáváním dalších vlaků, tedy zkracováním intervalů mezi vlaky. Další možnost ke zvýšení přepravní nabídky pro zvládnutí a stimulaci rostoucí přepravní poptávky už zpravidla bude (až do doby výstavby dalších nových kolejí) jen ve zvětšování přepravní kapacity vlaků, tedy počtu sedadel. Z toho plynou tři závažné důsledky pro koncepci vozidel:

- jak pro zajištění operativního posilování přepravní kapacity (počtu sedadel), například pro zvládnutí páteční přepravní špičky, tak zejména pro zvládnutí

kontinuálního každoročního nárůstu přepravní poptávky se do dálkové osobní dopravy na konvenčních tratích nehodí ucelené trakční jednotky s pevně stanoveným počtem vozů. Doba životnosti kolejových vozidel je velmi dlouhá (přes 30 let), i malý (v jednotkách procent) každoroční růst přepravní poptávky tedy vede po pár letech k potřebě přidat do soupravy další vůz. Nutností je proto orientace na vozidla s flexibilní přepravní kapacitou, jakými jsou například netrakční jednotky s otevřeným koncem. Ty umožňují jak operativní posilování (přidáváním vozů standardního typu vně netrakční jednotky), tak i postupné dlouhodobé (strategické) posilování (přidáváním vozů shodného typu dovnitř netrakční jednotky) v průběhu doby životnosti vozidla. Ucelené netrakční jednotky přitom vytvářejí cestujícími žádaný značkový přepravní produkt s garancí patřičné úrovně cestování,

- v oblasti příměstské dopravy je potřeba naplno využívat délku nástupišť a v rámci jejich možností maximalizovat přepravní kapacitu vlaku. Výborných výsledků z hlediska poměru počtu sedadel k délce vlaku dosahují nově pojaté semidvoupodlažní regionální elektrické trakční jednotky. Pro ně je typické použití kombinace dvoupodlažních netrakčních vozů a jednopodlažních trakčních vozů s elektrickou výzbrojí na střeše. Tím optimálně využívají půdorysnou plochu.

- v oblasti nákladní dopravy využívat přípustnou délku vlaku (na tratích RFC koridorů: 740 m). To znamená v první řadě orientaci na náležitě silné, rychlé a výkonné elektrické lokomotivy (na sklonově náročných tratích ve vícenásobné trakci, s dopadem na subsystémy ENE a CCS toto zajistit). V dalších krocích přijde v souvislosti s dopravou dlouhých nákladních vlaků na pořad téma podélných tažných a tlačných sil (a spolu s ním i téma použití pevnějších automatických či semipermanentních spřáhel) a pochopitelně i téma elektropneumatických brzd. Ani železniční nákladní vozy nemohou ustrnout na technických standardech minulosti.

#### 2.2.1.2 *Přenesení části dopravních úloh i na ostatní dosud méně využívané tratě*

Zapojení větší části železniční sítě do řešení přepravních úloh železnice nemusí být spojeno s jízdou po delší odklonové trase. Naopak může znamenat kratší a přímější cestu. Avšak nutnou podmínkou zapojení jakékoliv tratě do dálkové nákladní či osobní dopravy je její elektrizace, a to z více důvodů:

- naftová vozba znamená pro dopravce vyšší náklady, což je dáno nejen vyššími náklady na energii, ale i vyššími náklady na údržbu a na pořízení vozidel, což snižuje konkurenceschopnost železnice vůči silniční dopravě,
- naftová vozidla disponují nižším trakčním výkonem než vozidla elektrická závislá, což negativně ovlivňuje dosažitelné jízdny doby, a tím i propustnost tratí a atraktivitu železniční dopravy,
- pro jízdu vlaku po ostatní části sítě železnic postačí elektrické vozidlo závislé, výměna trakčního vozidla dopravujícího vlak (přepřahání) je komplikací s velmi negativními dopady jak do ekonomiky provozu (pokles produktivity vozidel i personálu), tak i do atraktivity přepravní nabídky (ztráta času).

Elektrizace dosud neelektrizovaných celostátních tratí, jakožto i silně zatížených regionálních tratí je zásadním momentem k rozproštění skutečně využitelné železnice, opravdu plnící síťovou funkci, po větší ploše území státu.

Avšak elektrizace všech regionálních tratí by nebyla ekonomicky rentabilní. Proto je racionální zajistit na dopravně méně zatížených tratích bezemisní elektrickou vozbu již výše vzpomenutými dvouzdrojovými vozidly trolej/akumulátor. Kromě efektů v oblasti energetiky a životního prostředí, popsanych v kapitole o intramodálních úsporách, přinášejí dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor i velmi zásadní motivaci obyvatelstva k extramodálním úsporám. A to tím, že umožňují kombinovaným provozem po hlavních elektrizovaných tratích i po vedlejších tratích bez elektrizace vytvářet pohodlná rychlá přímá bezpřestupová spojení z centra regionu až do jeho odlehlých oblastí. Jde o režim, který akumulátorovým vozidlům plně vyhovuje, neboť nabíjení akumulátorů probíhá v průběhu jízdy pod trakčním vedením, tedy bez ztráty času.

### 2.2.1.3 *Výstavba nových železničních tratí*

Z Bernoulliho rovnice vyplývá, že dynamický tlak, a tedy i odpor prostředí, rostou s druhou mocninou rychlosti. Pokud má být doprava nejen rychlá, ale zároveň i energeticky a ekonomicky efektivní, nemůže být zkracování časů přepravy řešeno extenzivní cestou pouhého zvyšování rychlosti vozidel bez změny jejich tvaru. Vozidla musí být dlouhá a štíhlá. V individuální automobilové dopravě to v zásadě nelze, proto její praktická využitelnost končí již při rychlostech lehce nad 100 km/h. To je pro jízdu mezi městy velmi málo, doba cesty je příliš dlouhá, lidé nemohou tolik času věnovat cestování.

Letecká doprava se pohybuje rychleji a efektivněji než automobilová, neboť využívá efekt snížení měrné hmotnosti vzduchu, a tím i aerodynamického odporu, ve velkých výškách. Avšak vystoupení do letové hladiny 10 000 m, kde je vzduch čtyřikrát řidší než na povrchu Země, vyžaduje na vyzdvižení jedné tuny hmotnosti vytvořit potenciální energii 27 kWh. K tomu, aby se letadlo v takto řídkém vzduchu udrželo vztlakovou silou křídel, musí letět rychlostí alespoň 900 km/h. To vyžaduje na urychlení jedné tuny hmotnosti vytvořit kinetickou energii 9 kWh. Vynaložit energii  $27 + 9 = 36$  kWh na jednu tunu hmotnosti letadla, k vytvoření které je potřeba spálit v proudovém motoru zhruba 15 litrů leteckého petroleje, který je stoprocentně fosilním palivem s tepelnou energií 150 kWh, jen pro vytvoření podmínek letu (nikoliv ještě pro překonání vzdálenosti) má logiku při dálkových (mezikontinentálních) letech. Nikoliv však pro přepravu na vzdálenost do cca 1 000 km na pevnině. Elektrická energie 150 kWh/t (zajistitelná z obnovitelných zdrojů) stačí vysokorychlostnímu vlaku při rychlosti 300 km/h na ujetí vzdálenosti 3 300 km.

Řešením rychlých, a přitom energeticky a environmentálně akceptovatelných meziměstských spojů, které jsou nutnou podmínkou ke vzniku vyvážené polycentrické struktury osídlení, působící jako protipól k nezdravému mohutnění monocentrické struktury, jsou vysokorychlostní železnice. Koncepce jejich směrového vedení ve třech hlavních trasách, odpovídajících tradičně nejsilnějším

přepravním proudům a zároveň propojujících mnohá krajská města v ČR, je v zásadě ustálená [6]:

- severozápad–jihovýchod (DE–Ústí nad Labem–Praha–Jihlava–Brno–AT/SK),
- jihozápad–severovýchod (DE–Plzeň–Praha–Hradec Králové–PL),
- sever–jih (PL–Ostrava–Brno–AT/SK).

Modernizace národních tranzitních železničních koridorů a příchod nových vozidel vyvolaly velký zájem veřejnosti o využití železnice pro dálkové cestování. Přepravní výkon dálkové železniční dopravy v ČR od roku 2010 vytrvale roste, a to zhruba o 10 % ročně, na nejvíce exponovaných linkách mezi Prahou a Brnem, Prahou a Olomoucí a Prahou a Ostravou roste přeprava o více než 25 % ročně. Takový nárůst přepravní poptávky je na dosavadní síti do budoucna nezajistitelný a jednoznačně vede k rozhodnutí urychlit výstavbu vysokorychlostních železnic. SŽDC proto připravuje ke stavbě první tři úseky vysokorychlostních železnic trasované pro rychlost 350 km/h, které jsou voleny tak, aby je šlo již v první etapě využít k provozu rychlíků s rychlostí 200 km/h, a tím může dojít k odlehčení přetížených tratí konvenčních železnic:

- Polabí: (Praha)–Běchovice–Poříčany–(Kolín) a dále HS Východní Čechy/HS Vysočina,
- Moravská brána: Ostrava–Přerov–(Olomouc) a dále HS Haná
- Jižní Morava: Brno–Vranovice–(Břeclav)

Vysokorychlostní železnice jsou nástrojem k naplnění obou podmínek k přesunu dopravy ze silnic a dálnic na železnice a ke vzniku extramodálních úspor. Nabízejí jak stimulační benefit kratšího přepravního času, tak i novou kapacitu dopravní cesty vzniklou jak novou tratí, tak i segregací (oddělením) souběžného provozu rychlých a pomalých vlaků.

Denní přepravní tok mezi Prahou a Brnem činí zhruba 50 000 osob, z toho téměř 90 % využívá osobní automobily. Jedna cesta jedním směrem jedné osoby automobilem reprezentuje časovou ztrátu cca 2 hodiny (což pro 2/3 cestujících znamená čas obětovaný řízením vozidla) a spotřebu 75 kWh energie, zejména z fosilních paliv (biosložka činí jen 6 %), a produkci 19 kg oxidu uhličitého.

Nynější cesta mezi Prahou a Brnem konvenčním vlakem trvá 2 hodiny a 29 minut a lze ji díky palubnímu vybavení a palubním službám plnohodnotně využít k práci, zábavě, stravování i odpočinku, a to i s podporou moderní výpočetní a komunikační techniky. Vyžaduje na jednoho cestujícího 11 kWh elektrické energie s uhlíkovou stopou 5 kg oxidu uhličitého, jež je postupně snižována vývojem v energetice (náhrada fosilních elektráren bezemisními).

Budoucí cesta mezi Prahou a Brnem vysokorychlostním vlakem bude trvat 50 minut (centrum–centrum), respektive 40 minut (automobilový terminál–automobilový terminál), které bude možné díky palubnímu vybavení a palubním službám plnohodnotně využít. Bude vyžadovat na jednoho cestujícího 14 kWh elektrické energie (respektive 10 kWh u vozidel nové generace), vyráběné perspektivně ve výhradně bezemisních elektrárnách, tedy s nulovou produkcí oxidu uhličitého.

Nádraží v centrech měst budou zajišťovat přestupní vazby na veřejnou hromadnou dopravu (městskou, železniční i automobilovou). Posláním automobilových terminálů na okrajích měst je zajištění přestupních vazeb na individuální automobilovou dopravu, a to zejména veřejnou (sdílené autonomní elektrické automobily), pojatou jako služba (aplikace na mobilním telefonu), ale i individuální (parkoviště P + CH + R).

Již zmíněná možnost plnohodnotného využití času stráveného cestováním je velkou předností železnice. Velmi je spojena s rozvojem moderních informačních technologií a osobních elektronických přístrojů, které technicky podporují „train office“.

Neméně důležitý pro kvalitu cestování je i technický pokrok v oblasti železničního cateringu. Moderní automaticky řízené konvektomaty s kombinací sálavého, parního a mikrovlnného ohřevu, používané k přípravě prudce zachlazené stravy ke konzumaci, jakožto i další technologické zázemí mobilní kuchyně umožňují využít dobu cestování vlakem ke stravování, a tím k dodržení navyknutého biorytmu.

Nejen důmyslně aerodynamicky řešené tvary skříní, nové podvozky a moderní technologie frekvenčně řízených střídavých trakčních pohonů, ale i tichý a čistý interiér tlakotěsného vozu s klidným chodem, příjemným osvětlením a pohodlnými sedadly účinně napomáhají k úsporám energie, neboť motivují cestující k přirozené preferenci energeticky a environmentálně výhodné železniční dopravy.

## **Závěr**

Společenská dělba práce vede k rozdělení úloh snížit energetickou náročnost dopravy, zbavit dopravu emisí oxidu uhličitého způsobujících nežádoucí změny klimatu a zbavit dopravu emisí jedovatých látek poškozujících zdraví obyvatelstva na dvě dílčí úlohy:

- nahradit v dopravních prostředcích spalovací motory elektrickými (dekarbonizace), a to současně s orientací na energeticky úsporné dopravní systémy (extramodální úspory), při dalším snižování energetické náročnosti dopravních systémů (intramodální úspory),
- zajistit pro dopravu dodávky bezemisně a efektivně vyrobené elektrické energie.

Současný stav techniky dává nástroje k tomu, aby byly obě tyto úlohy beze zbytku naplněny. Potenciál přínosů moderní železnice v této oblasti je velmi silný. A to jak v oblasti zvyšování atraktivity a výkonnosti železnice k naplnění cílů v oblasti extramodálních úspor, tak při náhradě naftové vozby elektrickou a při zvyšování efektivnosti elektrické vozby v oblasti intramodálních úspor.

Je silná celospolečenská poptávka neotálet a aplikovat příslušné moderní technologie na železnici co nejdříve. Tím lze zabránit dalšímu zbytečnému poškozování zdraví současného obyvatelstva, jakožto i zbytečnému zhoršování klimatických podmínek pro život následujících generací, které na Zemi trvale zůstanou i po skončení období využívání fosilních paliv.



## Literatura:

- [1] Jiří Pohl, Vize rozvoje elektromobility, Vědeckotechnický sborník ČD č. 42/2016
- [2] Jiří Pohl, Elektrická vozba na železnici a obnovitelné zdroje energie, Vědeckotechnický sborník ČD č. 44/2017
- [3] Zpráva o pokroku v oblasti plnění vnitrostátních cílů energetické účinnosti v České republice, MPO ČR 2017
- [4] Státní energetická koncepce ČR, MPO ČR 2015
- [5] Ročenka dopravy 2016, MD ČR 2017,
- [6] Program rozvoje rychlých železničních spojení v České republice, MD ČR 2017

Praha, srpen 2018

Lektorovali: Ing. Pavel Krkoška  
Správa železniční dopravní cesty, s. o.

doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.  
České vysoké učení technické v Praze