

Je česká železnice připravena na alternativní pohony?

Ing. Tomáš Javořík, Ph.D.¹, doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.²,
Ing. Martin Jacura, Ph.D.³

*ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů
Konviktská 20, Praha 1, 110 00*

e-mail_1: javorik@fd.cvut.cz,

e-mail_2: tyfa@fd.cvut.cz

e-mail_2: jacura@fd.cvut.cz

Abstrakt

Článek podává přehled o možnostech využití některých alternativních pohonů železničních vozidel především v regionální železniční dopravě, přičemž se zaměřuje na perspektivní elektrickou trakci ve formě dvouzdrojových vozidel a vozidel s palivovým článkem. Shrnuje i další infrastrukturní podmínky a požadavky objednatelů regionální železniční dopravy pro provoz nejen takových vozidel.

Klíčová slova

železniční doprava, bezemisní doprava, alternativní pohon, trakce, akumulátor, dvouzdrojové vozidlo, vodík, regionální doprava

Is the Czech Railway Ready for Alternative Drives?

Abstract

The paper discusses the possibilities of using alternative drives in railway transport, especially in regional railway transport. It focuses on promising electric traction in the form of two-source vehicles and vehicles with a fuel cell. It also summarizes other infrastructure conditions and requirements of regional railway transport for two-source vehicles operation.

Keywords

railway transport, emission-free transport, alternative propulsion, traction, accumulator, two - source vehicle, hydrogen, regional transport

1. Úvod

Moderní doprava z hlediska pohonů dopravních prostředků směřuje ke snížení spotřeby energie, produkce oxidu uhličitého coby tzv. skleníkového plynu a emisí škodlivých látek včetně lokálních exhalací, přičemž snížení spotřeby energie vede dále ke snížení provozních nákladů a globálních exhalací z neobnovitelných zdrojů energie. Zároveň je nezbytné, aby primární energie použitá k přeměně na energii spotřebovanou k pohybu dopravních prostředků pocházela v co největším podílu z obnovitelných zdrojů. Důležité je rovněž hledisko strategické bezpečnosti, tedy aby zdroje energie pocházely z více zdrojů/lokalit v politicky a bezpečnostně stabilních regionech a jejich přeprava/přenos k místě spotřeby nezpůsobovaly velké energetické ztráty.

Změny, k nimž v současnosti v ČR dochází na železnici (fyzické nebo morální zastarávání stávajících hnacích i tažených vozidel, nedostatečná kapacita některých tratí i vlaků, soutěže na zajištění dopravní obslužnosti, modernizace infrastruktury nabízející např. vyšší traťové rychlosti, přechod na zabezpečovací systém ETCS aj.) i mimo ni (zvyšující se požadavek občanů na ochranu životního prostředí a zároveň kulturu cestování, koncepce tzv. Green Deal na úrovni EU a s tím související dotační možnosti...), poskytují příležitosti, které je vhodné využít k naplnění výše uvedeným požadavkům.

2. Využití elektrického pohonu místo spalovacího motoru

Nástrojem k intramodálním úsporám konečné spotřeby energie v dopravě je náhrada spalovacího motoru (směrná hodnota účinnosti 30 %) elektrickou vzbou (směrná hodnota výsledné účinnosti trakčního pohonu vozidla i pevných trakčních zařízení 75 %¹). V důsledku 2,5násobně vyšší účinnosti klesá při náhradě spalovacího motoru elektrickým konečná spotřeba energie na 40 %, dochází tedy k úspoře 60 % konečné spotřeby energie. Tato základní úspora je dále navyšována o úsporu energie při rekuperačním brzdění, která se pohybuje v závislosti na charakteru jízdy přibližně od 10 % (plynulá jízda) do 40 % (jízda proměnlivou rychlostí, s četnými zastávkami).

2.1. Současné možnosti elektrické trakce

Pojem elektrická trakce označuje dopravní prostředky s elektrickým pohonem. Přenos elektrické energie mezi distribuční elektrickou sítí a vozidlem

¹ Vlastní trakční elektromotor má vysokou účinnost (kolem 95 %), avšak výše uvedená směrná hodnota střední účinnosti trakčního pohonu 75 % zahrnuje kromě trakčního motoru i mechanické převody, polovodičové měniče, pomocná zařízení a přenos elektrické energie mezi distribuční elektrickou sítí a vozidlem přes pevná trakční zařízení.

může mít více podob a podle něho se také elektrická trakce rozděluje do tří základních skupin:

- **závislá elektrická trakce:** vozidlo nemá ani zdroj, ani zásobník elektrické energie a vyžaduje liniové elektrické napájení (pevná trakční zařízení) – elektrická vozba;
- **polozávislá elektrická trakce:** vozidlo má zásobník energie a k provozu potřebuje možnost nabíjení – buď statické při stání, nebo dynamické v průběhu jízdy;
- **nezávislá elektrická trakce:** vozidlo má zdroj energie se zásobou paliva – v minulosti spalovací motor s generátorem, v současnosti palivový článek se zásobou paliva, jehož přeměnou na elektrickou energii nevznikají žádné lokální emise skleníkových plynů ani zdraví škodlivých látek.

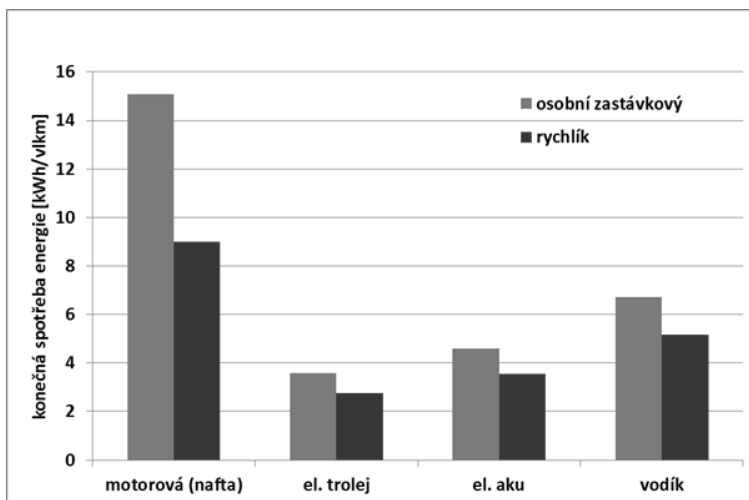
Tyto systémy lze kombinovat, a tím vytvářet vícezdrojová vozidla. Rozvoj polozávislé elektrické trakce, který nastal v posledních letech, přímo souvisí s pokrokem v oblasti elektrochemických akumulátorů, zejména lithiových.

Při snaze snížit konečnou spotřebu energie v dopravě je podstatné vnímat rozdílnou výslednou vstupní účinnost různých druhů elektrické trakce (přenosu elektrické energie):

- závislá elektrická trakce na stejnosměrné elektrické trakční soustavě: cca 80 % (stejnosměrné trakční napájecí stanice – měničky, trakční vedení, vstupní filtr vozidla),
- závislá elektrická trakce na střídavé elektrické trakční soustavě: cca 95 % (střídavé trakční napájecí stanice – transformovny, trakční vedení, transformátor vozidla, vstupní měnič vozidla),
- polozávislá elektrická trakce (dvouzdrojová vozidla): cca 80 % (nabíjecí měnič s účinností cca 90 % a akumulátor s účinností cca 90 %),
- nezávislá vodíková elektrická trakce: v rozmezí elektřina – elektřina cca 40 % (elektrolyzér s účinností cca 60 % a vodíkový palivový článek s účinností cca 65 %)².

Na grafu (obr. 1) je uvedeno rámcové porovnání energetické náročnosti různých způsobů elektrické trakce na železnici a jejich srovnání s motorovou (dieselovou) vozbou.

² Vlivem spotřeby energie na stačování vodíku a spotřeby energie na dopravu stlačeného vodíku v těžkých nádobách může výsledná účinnost přenosu elektrické energie z distribuční energetické sítě na vozidlo dále poklesnout až k hodnotě 30 %.

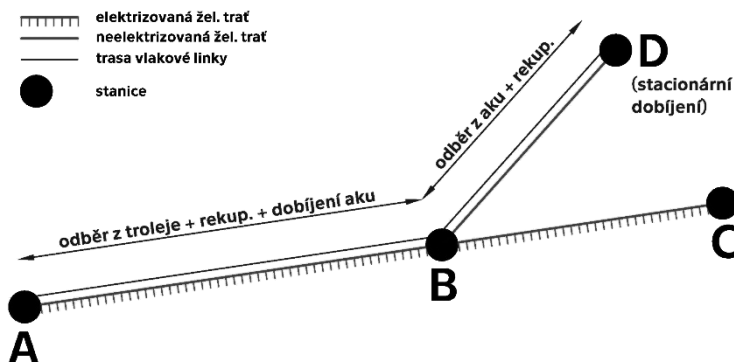


Obr. 1. Graf průměrné spotřeby energie pro dvě kategorie vlaků osobní dopravy pro různé trakce (el. aku = polozávislá elektrická trakce s akumulátory)

Zdroj: [6, s. 55]

2.2. Dvouzdrojová vozidla a elektrizace tratí

Veřejná železniční síť v ČR je v současnosti charakteristická nízkým podílem elektrizovaných tratí (cca 34 %) a dvěma hlavními trakčními soustavami (stejnou směrem 3 kV a střídavou 25 kV/50 Hz) s přibližně vyrovnanou celkovou délkou tratí. Další liniová elektrizace výrazně zvyšuje nejen podíl tradiční závislé elektrické vozby, ale i potenciál použití dvouzdrojových vozidel. Snižuje se totiž délka úseků bez elektrizace a spolu s tím klesá potřebný dojezd vozidel při napájení z akumulátoru, a tím i jejich velikost a hmotnost, respektive zvyšuje se počet železničních tratí a stanic, kde lze za jízdy i při stání nabíjet akumulátory. Centrální komise Ministerstva dopravy ČR již schválila elektrizaci zhruba 560 km tratí a studie proveditelnosti elektrizace dalších tratí jsou postupně řešeny. Možnost napájet z nově budovaných pevných trakčních zařízení tedy budou mít nejen vozidla provozovaná na příslušných nově elektrizovaných tratích, ale prostřednictvím akumulátorů i vozidla provozovaná na okolních tratích (viz schéma na obr. 2), což zvyšuje ekonomickou efektivnost liniové elektrizace železničních tratí. Dvouzdrojová vozidla tudíž nejsou protipólem liniové elektrizace, ale jejím vhodným doplňkem.



Obr. 2 - Schéma získávání el. energie u hnacích vozidel polozávislé elektrické trakce s akumulátorem (rekup. = rekuperace, aku = akumulátor)

Zdroj: vlastní na základě **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, s. 40

V případě nutnosti navyšování energie v akumulátoru během stání soupravy při jejím obratu na lince je nanejvýš vhodné, aby k tomu docházelo ve stanici vybavené pevnými trakčními zařízeními ideálně střídavé trakční soustavy. Pokud ke stání vozidla nedochází na koleji/kolejích s trolejovým vedením a nejeví se jako nákladově efektivní tuto kolej/tyto koleje tímto vedením dodatečně dovybavit, pak se nabízí buď standardně v ČR existující doplnění tzv. stojany s kabely pro předtápění souprav (topné stojany), nebo vybudování krátkého úseku tzv. pevné troleje nad příslušnou kolejí/kolejemi, příp. použití jednoduché konstrukce trolejového vedení. Jak topné stojany, tak pevná trolej (jednoduchá konstrukce trolejového vedení) pak budou napájeny kabely nebo trakčním vedením z pevných trakčních zařízení té části stanice, která je jimi vybavena.

2.3 Využití vodíku v osobní železniční dopravě

Silnou stránkou vodíku je jeho vysoký energetický obsah, který dosahuje 33 kWh/kg (u nafty činí 12 kWh/kg). Avšak vodík dosahuje velmi nízké hustoty (1 kg vodíku zabere objem 11 m³). Před použitím v dopravních prostředcích je tak nutno vodík stlačit (obvyklá hodnota přetlaku dosahuje 350 barů). Při tomto tlaku dosahuje 1 kg vodíku objemu 32 litrů. Avšak příslušná ocelová tlaková nádoba dosahuje hmotnosti cca 50 kg (tedy hmotnost netto 1 kg, brutto 51 kg), což snižuje měrnou energii zásob vodíku z 33 000 kWh/netto t na 650 kWh/brutto t. Při použití palivového článku s účinností 65 % klesá výsledná měrná elektrická energie zásob vodíku na hodnotu 420 kWh/brutto t. To je již oblast, ke které se blíží nově vyvíjené akumulátory lithium-síra (400 kWh/t). Proto směřuje vývoj k lehčím kompozitním zásobníkům vodíku, což je náročné, neboť malá molekula vodíku snadno uniká i drobnými netěsnostmi či póry. Kompozitní tlaková nádoba o objemu 32 litrů dosahuje hmotnosti cca 50 kg (tedy netto 1 kg, brutto 21 kg), což snižuje měrnou energii zásob vodíku z 33 000 kWh/netto t na 1 570 kWh/brutto t. Při použití

palivového článku s účinností 65 % klesá výsledná měrná elektrická energie zásob vodíku na hodnotu 1 020 kWh/t.

Jak stačování vodíku na vysoký skladovací tlak, tak i přeprava vodíku (kamion, který přepravuje 250 kg vodíku, dosahuje hmotnosti 40 t) jsou velmi energeticky náročné. Proto je trendem výroba vodíku v místě provozu (plnění) dopravních prostředků, a to buď elektrolýzou s použitím přebytečné elektrické energie z obnovitelných zdrojů, nebo parním reformingem z metanu, odloučeného membránovými čistíči z bioplynu. To jsou zároveň perspektivní způsoby výroby vodíku, které jsou nezávislé na aplikaci fosilních paliv, ze kterých je vodík zpravidla vyráběn v současnosti.

Z hlediska spotřeby energie a nákladů na energii je vodíková technologie energeticky úspornější a nákladově levnější než naftový pohon, ale energeticky náročnější a nákladově dražší než elektrické liniové či akumulátorové napájení. Při návrhu plnicí stanice je důležité správné stanovení jejího denního, příp. i hodinového výkonu množství odebíraného vodíku a počtu plnicích stojanů, tj. počet najednou plněných vozidel. Tomu poté odpovídá dimenzování zásobníků vodíku, přičemž v případě jeho výroby v těsné blízkosti plnění se předpokládá použití stlačeného plynného vodíku (nikoli zkapalněného).

3. Výběr vhodné trakce v osobní železniční dopravě

Rozhodování o požadované trakci vozidla, které bude nasazeno na linky osobní dopravy, by se mělo odvíjet od vybavení infrastruktury z hlediska pevných elektrických trakčních zařízení, provozních parametrů linky a dalších hledisek. Rozhodně však nemá smysl pořizovat nová hnací vozidla pouze se spalovacím motorem, která neumožní v průběhu životnosti vozidla výměnu za úspornější a ekologičtější trakční systém.

V zásadě tedy přichází v úvahu následující kombinace charakteristik vlakové linky a železniční infrastruktury, na níž má být provozována, a z toho plynoucí nejvhodnější řešení trakce:

1) Celá trasa linky je vedena po celou dobu životnosti hnacích vozidel na ní nasazených výhradně po elektrizovaných traťových úsecích.

Na tyto linky jsou vhodná hnací vozidla (HV) závislé elektrické trakce. Je potřeba, aby HV byla buď hned od svého nasazení dvousystémová, nebo aby bylo možné v rámci velkých oprav HV doplnit jejich vybavení tak, aby umožnilo jízdu buď pod stejnosměrnou i střídavou soustavou (stalo se tak dvousystémovým), nebo jen pod střídavou soustavou (pokud dojde k přepnutí napájecí soustavy na celé trase linky i na trasách soupravových jízd).

2) Část trasy linky je vedena po elektrizovaných traťových úsecích nebo alespoň v místech obratu soupravy na lince je k dispozici zatrolejovaný úsek koleje.

Za této situace je vhodné nejprve prověřit nasazení HV polozávislé elektrické trakce s akumulátory za předpokladu dobíjení akumulátorů během jízdy vlaku. S ohledem na kapacitu akumulátorů a rychlost jejich dobíjení je nutné prověřit, zda HV bude stačit energie z akumulátoru pro provoz po neelektrizovaných úsecích linky a zda bude nutné využít stacionárního

dobíjení, např. z důvodu prodloužení obrátových časů v koncových stanicích. Životnost akumulátorů nedosahuje životnosti HV, proto je vhodné o polozávislé el. trakci uvažovat i v případě, kdy v průběhu životnosti HV dojde k rozšíření elektrizace, a linka tak bude v budoucnu vedena pouze po elektrizovaných tratích, protože tím nedojde ke znehodnocení investice do takového HV.

Jestliže nasazení HV s akumulátory takto není možné nebo dostatečně spolehlivé, je možné uvažovat o nezávislé el. trakci s vodíkovými palivovými články, protože takto vybavená vozidla mají delší dojezd než vozidla s akumulátory, ovšem musí se do jejich oběhu zakomponovat doplňování vodíku. Při úvahách o využití vodíku k pohonu HV je důležité kalkulovat s vybudováním potřebné infrastruktury na výrobu a zejména plnění palivových článků (investiční náklady, provozní náklady, prostor).

3) Celá trasa linky je vedena po celou dobu životnosti hnacích vozidel na ní nasazených výhradně po neelektrizovaných traťových úsecích.

V takovém případě je na zvážení prověřit možnou úpravu linkového vedení tak, aby část linky byla vedena po elektrizovaných traťových úsecích. Toho lze docílit i dělením soupravy vlaku v některé nácestné stanici, kdy další HV řazené ve vlaku je sice během jízdy na části trasy linky nečinné z hlediska vývinu hnací síly, ale může dobíjet své akumulátory. Rovněž stojí za prověření vybudování stacionárních míst dobíjení v obrátových stanicích linky. Když žádný z výše uvedených nástrojů nepovede k možnosti nasazení vozidel s akumulátory, je potřeba se pokusit o vytvoření podmínek pro nasazení vozidel nezávislé elektrické trakce s palivovými články.

4) Celá trasa linky je vedena výhradně po neelektrizovaných traťových úsecích, ale během životnosti pořízených hnacích vozidel se očekává elektrizace úseků, po nichž je linka vedena.

V takovém případě je vhodné koordinovat pořízení nových HV a zprovoznění pevných trakčních zařízení (elektrizaci). Výhodně se dají použít dvouzdrojové elektrické jednotky trolej/akumulátor, které se do doby elektrizace budou provozovat v akumulátorovém režimu a po dokončení elektrizace v trolejovém režimu. Trakční akumulátor se tak již nebude po skončení své životnosti obnovovat a vozidlo pak bude provozováno výhradně jako závislé.

Pro často zastavující osobní vlaky lze za jako nepříliš vhodné (nouzové) řešení označit pořízení netrakčních jednotek, tedy vlakových jednotek bez HV, které budou do doby elektrizace doplněny zánovními motorovými lokomotivami, které po spuštění elektrizace budou vyměněny za lokomotivy závislé elektrické trakce. Zásadní nevýhodou této varianty je lokomotiva o vysoké hmotnosti v porovnání s několika málo připojenými osobními vozy a její nízká dynamika jízdy (zejm. zrychlení). O této variantě je možné uvažovat jen v případě dlouhých linek s velkými vzdálenostmi mezi sousedními místy zastavení a s požadovanou vysokou obsaditelností (dálkové linky).

4. Zajištění regionální osobní železniční dopravy

V souvislosti s postupným a nevyhnutelným otevíráním železničního trhu i v tzv. závazkové dopravě se jejím objednatelům právě nyní nabízí možnost nejen zvážit, ale i včas rozhodnout o konkrétních krocích v zavedení alternativních pohonů v osobní železniční dopravě. Kromě faktů nastíněných v předchozích kapitolách je však vhodné zvážit i další důležité skutečnosti stran infrastrukturních požadavků:

1) ETCS: Učinit jednoznačné rozhodnutí, jakým způsobem přistupovat k provozu na tratích bez ETCS zaústěných do železničních stanic tratí s výlučným provozem ETCS. Nebude-li přijato racionální řešení, lze předpokládat, že nutnost vybavení vozidel mobilní částí ETCS především na regionálních železničních tratích bude pro mnoho takovýchto tratí likvidační.

2) GSM-R: Důsledně rozvíjet jednotný rádiový komunikační systém tak, aby nebylo nutné vybavovat vozidla různými systémy, a byl tak zjednodušen jejich přechod mezi tratěmi.

3) Délka nástupišť: Při investičních akcích brát zřetel na možné výhledové požadavky provozu a nedržet se zaslepeně parametrů stávajících vozidel (délek vlaků). Délka nástupišť by se neměla stávat zásadním omezujícím faktorem pro rozvoj provozu, a tak, je-li to možné, je třeba je navrhovat buď dostatečné délky, nebo alespoň zachovávat prostor pro jejich možné prodloužení.

4) Trakce: Urychleně připravit a realizovat konverzi na soustavu 25 kV/50 Hz, u níž bude garantovaný postup přechodu na střídavou trakční soustavu v jednotlivých časových obdobích. Vybírat úseky pro elektrizaci tak, aby umožňovaly nasazení vozidel polozávislé elektrické trakce na logicky vedené linky z hlediska přepravní poptávky, a případně vybavovat dobíjecí infrastrukturou stanice obratu linek s vozidly polozávislé el. trakce.

5) Zařízení služeb: Ve spolupráci s objednateli dopravy vybrat konkrétní železniční uzly a stanice, ve kterých se zřídí koleje pro provozní ošetřování souprav; neexistence zázemí pro soupravy totiž vytváří v mnoha případech zásadní vstupní podmínku/omezení pro rozhodování o podobě provozních souborů, tedy i o vedení linek s dvouzdrojovými HV.

6) Traťová rychlost: Důsledně prověřovat ve spolupráci s objednateli dopravy možnosti zvýšení traťové rychlosti pro maximální hodnoty nedostatku převýšení tak, aby společným cílem bylo nejen zatraktivnění spojení mezi dvěma místy, ale též dosažení systémových jízdních dob.

7) Propustnost: Úzká spolupráce s objednateli dopravy při navrhování dopraven pro křižování a předjíždění vlaků. Jejich rozmístění nemá vyhovovat jen stávající provozní koncepci a krátkodobému výhledu, ale mělo by umožňovat i variantní řešení železniční dopravy ve výhledu několika desetiletí.

5. Závěr

Stojíme na prahu doby, kdy i v železniční dopravě nastává vhodná příležitost k zavedení tzv. alternativních pohonů, jejichž hlavním smyslem je

efektivní nakládání s energií a minimalizace vlivu dopravy na životní prostředí. Ačkoliv železnice má již dlouho dobře zvládnuté využití elektrické energie, stále existuje řada tratí, kde klasickou závislou elektrickou trakci nebude možné využít. Právě zde je vhodné zvážit a technicky podpořit provoz dvouzdrojových vozidel nebo vozidel s palivovým vodíkovým článkem. Praktické příklady využití můžeme již nyní najít např. v Německu či Rakousku a na úrovni studií u nás např. i v Ústeckém kraji či Moravskoslezském kraji.

Literatura

- [1] ČESKÁ VODÍKOVÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA. Strategická výzkumná agenda rozvoje vodíkového hospodářství v ČR [online]. Husinec-Řež, 2010, 43 s. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/SVA_HYTEP.pdf
- [2] FORSTER, Mike a Palo ALTO. Caltrain 2.0 - Hydrogen Fuel Cell EMUs [online]. 2017, 29 s. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.mikeforster.net/wp-content/uploads/2017/05/Caltrain-2.0-Hydrogen-Fuel-Cell-EMUs-Mike-Forster-v2.0.pdf>
- [3] ÖBB-PERSONENVERKEHR AG. ÖBB Cityjet TALENT3: The future of local and regional transport. ÖBB [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.oebb.at/en/neuigkeiten/cityjet-eco>
- [4] POHL, Jiří. Dekarbonizace osobní železniční dopravy koordinovanou kombinací liniového, akumulátorového a vodíkového napájení elektrických vozidel. Přednáška z předmětu 12IKOD na ČVUT v Praze Fakultě dopravní 03. 12. 2019 [prezentace online po přihlášení].
- [5] POHL, Jiří. Energetické aspekty moderní železniční dopravy. Vědeckotechnický sborník ČD [online]. Praha: Generální ředitelství Českých drah, 2018, (45), 19 s. [cit. 2019-03-13]. ISSN 1214-9047. Dostupné z: https://vts.cd.cz/documents/168518/195507/4518_Pohl_Energeticke+aspekty+moderni+zeleznichni+dopravy_kor.pdf
- [6] POHL, Jiří. Rychlá osobní železniční doprava: Díl 70: Na pomoc přetíženým tratím. Železniční magazín. Praha: Railway Builder, 2019, 26(4), 22–25. ISSN 1212-1851.
- [7] VOBOŘIL, David. Power to Gas – budoucnost akumulace elektřiny? OENERGETICE.cz [online]. 24. 06. 2015, 16:20 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/power-to-gas-budoucnost-akumulace-elekriny>

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/138/OHK2/2T/16 „Stanovení a optimální využití parametrů železniční dopravní cesty“.