

František Sládek¹, Petr Nachtigall², Martin Vojtek³

Představení vzájemných vazeb mezi vozidly s alternativními pohony, infrastrukturou a náklady

Klíčová slova

akumulátorová elektrická jednotka, alternativní pohon, elektrické hybridní vlaky, elektrizace železnic, vhodnost provozu vozidel s alternativními pohony

Keywords

Battery electric multiple unit, alternative propulsion, electric hybrid trains, electrification of railways, suitability for operation of vehicles with alternative drives

Anotace

Článek se zabývá analýzou technologie železničních vozidel s alternativními pohony (elektricko-akumulátorové, bimodální a vodíkové) a vztahem těchto vozidel k liniové elektrizaci. Případným rozšířením liniové elektrizace na železniční lince se nabízejí různé scénáře, jak naložit s existujícími vozidly s alternativními pohony na takovýchto linkách. Tyto scénáře jsou v článku popsány. V poslední části článku jsou rozebrány provozně-ekonomické aspekty akutrolejových jednotek na železniční lince společně s vyplývajícími požadavky na provozovatele dráhy.

Abstract

The article deals with the analysis of the technology of railway vehicles with alternative drives (electric-battery, bimodal and hydrogen) and their relation to line electrification. The possible extension of line electrification on a railway line offers different scenarios on how to deal with existing alternative propulsion vehicles on such lines. These scenarios are described in the paper. In the last part of the article, the operational and economic aspects of battery electric multiple units on the railway line are discussed together with the resulting requirements for the manager of infrastructure.

Úvod

Udržitelná mobilita je téma, které v současnosti eskaluje naší společností. Jednou z možných cest k dosažení udržitelné mobility jsou vozidla s alternativními pohony (elektricko-akumulátorové, bimodální a vodíkové), která otvírají nové příležitosti k lepšímu využití obnovitelných zdrojů energie a snížení emisí. Další argument pro nasazení vozidel s alternativními pohony může být ekonomický. Nové

¹ Ing. František Sládek, absolvent DFJP, v současnosti výzkumný pracovník v oblasti železniční dopravy v Centru dopravního výzkumu, v.v.i. v Brně

² Ing. Petr Nachtigall, Ph.D., absolvent DFJP, vedoucí oddělení Logistických systémů a odborný asistent na katedře Technologie a řízení dopravy, DFJP, UPa,

³ Ing. Martin Vojtek, Ph.D., absolvent Žilinské Univerzity v Žiline, v současnosti odborný asistent na katedře Technologie a řízení dopravy, DFJP, UPa

technologie často přinášejí efektivnější řešení, které z hlediska dlouhodobých přínosů převládá zvýšené pořizovací náklady. Trend vývoje v zemích naší západních sousedů jednoznačně směřuje k většímu využívání alternativních pohonů. Je proto očekávatelné, že se tento trend dříve nebo později dotkne také české železnice. Na tuto změnu je potřeba se v tento moment minimálně v teoretické rovině připravovat.

Tento článek se zabývá vzájemnými vazbami mezi vozidly s alternativními pohony, infrastrukturou a náklady na jejich provoz a pořízení. Vozidla s alternativními pohony s sebou přinášejí také potřebu nových přístupů k vzájemné spolupráci mezi objednatelem, provozovatelem dráhy a dopravcem. Zmíněná potřeba nových přístupů je dána odlišnými technologickými vlastnostmi těchto vozidel od stávajících běžně rozšířených dieselových a elektrických vozidel.

1. Analýza technologií vozidel s alternativními pohony

V železniční osobní dopravě se v současné době nejčastěji hovoří o těchto typech vozidel s alternativními pohony:

- vozidlo trolej-dieselový motor (EDMU⁴ neboli BMU⁵),
- vozidlo trolej-akumulátor (BEMU⁶),
- vozidlo palivové články-akumulátor (HMU⁷).

1.1. Vozidla trolej-akumulátor

Vozidlo trolej/akumulátor je mezi odbornou veřejností nazýváno akutrolejové nebo také elektricko-akumulátorové vozidlo. Často se používá i laické pojmenování bateriový vlak. Akutrolejové vozidlo, které je zároveň řešeno jako jednotka, je v angličtině označováno jako battery electric multiple unit (zkráceně BEMU).

Pro jízdu po líniově elektrifikovaných tratích využívá vozidlo trolej/akumulátor za standardních okolností trakční energii z troleje. Během jízdy po elektrifikované trati lze dobít akumulátor pomocí trakční energie z troleje nebo pomocí rekuperační brzdy.

Při jízdě po neelektrifikované trati je využívána energie z akumulátoru. I při jízdě po neelektrifikované trati je možné dobít akumulátor pomocí rekuperační brzdy, což představuje důležitou energetickou úsporu zejména pro regionální vlaky, které často zastavují. Benefitem vozidel trolej/akumulátor je také možnost statického nabíjení během stání vozidla v elektrifikované stanici.

Rychlost nabíjení akumulátoru závisí zejména na napájecí trakci. Během nabíjení statického (vozidlo není v pohybu) pod stejnosměrným napětím 3 kV existuje omezení maximálního proudu na 200 A kvůli riziku přepálení troleje, což značně prodlužuje dobu potřebnou k nabití akumulátoru. Nabíjení akumulátoru pod střídavým napětím je rychlejší, přesto nedosahuje rychlosti obnovení kilometrického dojezdu za čas jako tomu je u např. dieselových či vodíkových technologií.

⁴ EDMU – electro-diesel multiple unit

⁵ BMU – bi-mode multiple unit

⁶ BEMU – battery electric multiple unit

⁷ HMU – hydrogen multiple unit

Dojezdová schopnost vozidel na jedno nabití je při současném stavu technologií zhruba 100 km. Dojezdová vzdálenost závisí zejména na sklonových a rychlostních poměrech trati, svou roli hraje také zvolený jízdní styl strojvedoucího [1, 2].

1.2. Vozidla trolej-dieselový pohon

Tato vozidla bývají označována jako elektrická s přídavným dieselovým motorem. Jednotka s technologií trolej-dieselový motor je označována jako BMU (bi-mode multiple unit) neboli bimodální jednotka. Pro pojmenování toho typu vozidla lze použít i anglickou zkratku EDMU. Zkratka EDMU znamená electro-diesel multiple unit). Elektrické vozidlo s přídavným dieselovým motorem využívá na elektrifikovaných tratích trakční energii z trolejí. Na úsecích, které to umožňují, může vozidlo vracet energii z rekuperačního brzdění zpátky do troleje. Na neelektrifikovaných tratích je trakční energie získávána pomocí přídavného dieselového motoru. Vozidlo na neelektrifikovaných tratích nemůže rekuperovat. Výhodou tohoto typu vozidla je vysoký dojezd na jeden objem nádrže, který je v řádech stovek kilometrů až pár tisíců kilometrů. Dle názoru autorů se jedná o technologii s největšími dojezdovými schopnostmi mezi vozidly s alternativními pohony. Dvojitá technologie pohonu však s sebou nese úskalí zvýšení hmotnosti vozidla. Problémy vzbuzuje také náročná údržba dvou technologií pohonu a plány na odklon od dieselové trakce v Evropě v souvislosti s plněním Green deal [3, 4].

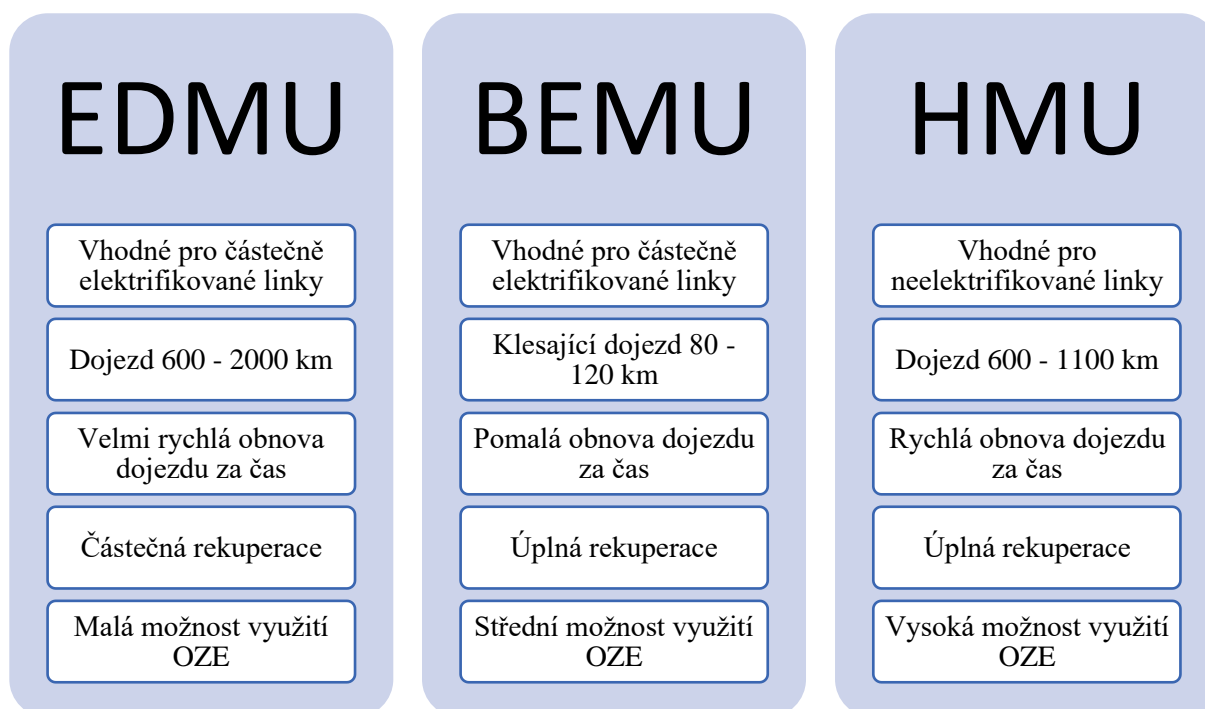
1.3. Vozidla palivové články-akumulátor

Vozidla s palivovými články, které využívají pro výrobu trakční elektrické energie vodík, jsou často označována jako vodíková vozidla. Jednotka, která využívá ve svých palivových článcích vodík, se v angličtině nazývá hydrogen multiple unit (dále také HMU). Vozidlo s palivovými články na vodík lze pojmenovat jako pojízdnou elektrárnu s elektromotorem využívající pro uložení energie palivo v podobě stlačeného vodíku. Na vozidle se nachází akumulátor pro pokrytí výkyvů ve spotřebě trakční energie, protože je žádoucí neměnný výkon palivových článků. Dobíjení akumulátoru může probíhat i při rekuperačním brzdění vlaku. Silnou stránkou těchto vozidel je vysoký dojezd na jedno doplnění paliva, který dosahuje až 1 000 km. Tato technologie je výhodná pro tratě, které nejsou ani částečně vybaveny liniíovou elektrizací. Výhodou je konečný bezemisní provoz, který vypouští do svého okolí pouze vodu a teplo.

Účinnost energetického řetězce elektřina→vodík→elektřina je v rozmezí 30 – 40 %. Pro srovnání může posloužit účinnost stávajících přečerpávacích elektráren, která je přibližně 75 %. Z tohoto srovnání vycházejí lépe jiné způsoby uložení energie a následné využití nealternativních a alternativních pohonů. Ovšem za určitých okolností může převažovat výhoda vodíku v podobě vysokého dojezdu bez nutnosti budování liniíové elektrizace a výhodného překlenutí časového rozdílu mezi výrobou a konečnou spotřebou vodíku na vlaku, což nahrává využití ekologických a časově nahodilých zdrojů energie (např. slunce, vítr). Ekonomické náklady na vybudování vodíkové plnicí stanice jsou vysoké, proto jejich síť nemůže být příliš hustá. Při požadavku na rychlé plnění vozidla jsou ekonomické náklady ještě vyšší. Umístění vodíkové plnicí stanice je zpravidla mimo nádraží [1, 2].

1.4. Shrnutí vlastností alternativních pohonů

Ze shrnující grafiky na obrázku 1 jsou patrné rozdíly mezi vlastnostmi jednotlivých technologií, které vedou k jiným vhodným provozním nasazením těchto technologií včetně využití obnovitelných zdrojů energie (dále jen OZE).



Obrázek 1 - Grafické shrnutí vlastností jednotlivých vozidel s alternativními pohony

Společným jmenovatelem všech zmíněných vozidel s alternativními pohony jsou vysoké investiční náklady na pořízení vozidla a také zvýšená hmotnost těchto technologií oproti běžným nehybridním elektrickým a dieselovým vozidlům.

2. Vztah mezi liniovou elektrizací a vozidly s alternativními pohony

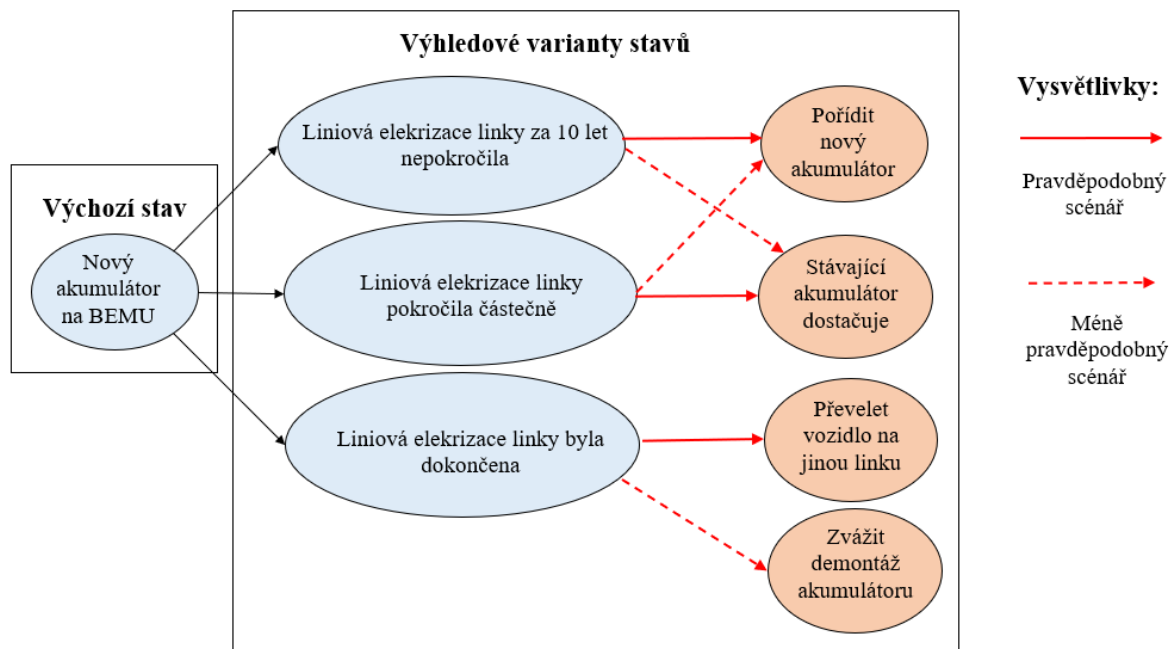
Vozidla akutrolejová a vozidla s palivovými články umožňují oddělit místa a čas odběru elektrické energie od její konečné spotřeby. Tradiční vnímání vztahu liniové elektrizace a nehybridních elektrických vozidel, kde se místo a čas odběru nerozlišuje od místa a času spotřeby, je kvůli existenci vozidel s rozsáhlou možností uložení energie na vlaku rozdílné.

2.1. Vztah liniové elektrizace a vozidel akutrolejových

Není vhodné vnímat liniovou elektrizaci jako přímého konkurenta vozidel trolej-akumulátor. V mnohých případech dochází při využití zmíněných vozidel a liniové elektrizace ke vzniku synergií. Tyto synergie lze pojmenovat jako:

- pokračující liniová elektrizace zkracuje vozební ramena bez elektrizace, a tím snižuje nároky na dojezd akumulátorových vozidel a také vytváří další místa, kde lze akumulátorová vozidla nabíjet;
- vozidla trolej-akumulátor zhodnocují investice do liniové elektrizace tím, že napájí nejen vlaky na příslušné trati, ale i vlaky na okolních tratích bez liniové elektrizace.

Kapacita akumulátoru klesá v závislosti na uskutečněném počtu nabíjecích cyklů. Po významném poklesu kapacity akumulátoru na lince s akutrolejovými vozidly nastává čas ke zvážení nemalé investice do obnovy akumulátoru. V závislosti na případném postupu liniové elektrizace existují různé scénáře, které popisují postup při úvaze o obnově, ponechání či demontáži akumulátoru na vozidle. Scénáře životního cyklu akumulátorů na vozidle BEMU vykreslují autoři na obrázku 2.



Obrázek 2 – Životní cyklus akumulátorů v závislosti na liniové elektrizaci

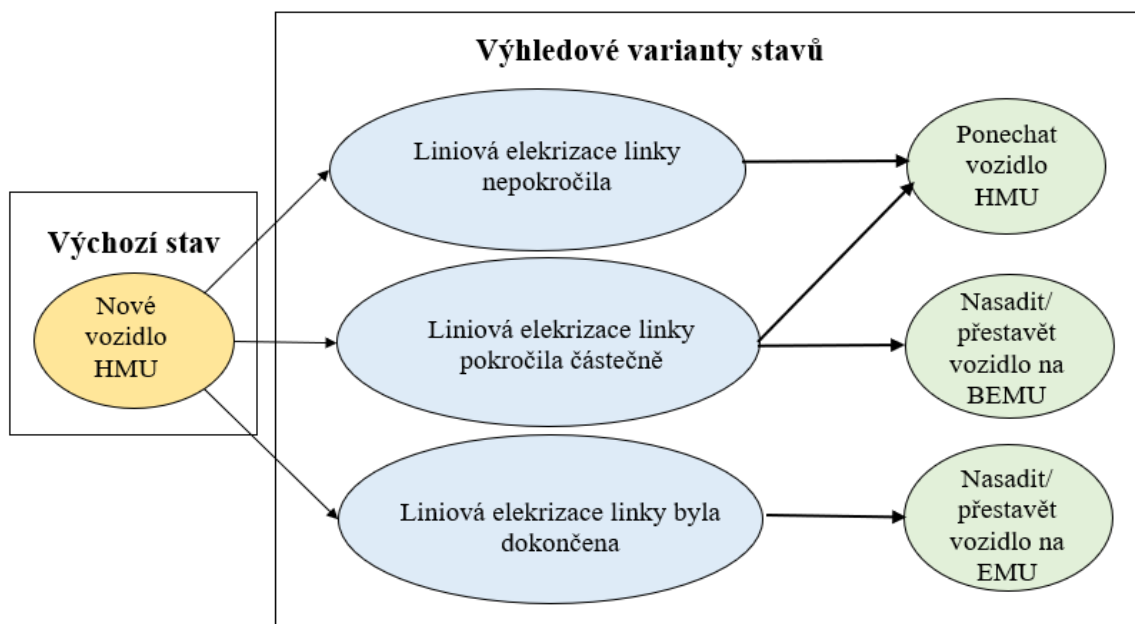
Z obrázku 2 je patrné, že synergie mezi pokračující výstavbou liniové elektrizace a akutrolejovými vozidly jsou značné. Velkou výhodou je rychlost možné změny konfigurace na straně vozidla, protože obnova akumulátoru či jeho demontáž není technicky ani časově náročná [1, 2].

2.2. Vztah liniové elektrizace a vozidel trolej-diesel

Možnou synergii liniové elektrizace a vozidel trolej-dieselový motor umožňuje prodloužení liniové elektrizace na větší část linky, což zkracuje vozební ramena bez elektrizace. Důsledek takovéto elektrizace je potenciální úspora nákladů dopravce za trakční a netrakční energii. Výše či samotná existence úspory v elektrické traktaci závisí na tržních faktorech (zejména cena nafty a trakční elektřiny). Varianty potenciální přestavby (např. demontáž dieselového motoru, doplnění akumulátoru) tohoto vozidla nejsou tak pružné a smysluplné jako u vozidel akutrolejových.

2.3. Vztah liniové elektrizace a vozidel palivové články-akumulátor

Jelikož je vozidlo s palivovými články ze své podstaty mobilní elektrárna, nedává z tohoto úhlu pohledu přílišný smysl řešit synergie s již vybudovaným trakčním vedením. Pokud bude linka liniově elektrifikována, nabízí se možnost přestavby vodíkového vozidla na BEMU či EMU. Schéma možných scénářů výhledových variant stavů vozidel HMU v závislosti na liniové elektrizaci linky je zobrazeno na obrázku 3 [1, 2].



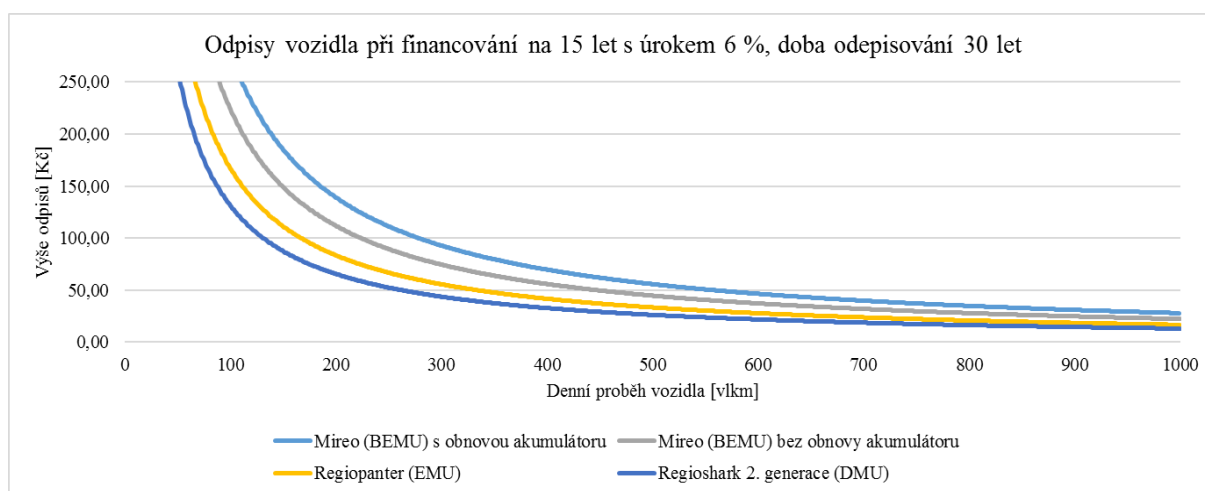
Obrázek 3 – Výhledové varianty stavů vodíkových vozidel v závislosti na elektrizaci

3. Provozně-ekonomické vlastnosti akutrolejových vozidel a infrastruktury

Rychlost rozšíření akutrolejových vozidel v České republice závisí do určité míry na jejich nákladech. Tato kapitola se popisuje některé vztahy akutrolejových vozidel, infrastruktury a nákladů.

3.1. Pořizovací cena vozidla

Mezi důležitý provozně-ekonomický aspekt vozidla patří jeho pořizovací cena. Vzhledem k tomu, že většina železničních vozidel v ČR je pořizována pro provoz pro určitého objednatele, má pořizovací cena vysoký podíl na výsledné výši kompenzace, kterou objednatel dopravci platí za ujetý kilometr. Náklady odpisů na vlakový kilometr na druhou stranu příznivě ovlivňuje vysoký denní proběh vozidel. Ilustrační vztah denního proběhu vozidel a nákladů na odpisy je zobrazen na obrázku 4, kde jsou veškerá zmíněná nová vozidla již vybavena mobilní částí ETCS.

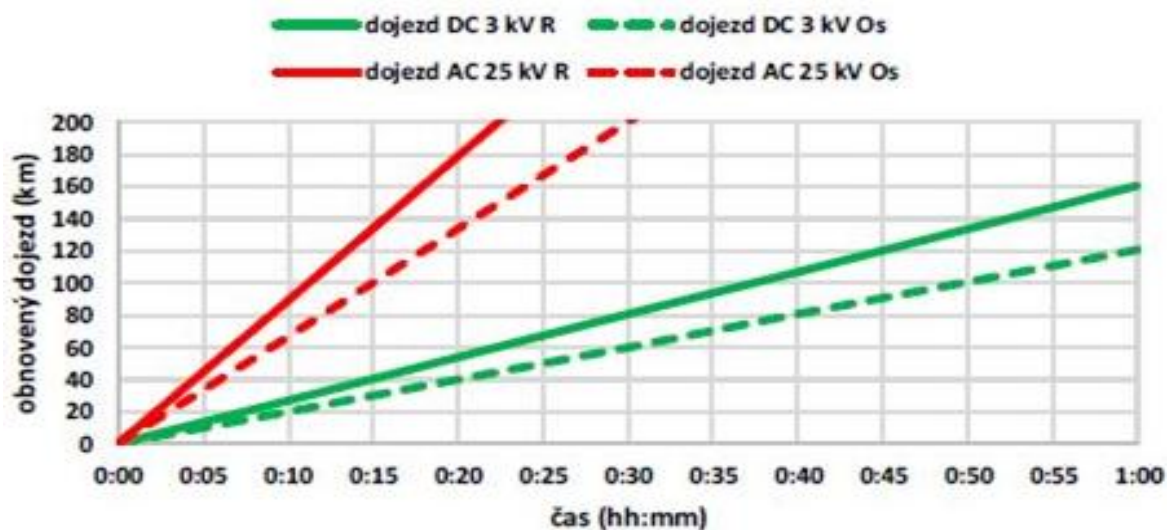


Obrázek 4 – Náklady na odpisy vozidla v závislosti na denním proběhu [5, 6, 7]

Z obrázku je patrný zvláštní důraz na vysoký denní proběh drahých vozidel akutrolejových vozidel (BEMU). V případě vysokého denního proběhu těchto vozidel dojde k umenšení vysokého rozdílu pořizovacích cen vozidel běžně rozšířených a akutrolejových. Požadovanou vysokou hodnotu denního proběhu lze dosáhnout zejména nasazováním vozidel na tratích s vysokou traťovou rychlostí a efektivní tvorbou oběhů vozidel. Naopak není žádoucí prodlužovat dobu obratu nebo zvyšovat potřebný počet vozidel na lince kvůli potřebě nabíjení akumulátoru. Z pohledu matematického vyjádření obrázku 4 je patrné, že zvyšování denního proběhu je smysluplné až k hodnotě 700 km za den. Pak se již jednotková změna nákladů při vyšším proběhu tolik neprojeví. Také tyto hodnoty je možné předem s objednatelem modelovat a ukázat, jaká technologie bude vyžadovat jakou kompenzaci.

3.2. Nabíjecí parametry linky

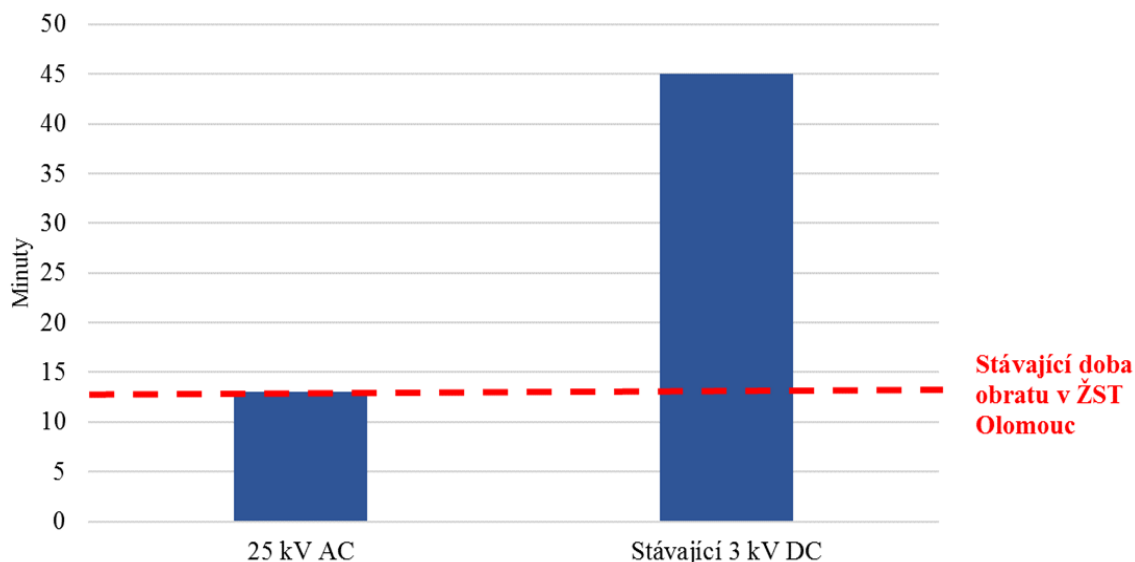
Rychlost nabíjení akumulátoru závisí na typu trakční napájecí soustavy. Daleko lepší podmínky pro nabíjení akutrolejového vozidla nabízí střídavá napájecí soustava 25 kV 50 Hz. Limitujícím faktorem nabíjení akumulátoru je výkon troleje, maximální nabíjecí výkon daného akumulátoru a legislativní omezení odběru z troleje z důvodu rizika přepálení troleje. Z obrázku 5 je možné říct, že přepnutí trakční soustavy ČR na 25 kV AC může významně přispět k vyšší efektivitě vozidel BEMU, neboť nabíjení bude mnohem rychlejší a provozně neproduktivní čas strávený nabíjením kratší.



Obrázek 5 – Limitní možnosti nabíjení stojícího vozidla o hmotnosti 100 tun přes sběrač z trakčního vedení [1]

Jelikož je nabíjení akumulátoru zejména stojícího vozidla pod stejnosměrnou napájecí soustavou velmi pomalé, je potřeba brát tento fakt na vědomí při návrhu jízdního řádu a oběhů vozidel. Posuzování nabíjecích parametrů linky je potřeba řešit pro konkrétní linku a konkrétní jízdní řád. Jako příklad konkrétního řešení problému nabíjení byla v literatuře [8] zvolena linka R27 Ostrava – Krnov – Olomouc. Autor vycházel ze skutečného jízdního řádu včetně uvažování sklonových a směrových poměrů. V rámci návrhu řešení diplomové práce bylo uvažováno s doposud nerealizovanou elektrifikací Krnov – Opava, čímž by se délka neelektrifikované části linky zkrátila na délku přibližně 90 km a umožnila tak stávající generaci akutrolejových vozidel překonat celou neelektrifikovanou délku tratě, protože stávající vozidla ještě neumí celý neelektrifikovaný úsek překonat s dostatečnou provozní

stabilitou. Současné (dle jízdního řádu v roce 2021) přibližně 13 minutové obraty vozidla na stávající stejnosměrné 3 kV trakční napájecí soustavě nestačí ke statickému obnovení dojezdu 90 km ve stanici Olomouc hl.n pro jízdu vozidla zpět do stanice Krnov. V případě přepnutí stanice Olomouc hl.n. na střídavou napájecí soustavu 25 kV 50 Hz již lze dostatečně dobít akumulátor pro jízdu zpět, ale tato doba v obrátové stanici neposkytuje prostor pro likvidaci obrátového zpoždění, jak ukazuje obrázek 6. Pokud by tedy vzniklo při cestě do Olomouce provozní zpoždění, tak vzhledem k nutnosti dobít akumulátoru by se toto zpoždění přeneslo i do opačného směru.

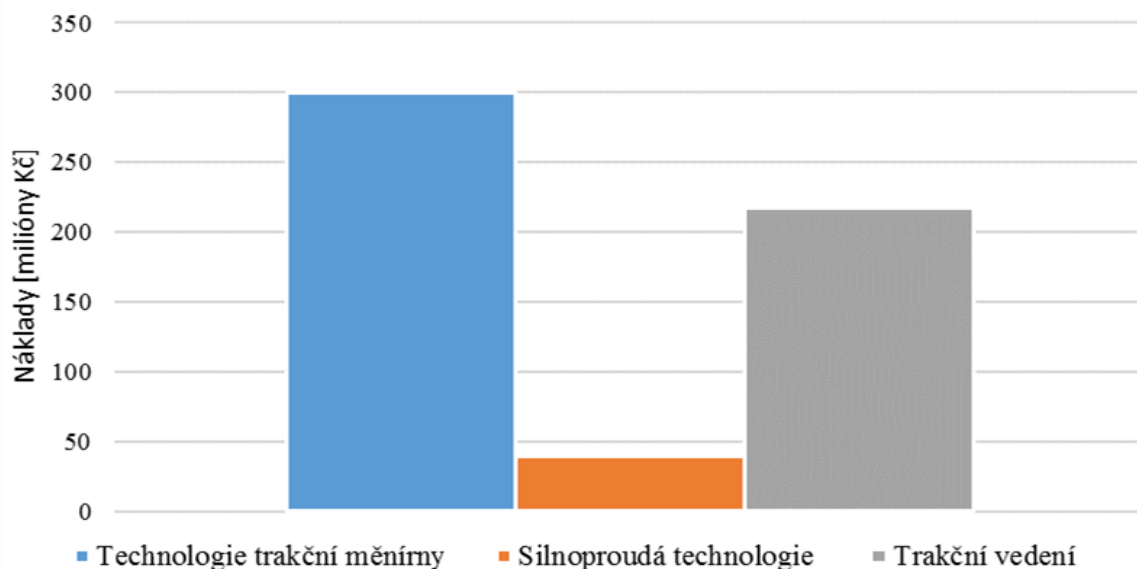


Obrázek 6 - Doba trvání obrátového dobíjení v ŽST Olomouc

Řešení pro realizaci akutrolejových vozidel na lince R27, tak spočívá nejen v dobudování elektrizace na úseku Krnov – Opava (případně vyčkání na existenci vozidel s dostatečně kapacitním akumulátorem), ale také v přepnutí ŽST Olomouc hl.n. do střídavé napájecí soustavy. Navíc je pro zachování stability jízdního řádu nutná úprava stávající délky obratu soupravy linky R27 ve stanici Olomouc hl.n.

3.3. Srovnání nákladů s liniovou elektrizací

Častou rozhodovací paralýzou na straně objednatele může být zvažování zavedení akutrolejového provozu nebo liniové elektrizace celé linky. V této souvislosti je nutné podotknout, že důležitým parametrem, který rozhoduje o ekonomické opodstatněnosti výsledného řešení, jsou náklady na výstavbu liniové elektrizace. Tyto náklady do značné míry souvisí se způsobem výstavby liniové elektrizace. Pokud je k dispozici dostatečný výkon existující trakční napájecí stanice nebo trakční měničiny v blízkosti úseku s plánovanou elektrifikací, lze provést celou elektrifikaci úseku pouze za cenu trakčního vedení a silnoproudé technologie. V případě, že výkon stávající trakční napájecí stanice a trakční měničiny nedostačuje, výstavba nové trakční měničiny nebo trakční napájecí stanice značně prodražuje náklady na vybudování liniové elektrizace. Ve vybraném příkladu na obrázku 7 ze Studie proveditelnosti Beskydy [9] je zobrazen plán na novou trakční měničiny na úseku Štramberk-Sedlnice. Ačkoli se jedná o stupeň přípravné dokumentace, který má vyšší známky zkrácení, už v této fázi je patrné, že výstavba nové měničiny náklady na elektrifikaci pro vybraný příklad přibližně zdvojnásobuje.



Obrázek 7 - Skladba nákladů na liniovou elektrizaci na úseku Sedlnice – Studénka

Pro správnou odpověď na otázku vhodné technologie na lince je důležitá role provozovatele dráhy, který může diskuzí s objednatelem dopravy získat informace o plánech na případné využití vozidel s alternativním pohonem. Pokud objednatel vyjádří svůj zájem na provozování akutrolejových vozidel nebo bimodálních vozidel, je na straně provozovatele dráhy žádoucí uvažovat nad vyššími odběry z trakční napájecí soustavy. Odběr trakční energie z trakčního vedení vozidly z dříve dieselových linek navíc zvýší ekonomickou opodstatněnost trakční napájecí soustavy na stávajících a potenciálně nově elektrizovaných úsecích. S touto okolností je potřeba počítat při zadávání studií proveditelnosti elektrifikace nových či dokonce již řešených úseků a také parametrizaci trakční napájecí soustavy.

Závěr

V článku byly popsány specifické vlastnosti vozidel s alternativními pohony ve vztahu k liniové elektrizaci a nákladům, které mohly přinést nový úhel pohledu na spolupráci objednatele dopravy, provozovatele dráhy a dopravce. Mezi zásadní zjištění patří zvýšená potřeba vzájemné spolupráce mezi objednatelem a provozovatelem dráhy o případných plánovaných vozidlech s alternativními pohony, jelikož nasazení vozidel akutrolejových a bimodálních příznivě ovlivňuje vnitřní výnosové procento liniové elektrifikace a může mít rozhodující dopad na minulá a budoucí strategická rozhodnutí o vybudování liniové elektrizace. Z hlediska pružnosti reakce na částečné nebo úplné dokončení liniové elektrizace na lince mají návrh vozidla BEMU, proto je jejich nasazení na linky s plánovanou výstavbou liniové elektrizace pravděpodobně tím nejlepším řešením. Při rozhodovací analýze mezi akutrolejovými vozidly nebo liniovou elektrizací celé linky je důležité přihlédnout k nabíjecím parametrům linky pro konkrétní jízdní řád, tak aby nedocházelo ke zpoždění způsobené nabíjením akumulátoru. Pomalé nabíjení akumulátoru na stejnosměrné napájecí trakci 3 kV má velmi omezující vlastnosti pro konstrukci smysluplného jízdního řádu a oběhů.

Při prověřování možnosti akutrolejových vozidel na lince R27 Olomouc-Krnov-Ostrava byly zjištěny četné překážky v zavedení této technologie. První překážka

spočívá v nedostatečné kapacitě stávajících akumulátorů na vozidlech pro dostatečnou provozní spolehlivost. Překonání této překážky je možné dosáhnout liniovou elektrizací úseku Opava-Krnov nebo vyčkáním na dokončení vývoje kapacitnějších akumulátorů na vozidlech. Další překážkou na této lince je stávající stejnosměrný 3 kV napájecí systém, který nedokáže poskytnout dostatečný nabíjecí výkon pro potřebné rychlé obrátové nabíjení akumulátoru. Jako vhodné řešení pomalého nabíjení se nabízí plánované přepnutí stanice Olomouc hl.n. na systém 25 kV 50 Hz. Zřejmě i po přepnutí stanice Olomouc hl.n. by docházelo k přenosu obrátového zpoždění kvůli nulové časové rezervě na nabití akumulátoru, proto by mělo dojít k drobnému prodloužení obrátového pobytu ve stanici Olomouc hl.n. díky úpravě jízdního řádu.

Použité informační zdroje.

[1] POHL, Jiří. Dekarbonizace železniční osobní dopravy koordinovanou kombinací liniového, akumulátorového a vodíkového napájení vozidel. 2019

[2] POHL, Jiří. Elektronická komunikace. 2021

[3] HOMOLKA, Pavel. Možnosti využití BEMU v podmínkách České republiky [online]. 2020 [cit. 2021-10-06]. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

[4] DOBELL, Malcolm. Bi-mode trains: Unlocking opportunity? [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: <https://www.railengineer.co.uk/bi-mode-trains-unlocking-opportunity/>

[5] Tiskové zprávy ČD: Dnes podepsáno! ČD nakupují nové vlaky do regionů [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: <http://www.ceskedrahy.cz/tiskove-centrum/tiskove-zpravy/-31805/>

[6] PROKŠOVÁ, Lenka. Do Varů jezdí z Plzně čtyři nové vlaky, jsou bezbariérové a tiché [online]. 2021 [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: https://plzensky.denik.cz/zpravy_region/podivejte-se-do-varu-jezdi-z-plzne-ctyri-nove-vlaky-jsou-bezbarierove-a-tiche-20.html

[7] KESSLER, Markus. 14-Tonnen-Akku statt Diesel: ÖBB testen Öko-Zug ab 2019 [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: <https://futurezone.at/b2b/14-tonnen-akku-statt-diesel-oebb-testen-oeko-zug-ab-2019/400114013>

[8] SLÁDEK, František. Posouzení vhodnosti provozu elektrických hybridních vlaků na vybraných linkách v ČR. <https://dk.upce.cz/handle/10195/78033>. Diplomová práce. Dopravní fakulta Jana Pernera v Pardubicích. Vedoucí práce Ing. Petr Nachtigall, Ph.D.

[9] SUDOP BRNO, SPOL S.R.O., DOPRAVNÍ PROJEKTOVÁNÍ, SPOL. S.R.O. a AF – CITYPLAN LTD. Studie proveditelnosti Beskydy. 2016.

Lektorovali: