

---

# Simulačná analýza trakčnej/brzdnej práce a využiteľnosť trakčnej charakteristiky pri znalosti energetických parametrov trakčného pohonu koľajového vozidla

---

## Lukáš Čajkovič, Ing., PhD.\*

Katedra dopravnéj a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline.  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.  
E-mail: lukas.cajkovic@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2570.

## Jozef Harušinec, Ing., PhD.

Katedra dopravnéj a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline.  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.  
E-mail: jozef.harusinec@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2570.

## Matěj Pácha, Ing., PhD.

Katedra elektroenergetiky a elektrických pohonov, Fakulta elektrotechniky a informačných technológií,  
Žilinská univerzita v Žiline.  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.  
E-mail: matej.pacha@feit.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2156.

## Branislav Rácek, Ing.

Železničná spoločnosť Slovensko, a. s.,  
Odbor riadenia strategických projektov, Oddelenie strategického rozvoja,  
Pri Bitúnku 2, 040 01 Košice 1.  
E-mail: racek.branislav@slovakrail.sk

## Simulation analysis of traction/braking work and usability of traction characteristics with knowledge of the traction energy parameters of a railway vehicle

**Abstract:** This paper focuses on analyzing the driving characteristics of railway vehicles on selected tracks. The aim is to compare the vehicle's driving parameters when changing the propulsion system. The introductory part of the article discusses the transition from diesel to hydrogen propulsion, including a mention of modern vehicles using this type of propulsion. Furthermore, a specific railway vehicle with the potential for conversion to hydrogen propulsion is introduced. The main part of the article deals with the computational analysis, encompassing the characteristics of the necessary input parameters of the current propulsion system and the results of the vehicle's driving analysis. Subsequently, the vehicle's parameters were defined after the conversion to hydrogen propulsion, and an analysis was performed with these new parameters. The main goal was to compare the parameters of the current propulsion system with those of hydrogen propulsion on selected tracks.

**Keywords:** driving analysis, railway vehicle, conversion to hydrogen propulsion.

---

## ÚVOD

Pre pohon dopravných prostriedkov je nevyhnutná energia, získavaná buď to z tepelnej premeny paliva alebo ako priamy zdroj v podobe elektrickej energie. Práve prvý variant je v súčasnej doprave stále dominantný. Energia obsiahnutá v uhľíkových ropných palivách sa pri horení mení na mechanickú

prácu, pričom dochádza ku chemickej reakcii, ktorej produktom je okrem iných škodlivín, oxid uhličitý uvoľňovaný do ovzdušia. Z tohto hľadiska vyplýva nutnosť neustáleho vývoja dopravných prostriedkov za účelom zníženia podielu škodlivín vylúčených do ovzdušia, nielen počas prevádzky, ale aj z hľadiska

výroby, distribúcie, prípadne pri skladovaní pohonných hmôt.

V súčasnosti sa vo veľkom množstve v doprave zavádzajú alternatívne druhy palív a pohonu v podobe elektro mobility, vodíkových palivových článkov a pod.

Dominantným odvetvím z hľadiska využívania elektrickej energie je práve železničná doprava, pričom najefektívnejšou cestou k znižovaniu emisií je elektrifikácia. V prípade, že úplná elektrifikácia nie je možná, respektíve jej zavedenie je finančne náročné a pre určité druhy tratí nerentabilné, je žiadúce nájsť iné vhodné technologické riešenia, resp. zdrojov pohonu. Jednou z možností je aj prestavba súčasných vozidiel využívajúcich dieselový pohon na pohon s vodíkovými palivovými článkami.

Tento príspevok prináša štúdiu/simulačné analýzy o možnosti nahradiť súčasný dieselový pohon za pohon vodíkovými palivovými článkami na železničnej motorovej jednotke r. 861 s cieľom vyšetriť jazdné vlastnosti pôvodnej a modifikovanej koncepcie vozidla na vybraných (špecifických) tratiach SR, ktorých parametre boli v skoršej fáze výskumu získané experimentálnymi meraniami.

## 1 ANALÝZA PROBLEMATIKY

V súčasnej dobe koľajové vozidlá využívajúce vodíkový pohon disponujú technológiou palivového článku a teda produkciou elektrickej energie z vodíku. Najväčším prínosom sú takmer nulové emisie vylučované do ovzdušia počas prevádzky, avšak nevýhodou sú tepelné straty spotrebované na chladenie.

V prípade konštrukčnej prestavby vozidla z koncepcie dieselového pohonu na pohon s vodíkovými palivovými článkami je potrebné prihliadať na mnohé dôležité aspekty, ako sú napr. maximálny dojazd, využiteľnosť trakčnej charakteristiky a taktiež vybudovanie novej infraštruktúry plnenia a skladovania paliva

a neposlednom rade prevádzka a údržba vozidiel s takýmto zdrojom pohonu.

Významní výrobcovia koľajových vozidiel pracujú s koncepciou vodíka ako primárnym pohonom koľajových vozidiel, a poznáme ich ako *Alstom Coradia Lint*, *Projekt Breeze (Alstom + Eversholt Rail)*, *Mireo Plus H (Siemens)*, *Flirt H<sub>2</sub> (Stadler)*. Všetky uvedené projekty sa vyznačujú rovnakým koncepčným parametrom a to zástavbou vodíkového pohonu do 2-dielnej súpravy.

V našom prípade v porovnaní s ostatnými výrobcami sa jedná o čiastočne nízko podlažnú diesel-motorovú 3-dielnu jednotku určenú na prepravu osôb na regionálnych neelektrifikovaných tratiach (obr. 1). Koncové časti sú nositeľom pohonu a teda sú vybavené hnacími podvozkami a so strednou časťou sú vzájomne spojené hnanými (*Jacobsovými*) podvozkami.

Vybrané základné technické parametre diesel-motorovej jednotky sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1. Technické parametre diesel-motorovej jednotky r. 861

Rozchod [mm]	1435
Max. rýchlosť [km.h <sup>-1</sup> ]	140
Obsaditeľnosť cestujúcich	177
Dĺžka cez nárazníky [mm]	58 800
Hmotnosť prázdnej jednotky [kg]	120 000
Hmotnosť plne obsadenej jednotky [kg]	142 000
Najmenší menovitý polomer [m]	150
Výkon spaľovacích motorov [kW]	2x588

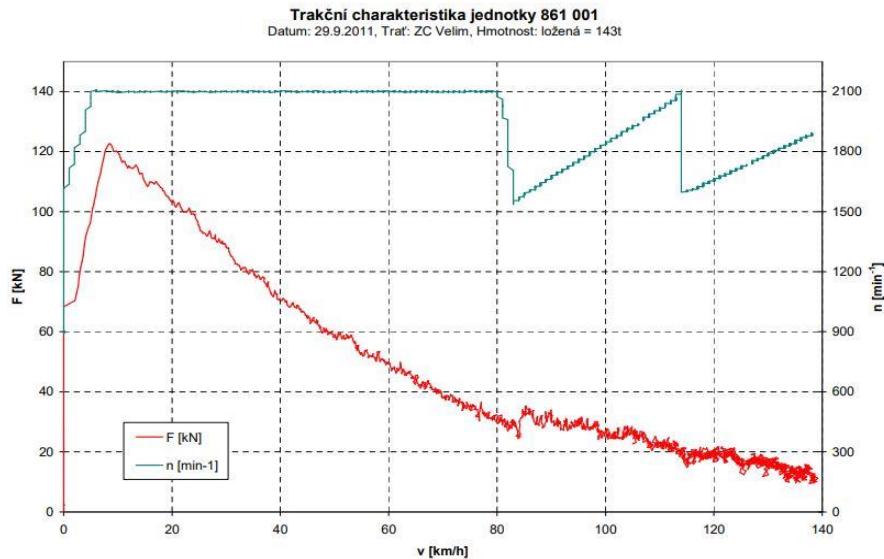
Dôležitým parametrom z hľadiska posudzovania pohonu a jeho zámery je výkon samotnej zostavy. Jednotka s vodíkovou technológiou pohonu musí dosahovať približne rovnaké jazdné parametre ako súčasne inštalované pohonné ústrojenstvo a s tým súvisí aj zachovanie jazdnej dynamiky (dosiahnutie približne rovnakého priebehu trakčnej



Obr. 1. Motorová jednotka r. 861 (zdroj: <https://twitter.com/SamuelsramekS/status/1249090462310334477>)

charakteristiky). Experimentálne získaný priebeh trakčnej charakteristiky súčasného pohonu je uvedený na obr. 2.

$$O_s = \pm s \left[ \frac{\text{N}}{\text{kN}} \right], \quad (2)$$



Obr. 2. Experimentálne získaný priebeh trakčnej charakteristiky [1]

## 2 VÝPOČTOVÁ ANALÝZA JAZDY MOTOROVEJ JEDNOTKY SÚČASNEJ KONCEPCIE POHONU NA VYBRANÝCH TRATIACH

Pre porovnanie jazdných vlastností oboch koncepcií železničnej jednotky sme vykonali sériu simulačných výpočtov, ktoré sa zameriavali predovšetkým na rýchlosti, trakčnú silu, jazdné odpory a využiteľnosť trakčnej charakteristiky v presne definovaných traťových úsekoch.

Simulačné výpočty boli realizované vo výpočtovom prostredí *Matlab Simulink*. Z hľadiska simulácie je nevyhnutné transformovať grafické priebehy na tabuľkové definovanie vstupných parametrov vozidla, v tomto prípade:

- trakčná charakteristika,
- brzdná charakteristika,
- veľkosti odporov.

Ďalej je potrebné pre správnosť výpočtu presne definovať ďalšie vstupné technické parametre, akými sú geometrické rozmery, maximálna brzdná sila a príkon pomocných zariadení.

V prípade tratí je potrebné presne definovanie parametrov oblúkov a stúpaní. Pri výpočtoch jazdných odporov vychádzame z experimentálne získaných údajov. Odpor z oblúka vypočítame ako:

$$O_r = \frac{650}{R} \left[ \frac{\text{N}}{\text{kN}} \right], \quad (1)$$

kde  $R$  predstavuje hodnotu polomeru oblúka v [m].

Odpor zo stúpania vypočítame ako:

kde  $s$  je  $-s$  predstavuje klesanie,  $+s$  stúpanie.

V prípade, že na trati sa nachádza tunel, je potrebné rovnako tento odpor zakomponovať do vstupných parametrov. Hodnota tohto odporu sa z hľadiska charakteru trate (stúpania respektíve klesania) pripočíta alebo odpočíta od hodnoty odporu stúpania na danej vzdialenosti vybraného traťového úseku. Odpor z tunela v prípade jednokoľajného tunela uvažujeme nasledovne:

$$O_t = 2 \left[ \frac{\text{N}}{\text{kN}} \right]. \quad (3)$$

Hodnota odporu v prípade dvojkolejného tunela bude:

$$O_t = 1 \left[ \frac{\text{N}}{\text{kN}} \right]. \quad (4)$$

Ďalšími potrebnými vstupnými parametrami sú:

- rýchlostné parametre trate,
- tabuľka zastávok.

Všetky uvedené traťové parametre sú definované ako vzdialenosť vzhľadom na vopred zvolený nultý bod vybranej trate.

Zásadným faktorom posúdenia zámery pohonu sú parametre tratí. V tomto prípade sme vychádzali z definície využívania vozidla na rôznych vybraných traťových úsekoch na Slovensku od partnera ZSSK. Z dôvodu obmedzenia rozsahu príspevku prezentujeme výsledky simulácií z dvoch traťových úsekov (profilovo výrazne odlišných). Sú to:

- *Prievidza - Horná Štubňa* (trať č. 145),

- *Prievidza - Topoľčany - Nitra* (trať č. 140).

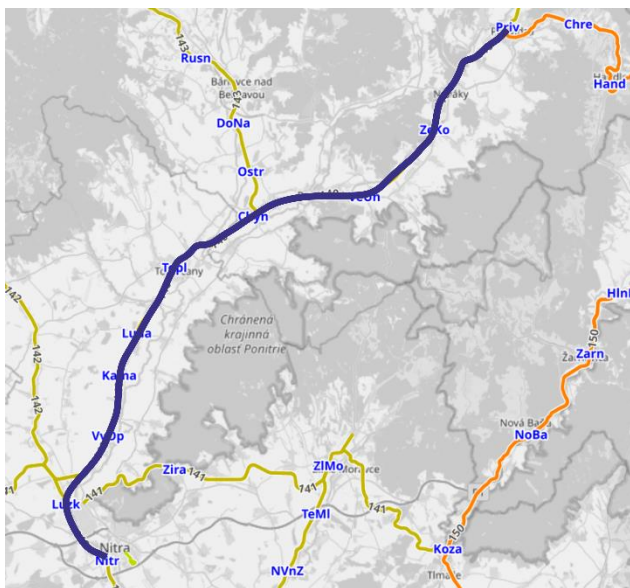
Prvý úsek (obr. 3) je charakteristický nižšou traťovou rýchlosťou, avšak vyznačuje sa značnými stúpaniami a tunelmi pričom trať prekonáva viaceré pohoria. Tento úsek sme vybrali práve z hľadiska predpokladu maximálneho využitia trakčnej charakteristiky pri daných stúpaniach.



Obr. 3. Profil trate traťový úsek č. 145

Druhý zvolený traťový úsek (obr. 4) sme vybrali z dôvodu dosahovania vyšších rýchlostí a to maximálne 100 km·h<sup>-1</sup> na rovinnom charaktere trate s minimálnymi horizontálnymi zmenami.

Všetky simulačné výpočty sme uvažovali pri hmotnosti vychádzajúcej z hmotnosti plne obsadeného vozidla.



Obr. 4. Profil trate traťový úsek č. 140

## 2.1 Výsledky simulačnej analýzy vozidla so súčasnou koncepciou pohonu

Na základe definovaných vstupných parametrov sme pristúpili k samotnej simulácii jazdy jednotky súčasnej koncepcie pohonu na vybraných tratiach. Ako bolo spomenuté, vykonanie simulácie súčasného pohonu je nevyhnutné z hľadiska vzájomného porovnania jazdy vozidla na špecifických tratiach. V prípade samotnej simulácie je pred konečným výpočtom potrebné ešte definovanie jazdných parametrov podľa tab. 2.

Tab. 2. Vstupné jazdné parametre

Hodnota maximálneho zrýchlenia jazdnej súpravy [m·s <sup>-2</sup> ]	0,5
Hodnota maximálneho spomalenia jazdnej súpravy [m·s <sup>-2</sup> ]	0,5
Hodnota koeficientu adhézie [-]	0,33

Vzhľadom na zadané vstupné parametre získame nasledujúce graficky spracované výsledky:

- graf rýchlosti,
- graf jazdných odporov,
- využiteľnosť trakčnej charakteristiky.

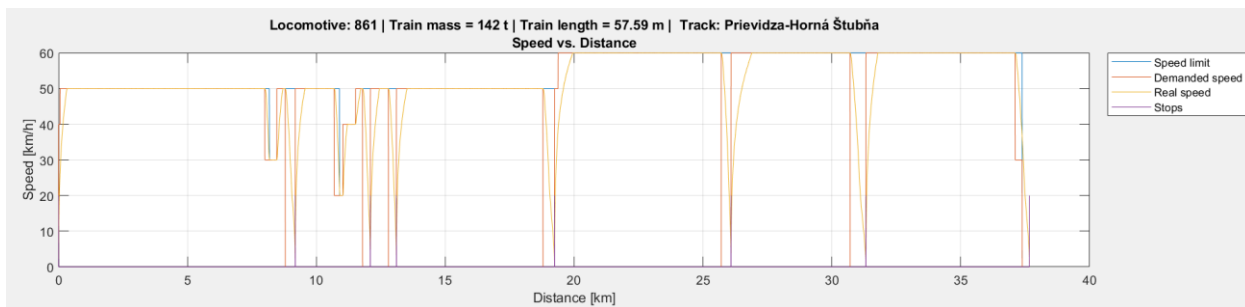
Grafické zobrazenie rýchlosti a jazdných odporov je vyobrazené vzhľadom na prejdenú vzdialenosť voči zvolenému nultému bodu trate. Krivka reálnej rýchlosti teda predstavuje aktuálnu rýchlosť vozidla vzhľadom na prejdenú vzdialenosť. Priebeh tejto krivky je pre porovnanie jednotlivých typov pohonu nevyhnutný, nakoľko nová koncepcia pohonu musí dosiahnuť približné rovnaké parametre rozbehu ako súčasná.

Graf jazdných odporov zobrazuje aktuálnu hodnotu odporov, ktoré musí vozidlo pri jazde požadovanou rýchlosťou prekonať. Taktiež je v danom grafe vykreslená hodnota aktuálnej simulovanej trakčnej sily potrebnej na dosiahnutie požadovanej rýchlosti. Graf využiteľnosti trakčnej charakteristiky vykresľuje priebeh trakčnej charakteristiky jednotky definovanej experimentálne získanými vstupnými parametrami. V grafe je následne vykreslená využiteľnosť trakčnej charakteristiky pri jazde vozidla medzi jednotlivými zastávkami.

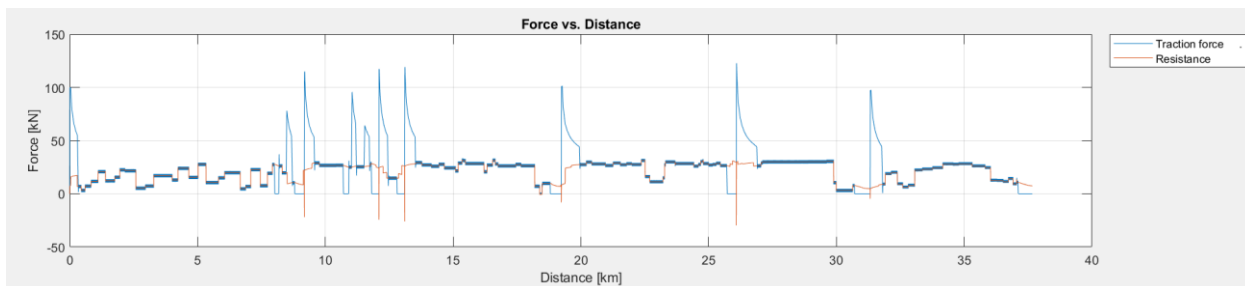
Vypočítané výsledky na vybranom traťovom úseku *Prievidza - Horná Štubňa* sú vyobrazené na obr. 5 až obr. 7.

Zo získaných výsledkov simulačnej jazdy súčasného pohonu na vybranej trati môžeme vidieť, že vozidlo v podmienkach maximálnej obsadenosti cestujúcimi pri značne členitom profile trate dosiahne požadovanej traťovej rýchlosti pri každom prejazde medzi jednotlivými zastávkami. Súčasný pohon je teda v prípade využitia na tratiach so značnými stúpaniami avšak nižšími rýchlosťami vyhovujúci v plnom rozsahu, čo je dôležitý parameter v prípade následného vzájomného porovnania jednotlivých typov pohonu.

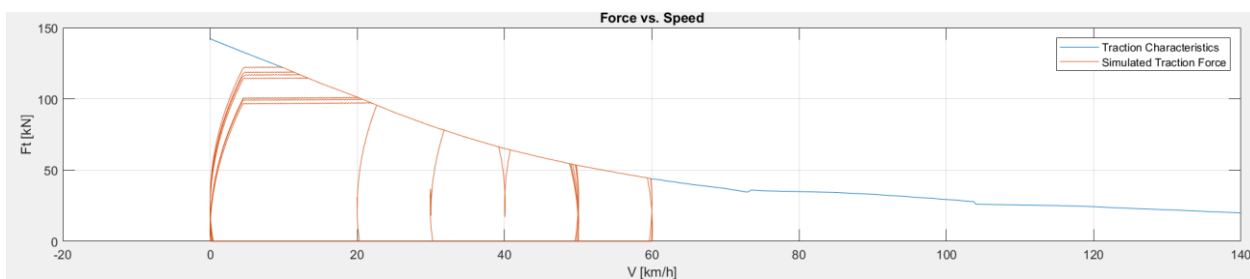
Pri charaktere trate s vyššou rýchlosťou a rovinným profilom sme zvolili traťový úsek *Topoľčany - Nitra*, pričom maximálna dosahovaná traťová rýchlosť na tomto úseku činí 100 km·h<sup>-1</sup>. Tento úsek sme vybrali práve z dôvodu porovnania dosiahnutia najvyšších traťových rýchlostí vozidla s jednotlivými typmi pohonu. Výstupy sú graficky zobrazené na obr. 8 až obr. 10. Môžeme rovnako, ako v predchádzajúcom



Obr. 5. Grafické zobrazenie priebehu rýchlosti pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 s dieselovým pohonom na trati *Prievdza - Horná Štubňa*



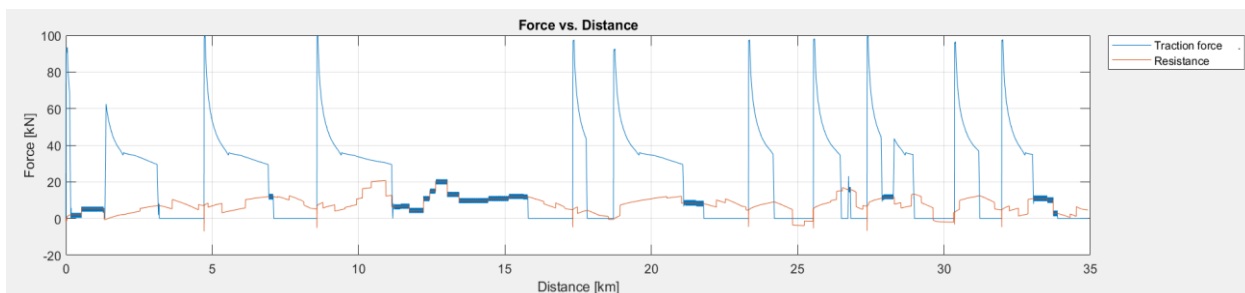
Obr. 6. Grafické zobrazenie priebehu trakčnej sily a jazdných odporov pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 s dieselovým pohonom na trati *Prievdza - Horná Štubňa*



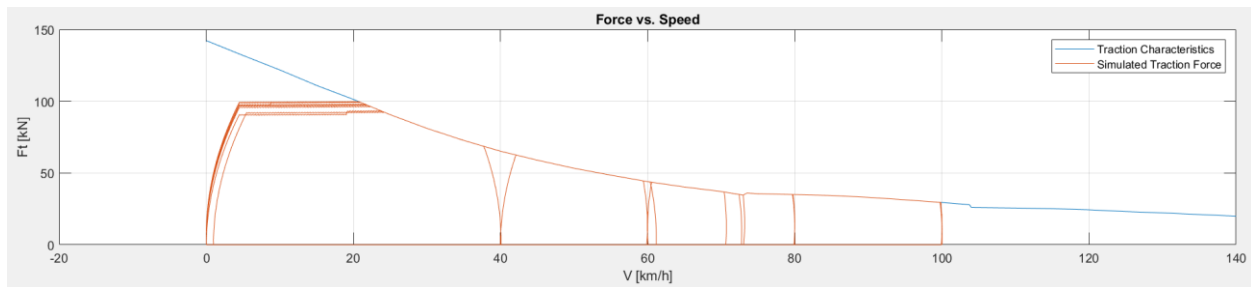
Obr. 7. Grafické zobrazenie využiteľnosti trakčnej charakteristiky pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 s dieselovým pohonom na trati *Prievdza - Horná Štubňa*



Obr. 8. Grafické zobrazenie priebehu rýchlosti pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 s dieselovým pohonom na trati *Topoľčany - Nitra*



Obr. 9. Grafické zobrazenie priebehu trakčnej sily a jazdných odporov pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 s dieselovým pohonom na trati *Topoľčany - Nitra*



Obr. 10. Grafické zobrazenie využiteľnosti trakčnej charakteristiky pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 s dieselovým pohonom na trati Topoľčany - Nitra

prípade pozorovať, že vozidlo na danom úseku dosiahne požadovanú rýchlosť medzi jednotlivými zastávkami. Z tohto hľadiska je súčasný typ na vybranom charaktere trate rovnako vyhovujúci ako v predchádzajúcom prípade.

### 3 VÝPOČTOVÁ ANALÝZA JAZDY MODIFIKOVANÉHO VOZIDLA NA POHON S VODÍKOVÝMI PALIVOVÝMI ČLÁNKAMI NA VYBRANÝCH TRATIACH

V prípade simulácie jazdy železničnej jednotky (vozidla) s pohonom na vodíkové palivové články sme vychádzali z predpokladu zámény sústavy pohonu od spaľovacieho motora za pohon pomocou asynchrónneho motora potrebného menovitého výkonu tak, ako definoval partner ŽOS Vrútky.

V tomto prípade je nevyhnutné zmeniť vstupné parametre motorovej jednotky v podobe trakčnej charakteristiky. Vychádzame z požiadavky výkonu pripadajúceho na jeden hnací podvozok na úrovni  $P_{em} = 400$  kW. V prípade použitia asynchrónneho trakčného motora uvažujeme, že motor poskytuje konštantnú hodnotu výkonu v celom rozsahu otáčok. Priebeh trakčnej charakteristiky potom pre dané rýchlosti vypočítame podľa nasledujúceho vzťahu:

$$F_{th2} = \frac{P_{em} \cdot 2}{v} \text{ [kN]}, \quad (5)$$

kde  $P_{em}$  predstavuje výkon elektromotora hnacieho podvozku,

$v$  - aktuálnu rýchlosť vozidla.

Pri tvorbe priebehu trakčnej charakteristiky je potrebné uvažovať o obmedzení maximálnej trakčnej sily na medzi adhézie. Z dostupných parametrov vozidla sme maximálnu trakčnú silu na medzi adhézie určili ako:

$$F_{amax} = G_{hmacnap} \cdot 2 \cdot \mu \text{ [kN]}, \quad (6)$$

kde  $G_{hmacnap}$  predstavuje predpokladanú tiaž pripadajúcu na hnaciu nápravu,

$\mu$  je uvažovaný súčiniteľ adhézie.

Výsledná podoba vypočítanej trakčnej charakteristiky je vyobrazená na obr. 11.

V prípade zmeny pohonu a teda zástavby samotného pohonu s vodíkovým palivovým článkom musíme uvažovať s dôležitou premennou a tou je zmena hmotnosti a jej rozloženie na vozidle. Jednotlivé komponenty súčasného pohonu je potrebné odstrániť a nahradiť ich novými komponentami (schematicky zobrazené na obr. 12). Z porovnania rozloženia komponentov jednotlivých systémov vyplýva, že pri zástavbe pohonu s vodíkovým palivovým článkom je potrebné umiestniť podstatné množstvo komponentov na strechu vozidla. Taktiež možno vidieť, že v porovnaní s dieselovým pohonom sa jedná o zložitejší systém skladajúci sa z väčšieho počtu komponentov. V tomto prípade musíme uvažovať aj o úmernom náraste hmotnosti motorovej jednotky.

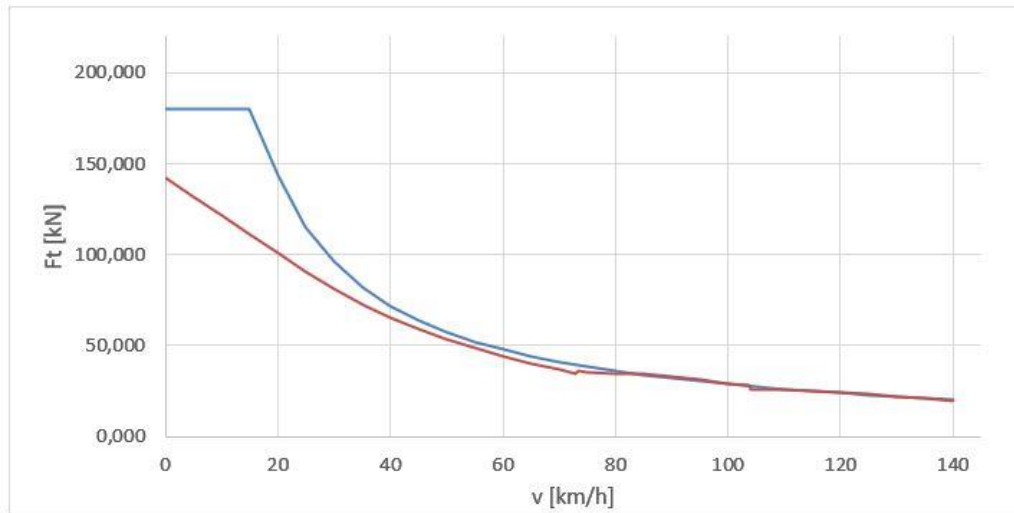
#### 3.1 Výsledky simulačnej analýzy vozidla s novou koncepciou pohonu

V prípade samotnej prestavby je v súčasnej fáze náročné presne určiť celkovú hmotnosť vozidla po úprave a teda sme pristúpili k simulácii jazdy pre rôzny percentuálny nárast hmotnosti. Výsledky sú zobrazené na obr. 13 až obr. 15 (traťový úsek s členitým charakterom), obr. 16 až obr. 18 (traťový úsek s vyššou rýchlosťou).

V prípade výsledkov simulácie jazdy motorovej jednotky s vodíkovým palivovým článkom, sme vykreslili z hľadiska porovnania grafické zobrazenia priebehu rýchlosti pri danom percentuálnom náraste hmotnosti.

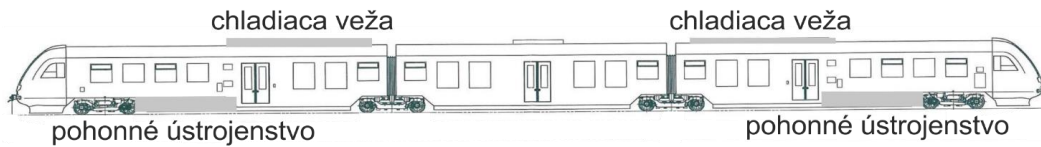
Pri simulačnej jazde po trati členitého charakteru (obr. 13 až obr. 15) môžeme vidieť, že vozidlo bez problémov dosiahne požadovanej traťovej rýchlosti pri nezmenenej hmotnosti (obr. 13), ale aj pri náraste hmotnosti o 5 % respektíve 10 %.

Pri simulácii na trati s charakterom vyšších rýchlostí vidíme, že v prípade uvažovania vozidla s pohonom na vodíkový palivový článok a nezmenenej hmotnosti (obr. 16) toto vozidlo dosiahne podobného priebehu, ako v prípade pohonu dieselového, čo vychádza aj zo samotného porovnania jednotlivých trakčných charakteristík na obr. 11. Avšak pri náraste hmotnosti môžeme vidieť, že na určitých traťových úsekoch motorová jednotka nie je schopná dosiahnuť požado-



Obr. 11. Priebek trakčnej charakteristiky vozidla s pôvodným pohonom (spodná krivka) a s pohonom na vodič (horná krivka)

### Koncepcia pohonu so spaľovacím motorom



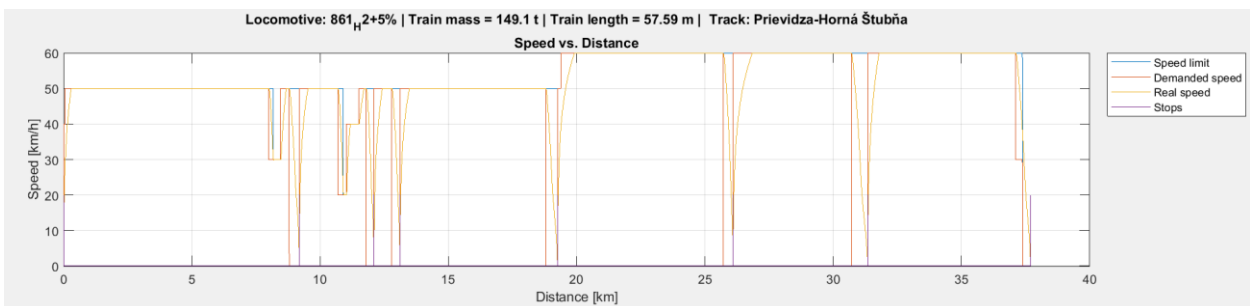
### Koncepcia pohonu s vodíkovým palivovým článkom



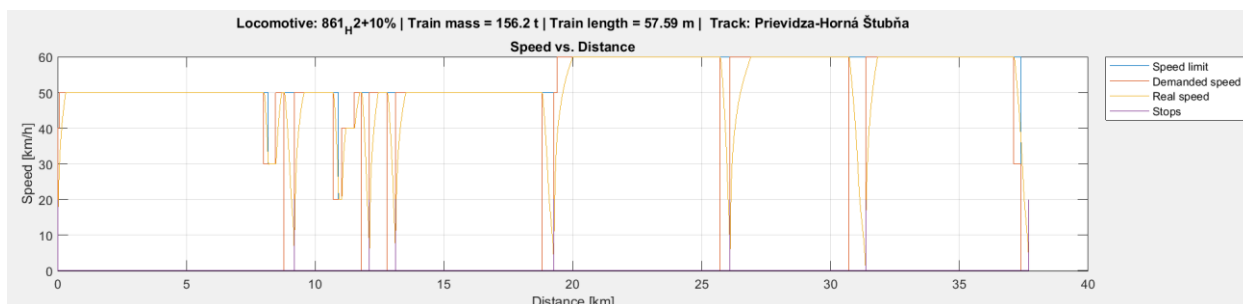
Obr. 12. Porovnanie rozloženia komponentov jednotlivých typov pohonu



Obr. 13. Grafické zobrazenie priebehu rýchlosti pri simuláčnej jazde motorovej jednotky 861 s vodíkovým palivovým článkom na trati Prievidza - Horná Štubňa



Obr. 14. Grafické zobrazenie priebehu rýchlosti pri simuláčnej jazde motorovej jednotky 861 s vodíkovým palivovým článkom na trati Prievidza - Horná Štubňa, pri hmotnostnom náraste 5 %



Obr. 15. Grafické zobrazenie priebehu rýchlosti pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 s vodíkovým palivovým článkom na trati *Prievidza - Horná Štubňa*, pri hmotnostnom náraste 10 %



Obr. 16. Grafické zobrazenie priebehu rýchlosti pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 s vodíkovým palivovým článkom na trati *Topoľčany - Nitra*



Obr. 17. Grafické zobrazenie priebehu rýchlosti pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 s vodíkovým palivovým článkom na trati *Topoľčany - Nitra*, pri hmotnostnom náraste 5 %



Obr. 18. Grafické zobrazenie priebehu rýchlosti pri simulačnej jazde motorovej jednotky 861 vodíkovým palivovým článkom na trati *Topoľčany - Nitra*, pri hmotnostnom náraste 10 %

vanej traťovej rýchlosti (obr. 17 až obr. 18). Z tohto dôvodu je nutné hľadať ďalšie možnosti na zníženie celkovej hmotnosti modifikovanej jazdnej súpravy.

## ZÁVER

Prezentovaný výskum je náročný nielen z pohľadu objemu prác, ale najmä presná špecifikácia parametrov a faktorov, ktoré sa v reálnej prevádzke objavujú. Počas tejto fázy sme prostredníctvom

simulačných analýz overovali koncept zmeny pohonu trakčnej jednotky a jeho vplyv na základné jazdné charakteristiky a energetické bilancie v širokom pásme prevádzkových režimov.

Nakoľko dané vozidlo je prevádzkované na mnohých tratiach na SR, tak v príspevku prezentujeme výsledky pre dva charakteristické úseky. Účelovo sme vybrali dve profilovo odlišné trate. Prvý, úsek s členitým profilom trate pri nižších dosahovaných



traťových rýchlostiach, pri ktorom vozidlo prekonáva viaceré stúpania a taktiež sa na tomto úseku nachádzajú aj viaceré tunely. Druhý úsek, trať rovinného profilu, kde vozidlo štandardne dosahuje najvyššie traťové rýchlosti. Na základe definovaných vstupných parametrov sme vykonali simulačné výpočty, pričom sme získali výsledné jazdné parametre potrebné pre porovnanie jazdy vozidla s pôvodným zdrojom pohonu a pohonu s vodíkovými palivovými článkami.

### **Pod'akovanie**

*„Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Konceptia, bezpečnosť a súvisiaci priemyselný výskum náhrady dieselového pohonu za pohon s vodíkovým palivovým článkom v diesel motorových jednotkách radu 861 (kód projektu v ITMS2014+: 313011BVC2), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“*

### **LITERATÚRA**

- [1] Interné materiály a štúdie spoločnosti ŽOS Vrútky, a.s. obsahujúce koncepčné a konštrukčné parametre vozidla.
- [2] Výstupy z experimentálnych meraní vybraných traťových úsekov SR spracované do detailných parametrov pre potreby simulačných výpočtov.