

Ing. Jiří Cigánek, MBA<sup>1</sup>

## **Snížení energetické náročnosti a ekologické zátěže ze železniční dopravy prostřednictvím přípravy infrastruktury pro vlaky na alternativní pohon**

**Klíčová slova** Zelená dohoda, obnovitelné zdroje energie, infrastruktura, železniční doprava

**Keywords** Green Deal, renewable Energy, infrastructure, rail transport

### **ANOTACE**

Evropská komise dlouhodobě usiluje o udržitelnou mobilitu prostřednictvím snižování emisí z dopravy. Jedním ze základních dokumentů je Zelená dohoda pro Evropu (Green Deal). Jedná se o novou strategii růstu, jejímž cílem je transformovat EU na spravedlivou a prosperující společnost s moderní a konkurence schopnou ekonomikou efektivně využívající obnovitelné zdroje energie. Tuto strategii přijala také Česká republika a tím se zabýval projekt s VŠB TUO CEET. Článek představuje ukončený projekt, který řešila VŠB-TUO a Správa železnic, s.o.

### **ABSTRACT**

The European Commission has long been striving for sustainable mobility through the reduction of transport emissions. One of the basic documents is the Green Deal for Europe. It is a new growth strategy that aims to transform the EU into a fair and prosperous society with a modern and competitive economy that makes efficient use of renewable energy sources. The Czech Republic has also adopted this strategy. The article presents a project that is being solved by VŠB, TU Ostrava and Správa železnic, s.o.

---

<sup>1</sup>Ing. Jiří Cigánek – absolvent inženýrského studia na Fakultě elektrotechniky a informatiky, Technické Univerzity v Ostravě (2006). Nyní student doktorandského studia na Fakultě elektrotechniky a informatiky VŠB-TUO.

# 1. ÚVOD

Na základě Zelené dohody v oblasti dopravy se Česká republika zavázala snížit emise CO<sub>2</sub>. K dosažení těchto cílů je potřeba omezit množství emisí, a to zejména ve městech. Pro plnění těchto dohod je strategickým cílem dopravy vybudovat i infrastrukturu pro využívání nízkoemisních vozidel provozovaných na železniční síti.

Možnostmi naplnění dosažení cílů v oblasti železniční dopravy se zabýval projekt „*Snížení energetické náročnosti a ekologické zátěže ze železniční dopravy prostřednictvím přípravy infrastruktury pro vlaky na alternativní pohon*“.

Hlavním řešitelem projektu byla Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, spoluřešitelem byla Správa železnic, s.o. Aplikačním garantem projektu byl Moravskoslezský kraj. O výstupy z projektu projevil zájem Ministerstvo dopravy, ČD, a.s., ŽESNAD a RegioJet.

Projekt řešil snížení energetické náročnosti a ekologické zátěže ze železniční dopravy pro vlaky s využitím alternativních pohonů.

Podstatou projektu bylo vytvořit nástroj k určení takových neelektrifikovaných železničních tratí, na nichž je vhodné nahradit vlaky tažené dieselovými lokomotivami moderními vlakovými jednotkami s alternativními pohonnými systémy.

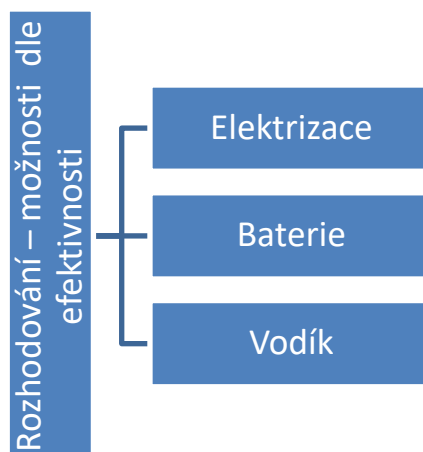
Očekává se také přesun většího množství cestujících ze silnic do nových a rychlých vlakových jednotek, což přispěje ke snížení počtu osobních automobilů na regionálních silnicích, lepší průjezdnosti těchto komunikací a zvýšení bezpečnosti provozu. Přesunem cestujících z individuální přepravy do prostředků přepravy hromadné lze očekávat i snížení primární energie spotřebovávané na území ČR.

Problém je vysoce aktuální a evropské železnice se jím již dlouhodobě zabývají (Rakousko, Německo, Francie...). I u nás v posledních postcovidových letech vidíme nárůst cestujících na železnici.

## 2. Hlavní cíle

Jedním z hlavních cílů projektu bylo vytvořit Metodiku pro pasportizaci železničních tratí určených pro vlaky s alternativními pohony, jejíž součástí je matematicko-ekonomický model, který umožní modelovat ekonomickou efektivnost nasazení příslušného alternativního pohonu na konkrétní železniční trati.

Při rozhodování o využití příslušné varianty vhodné pro konkrétní trať byly brány v úvahu varianty dle obrázku 1., případně jejich kombinace.



Obr. 1 Varianty alternativních pohonů, popřípadě jejich kombinace

### 3. Shrnutí řešení

Nejprve byli osloveni jednotliví objednavatelé železniční dopravy s dotazem, jaké jednotky na alternativní pohony plánují v budoucnosti objednat. V následující tabulce 2 je uveden předpokládaný počet nových jednotek na alternativní pohony v jednotlivých krajích dle jejich požadavků.

Kraj	Předpokládaný alternativní pohon	Předpokládaný počet nových jednotek, vozidel
Moravskoslezský kraj	Baterie, vodík	19 BEMU, 6 HEMU
Jihomoravský kraj	Baterie	47 BEMU
Olomoucký kraj	Baterie	9+2 BEMU
Pardubický kraj	Baterie	10+2 BEMU
Ústecký kraj	Baterie	26 BEMU

Tab. 1 Předpokládaný počet nových jednotek na alternativní pohon [3]

BEMU – Battery electric multiple unit

HEMU – Hydrogen electric multiple unit

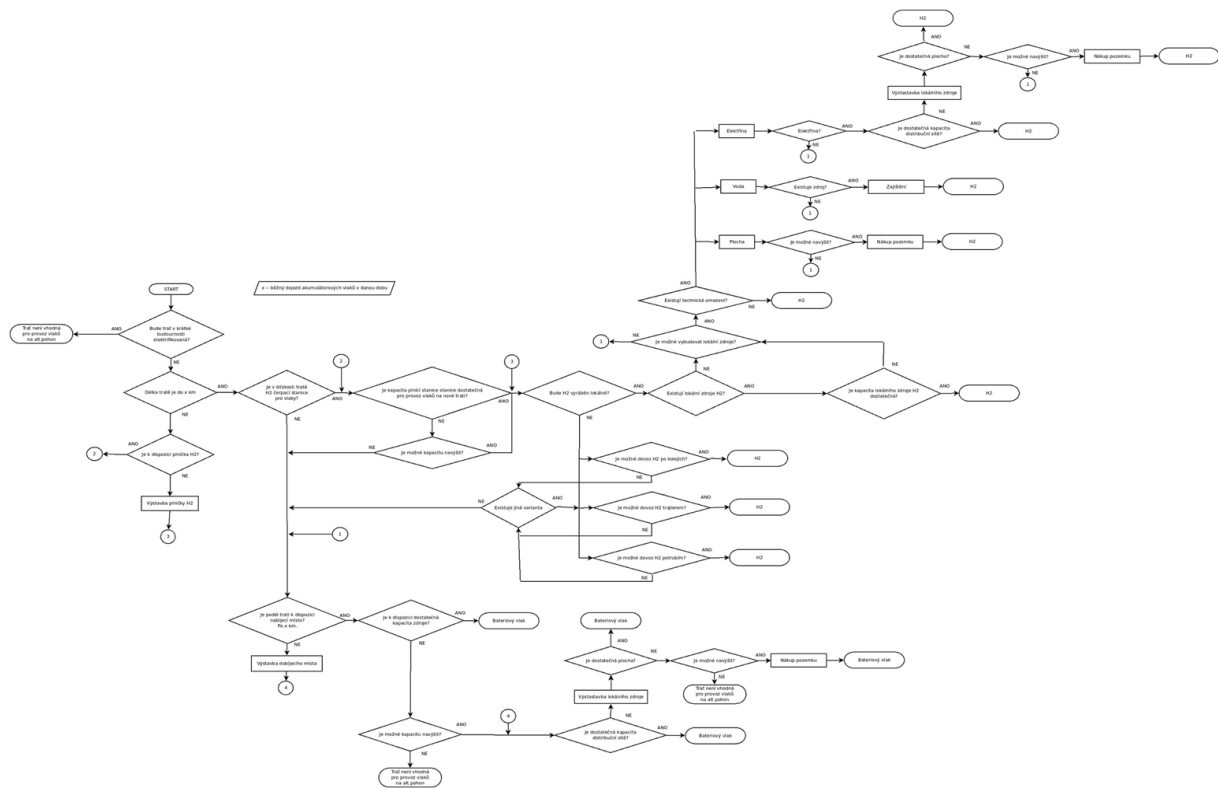
Tento projekt se nezabýval tratěmi, které jsou elektrizované, nebo se jejich elektrizace plánuje v dohledné době.

V rámci projektu proběhly práce na tvorbě matematicko-ekonomického modelu, který umožnil s využitím strategie „Co se stane, když“ vytvořit ekonomicky optimální řešení pro nasazení vhodného druhu pohonu na konkrétní železniční trať. Tento model byl naplněn relevantními daty, které byly získány z jednotlivých řešení tratí.

Vzhledem k tomu, že lze v budoucnu očekávat proměnlivost cen, model s těmito možnostmi počítá. Můžeme předpokládat a definovat jako proměnnou ceny energií pro jednotlivé alternativní pohony, případnou redukci dopravní obslužnosti na některých tratích a další proměnné, které budou ovlivňovat ekonomickou efektivnost nasazení toho kterého druhu pohonu na dané trati.

Pro volbu optimálního řešení přípravy infrastruktury pro alternativní pohony na zamýšlené lince, trati z pohledu technických parametrů byl vytvořen rozhodovací diagram, který postihuje všechny v současnosti relevantní technické specifikace, jež je nutno zahrnout do rozhodovacího procesu. Tento rozhodovací diagram je uveden na obrázku 2.

Je nutné si uvědomit, že technicky není vhodné se omezit pouze na řešení vhodnosti konkrétního alternativního pohonu, ale je nezbytné chápat problém alternativních zdrojů pohonu pro vlakovou dopravu v širším komplexu. Samotná volba zdroje energie pro alternativní pohon je pouze jednou z částí rozhodovacího procesu. Významná je také diskuse nad dostupností energie.



Obr. 2 Rozhodovací diagram [4]

V projektu se se posuzuje, jaký alternativní pohon je pro danou trať vhodný z technického pohledu. V zásadě o tom rozhoduje délka zamýšlené tratě. V neposlední řadě do toho vstupuje i objednatel veřejné dopravy, který má také své strategie a objednává i pohon vozidel. Může být použita i kombinace prosté elektrizace na střídavou trakci a bateriového železničního vozidla. Tato varianta se jeví jako výhodná vzhledem ke strategii Správy železnic, s.o. Do budoucna může dojít v rámci konverze k propojení jednotlivých úseků, a tím pádem k mřížovému napájení. Tato varianta v rámci zavádění alternativních pohonů se dle výsledků z projektu jeví v dnešní době v tomto čase jako ekonomicky výhodnější oproti zavádění vodíkových pohonů.

Typ vodíku	Nejběžnější způsob výroby	Emise
Šedý	Reformace zemního plynu	Více než 36,4 g CO <sub>2</sub> /MJ
Modrý	Reformace zemního plynu + CCS/CCU	Méně než 36,4 g CO <sub>2</sub> /MJ
Tyrkysový	Pyrolýza zemního plynu	Nulové emise CO <sub>2</sub> Vedlejším produktem je C
Zelený	Elektrolýza vody – zdrojem elektřiny jsou obnovitelné zdroje (OZE)	Nulové emise CO <sub>2</sub> Vedlejším produktem je O <sub>2</sub>
Fialový	Elektrolýza vody – zdrojem elektřiny jsou jaderné elektrárny	Nulové emise CO <sub>2</sub> Jaderný odpad
Růžový		
Červený		
Černý	Elektrolýza vody – zdrojem elektřiny jsou uhelné elektrárny	Až 1 kg CO <sub>2</sub> /kWh
Hnědý		
Žlutý	Elektrolýza vody – zdrojem elektřiny jsou fotovoltaické panely	Nulové emise
Bílý	Z přírodních nalezišť	Nulové emise

Tab. 2 Shrnutí jednotlivých barevných označení vodíku, jejich výroba a emise [4]

Pokud v budoucnu bude v dosahu zelený vodík a vodíková plnicí stanice, je vhodné uvažovat o pohonu na vodík, neboť se dá očekávat jednak zefektivnění provozu vodíkové plnicí stanice a dostatečnou opravárenskou základnu pro údržbu těchto vozidel v okolí tratě. Zelený vodík je vodík vyrobený elektrolýzou vody z OZE – viz příložená tabulka 2.

### 3.1. Provoz na baterie

Bateriový provoz je velmi náročný na dostupnost elektrické energie pro nabíjení vlaku. Proto se jeví provozně lepší kombinace provozu bateriového vlaku částečně pod trakcí, aby bylo docíleno nabití za jízdy. Je nutné vybudovat nabíjecí body ve stanicích a zajistit dostatek energie. Pokud není tato energie k dispozici a není možné dodatečně vybudovat nový zdroj, je nutné uvažovat o jiné alternativě.

### 3.2. Provoz na vodík

Vodíkový provoz vlaků především potřebuje zdroj kvalitního, nejlépe zeleného vodíku. V zásadě existují dva způsoby, jak jej zajistit. Buď je možné ho na místo plnění dopravit, nebo je nutné ho vyrobit. Výhodnější se zdá být varianta výroby poblíž místa plnění, velmi však záleží na zdrojích vodíku v okolí a možnostech jeho přepravy.

Technický pohled je sice relativně deterministický, vstupuje do něj ale mnoho proměnných, na něž je třeba brát zřetel. Mnohdy o výhodnosti daného typu pohonu rozhodují spíše situační umístění dané tratě, a nikoli pouze technické parametry. Platnost navrženého rozhodovacího diagramu v budoucnu nezmění zásadní změny parametrů baterií (především jejich energetické hustoty  $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$  případně  $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ) nebo efektivnější výroba vodíku. Zásadní vliv na popsany vývojový diagram může mít existence nové alternativy pro pohon vlaků. Prozatím se nejeví, že by v krátké době taková situace mohla nastat. Pokud se tak stane, může se z popsaného diagramu vycházet a rozšířit ho o další možné větvení.

Při rozhodování se musí brát v úvahu nejen technické možnosti, ale i hledisko ekonomické a environmentální. Před nasazením vlaků s alternativními pohony je také nutné vybudovat patřičnou infrastrukturu, a proto bylo nezbytné do výzkumného projektu zahrnout metodiku rozhodování.

## 4. Příprava infrastruktury pro BEMU

V České republice, je ještě mnoho tratí, kde není plánována elektrizace a jsou vzhledem k jejich parametrům vhodné pro provoz železničních jednotek na bateriový pohon.

Jedno ze základních kritérií pro výběr vhodného alternativního pohonu je délka zamýšlené tratě. Nejedná se sice o jediné hledisko, nicméně je nepřekročitelné. Pro úvahy v tomto dokumentu byla zamýšlena vlaková souprava, která na jedno nabití umožní jízdu vlaku na trati dlouhé maximálně 100 km.

Pro nabíjení souprav jsme počítali s možností nabíjet v úvratěvých stanicích pod trolejí o napětí 25kV střídavých. Toto napětí se sice na tratích severní části ČR nevyužívá, nicméně umožňuje přenášet do hnacího vozidla řádově větší výkon než v případě stejnosměrné trakce 3kV. Technicky je sice možné vytvořit speciálně upravenou trolej pro 3kV stejnosměrné trakce s možností přenosu vyššího výkonu než u standardních trolejí, nicméně i za těchto okolností by toto řešení nedosahovalo parametrů jako u použití střídavého napětí.

Pro kalkulaci v tomto dokumentu jsme počítali s variantou plného nabití vlakové soupravy za maximálně 15 minut. Dle dostupných podkladů o výrobcích již víme, že tato doba bude delší, cca 30–45 minut. Doba dobíjení záleží i na velikosti dobíjecího proudu. Po této době by byla umožněna další jízda vlaku. Podle klasického scénáře by se tedy souprava dobila v úvratěvých stanicích a poté by byla schopna ujet cestu tam a zpět. Toto je typické použití vlakových jednotek u tratí, které navazují na hlavní elektrifikované tratě. V některých případech by tak vlaková souprava mohla projet část trasy pod trolejí a využít možnosti nabíjení i za jízdy. Tím by se eliminovala nepříjemná vlastnost dobíjení pod stejnosměrnou trakcí, kdy nabíjení vlaku trvá násobně déle oproti trakci střídavé.

Níže jsou rozebrány možnosti vytvoření nabíjecích pevných trolejí střídavé trakce o napětí 25kV, a to přímo s využitím distribuční elektrorozvodné sítě o napětí 22kV.

## Železniční stanice Suchdol nad Odrou



Obr. 3 Možné pozice nabíjecích trolejí v místech stání souprav [4]



Obr. 4 Přívod z DTS, ČEZ Distribuce na jičínské nástupiště [4]

Způsob dobíjení z trakčního vedení je další varianta. Při tomto řešení na stejnosměrné hladině 3kV je potřeba zesílení již existujícího trakčního vedení (např. zdvojení trolejového drátu) do doby přechodu na jednotnou napájecí střídavou soustavu 25kV, 50 Hz. Jednotka by se dobíjela přímo z trakčního vedení.





Obr. 5 Dva alternativní přívody na nástupiště pro vlaky ve směru Fulnek a Budišov nad Budišovkou [4]

### Železniční stanice Budišov nad Budišovkou

V Budišově je dostupná v rozumné vzdálenosti linka 22kV, kterou provozuje ČEZ Distribuce. Z důvodu plánovaného víkendového provozu BEMU mohou být dvě varianty řešení:

1. Pevná trolej s kontejnerovou napájecí stanicí 25kV, příkon 2MW



Obr. 6 Nabíjecí stanice společnosti Voltap pro nabíjení bateriových vlaků ve stanici [5]

2. Nabíjecí stojan s kabelem o napětí NN 400 V, 50 Hz a jmenovitém proudu buď 125 A, 63 A, nebo 32 A – pouze na temperování železničních jednotek

Obdobným způsobem se dá postupovat i na dalších tratích a linkách, kde se nepočítá s elektrizací. Kvůli intenzitě provozu na jednotlivých tratích je nutné zvolit dostatečný výkon trakčních dobíjecích stanic tak, aby se baterie v železničních jednotkách při pobytu ve stanici dostatečně nabily.



## 5. Výstupy z projektu

Hlavními výstupy z projektu jsou:

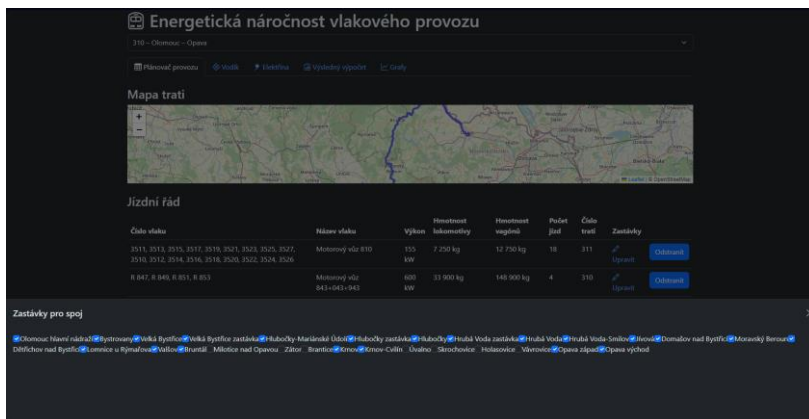
1. Metodika pro pasportizaci železničních tratí určených pro vlaky s alternativními pohony
2. Soubor doporučení, metodických postupů a vzorových modelových instalací

V průběhu řešení projektu proběhly dva odborné semináře, jeden v roce 2022 a druhý v roce 2023. Poslední odborný seminář s přestavením výsledků řešení se konal dne 28.5.2024.

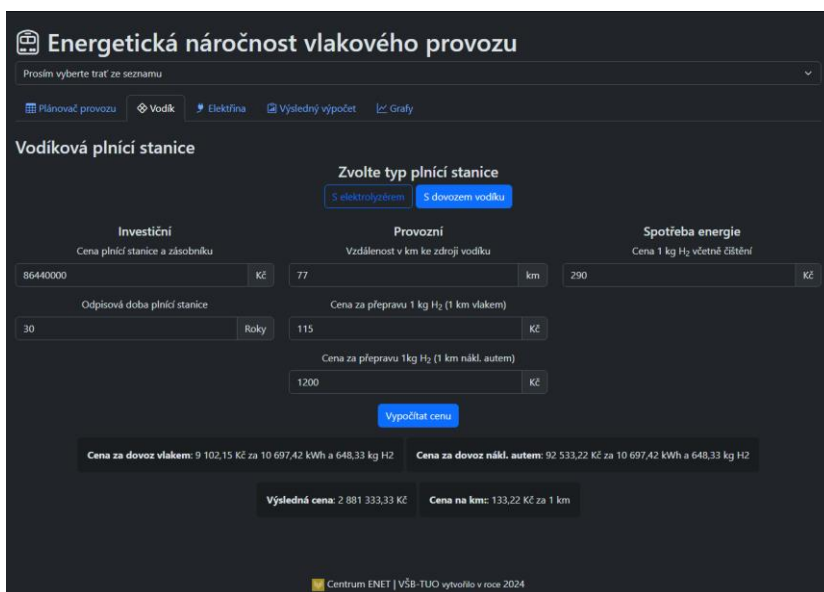
Nad rámec projektu byla vyvinuta softwarová aplikace pro vizualizaci železničních tratí, kterou v rámci projektu vyvinul řešitelský tým. Jejím hlavním smyslem je automatizovat výpočet spotřeby jízdy vlakovou soupravou a vytvořit jednoduché rozhraní pro volbu optimálního pohonu pro danou trať. V hlavní míře se jednalo o činnosti zaměřené na dosažení hlavních výstupů projektu, kterými jsou metodika a soubor technických doporučení. Softwarová aplikace je nástroj, který může sloužit k porovnání energetické náročnosti jednotlivých alternativních pohonů na konkrétní trati a dále porovnává investiční náklady a provozní náklady na konkrétní trati při použití jednotlivých pohonů na vozidlech.

### *5.1. Metodika pro pasportizaci železničních tratí určených pro vlaky s alternativními pohony*

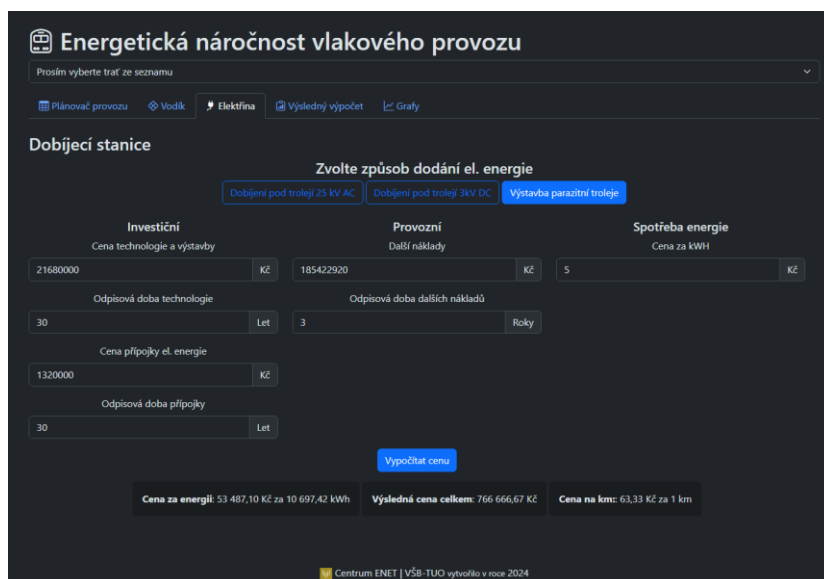
Cílem metodiky bylo stanovit postupy, které jsou nutné pro zjednodušené a rychlé rozhodování o nasazení vhodného alternativního provozu na vybrané železniční tati. Metodika je nezbytná pro prvotní rozhodování v resortu dopravy, zejména Ministerstvu dopravy, objednavatelů veřejné dopravy a Správy železnic. Součástí metodiky je webová aplikace, která je nástrojem pro kvalifikovaný odhad investičních a provozních nákladů pro provoz vlaků na alternativní pohon na konkrétní trati. Jedním z nejobtížnějších částí procesu odhadu nákladů na provoz vlaků na alternativní pohon bylo nutnost určit energetickou náročnost jízdy vlaku na konkrétní trati. Proto webová aplikace pracuje s reálným profilem trati a obsahuje v sobě fyzikální modely jednotlivých vlakových jednotek. Jednotlivé modely byly v průběhu řešení validovány nad reálnými daty a je tak možné konstatovat, že jejich výsledky budou velmi podobné realitě. Aplikace se skládá z pěti záložek, jak je vidět na obr. 7 až obr. 11. V první záložce, obr.7, bude uživatel definovat konkrétní trať a dále bude definovat jednotlivé soupravy, které bude chtít na trati provozovat. U každé soupravy bude zadáno, jaký úsek tratě bude projíždět a v jakých zastávkách bude zastavovat. Nad zadanými daty se poté provede simulace jejíž výsledek bude definovat celkovou potřebu energie na provoz definovaných vlakových souprav na dané trati. Další záložka definuje typ provozu, buď vodíkový, nebo bateriový. Na obr. 8 je zadána energetická náročnost vlakového provozu HMU. V položce, která je nazvaná „*Elektrina*“ jsou specifikovány parametry dobíjecích stanic ve všech dostupných variantách – Obr. 9. V záložce „Výsledné výpočty“ jsou znázorněny číselné výsledky ze simulací. V záložce grafy jsou znázorněny jak provozní náklady, tak investiční náklady na vybudování infrastruktury – viz obr. 10 a 11. V zadání do webové aplikace je možné některé vstupní parametry dynamicky měnit a tím bude moci uživatel sledovat, jak jednotlivé vstupní parametry ovlivňují jednotlivé výstupy a poté celkovou bilanci.



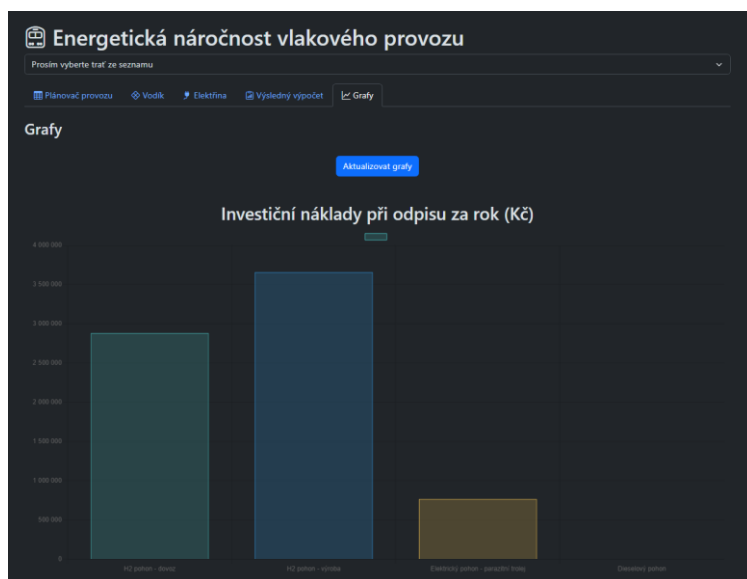
Obr. 7 Energetická náročnost vlakového provozu (výběr parametrů) [4]



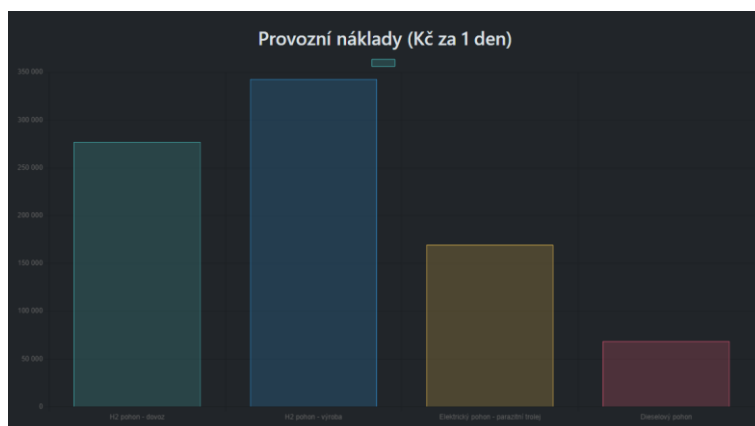
Obr. 8 Energetická náročnost vlakového provozu HMU [4]



Obr. 9 Energetická náročnost vlakového provozu BEMU [4]



Obr. 10 Grafické znázornění výsledků (investiční náklady na vybudování infrastruktury) [4]



Obr. 11 Grafické znázornění výsledků (provozní náklady jak železniční jednotky) [4]

## 6. Závěr

Cílem metodiky v rámci bylo stanovení postupů, které jsou nutné pro zjednodušené a rychlé rozhodování o nasazení vhodného alternativního provozu na vybrané železniční tati. Metodika a webová aplikace byly vyvinuty nad rámec projektu, což může být vhodným nástrojem pro objednavatele vlakové dopravy (Ministerstvo dopravy, jednotlivé kraje) i pro Správu železnic. Obsahuje soubor doporučení a v neposlední řadě Analýzu nákladů a přínosů.

## Literatura

- [1] Dopravní politika České republiky pro období 2021 – 2027 s výhledem do roku 2050. Zdroj: <https://www.mdcz.cz/getattachment/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Vlada-schvalila-dopravni-politiku-do-roku-2027-Pr/III-DP-Navrh.pdf.aspx>
- [2] Mapová data Správy železnic, státní organizace
- [3] Kraje v rámci ČR – poptávané jednotky
- [4] VŠB TUO Centrum energetických a enviromentálních technologií
- [5] <https://www.railtech.com/rolling-stock/2021/10/19/fast-charging-for-battery-trains-successfully-tested-in-germany/?gdpr=accept>

## Seznam obrázků

- Obr. 1 Varianty alternativních pohonů, popřípadě jejich kombinace [4]
- Obr. 2 Rozhodovací diagram [4]
- Obr. 3 Možné pozice nabíjecích trolejí v místech stání souprav [4]
- Obr. 4 Přívod z DTS, ČEZ Distribuce na jičínské nástupiště [4]
- Obr. 5 Dva alternativní přívody na nástupiště pro vlaky ve směru Fulnek a Budišov nad Budišovkou [4]
- Obr. 6 Příklad pevné troleje s kontejnerovou napájecí stanicí
- Obr. 7 Energetická náročnost vlakového provozu (výběr parametrů) [4]
- Obr. 8 Energetická náročnost vlakového provozu HMU [4]
- Obr. 9 Energetická náročnost vlakového provozu BEMU [4]
- Obr. 10 Grafické znázornění výsledků (investiční náklady na vybudování infrastruktury)
- Obr. 11 Grafické znázornění výsledků (provozní náklady jak železniční jednotky) [4]

## Seznam tabulek

- Tab. 1 Předpokládaný počet nových jednotek na alternativní pohon [3]
- Tab. 2 Shrnutí jednotlivých barevných označení vodičku, jejich výroba a emise [4]

## Lektorovali:

doc. Dr. Ing. Roman Štěrbá, MBA, Fakulta dopravní ČVUT v Praze

Ing. Jaromír Hrubý, Správa železnic, s.o.