

# Koncepcia a konštrukčný návrh hlavných pohonných uzlov pri výmene dieselového pohonu za elektrický s vodíkovými palivovými článkami pre DMJ r. 861

Ján Krško, Ing.\*

ŽOS Vrútky a.s.

Dielenská Kružná 2, 038 61 Vrútky.

E-mail: cesnekdu@zos-vrutky.sk, Tel.: + 421 434205310

## Concept and structural design of the main drive units when replacing a diesel drivetrain by an electric one with hydrogen fuel cells for DMU r. 861

**Abstract:** The subject of the paper is an assessment of the possible replacement of the original diesel hydrodynamic drive of the 861 series units with hydrogen fuel cell propulsion, a description of the original traction chain, the design of the new components including their spatial arrangement, mass balance and a summary of the advantages, disadvantages of the conversion, including an evaluation of the problematic nodes and solutions.

**Keywords:** fuel cell propulsion, DMU 861, hydrogen.

### ÚVOD

Keď na medzinárodnom železničnom veľtrhu *Innotrans 2016 v Berlíne* predstavila firma *Alstom* jednotku *Coradia iLint*, išlo o prvé železničné vozidlo poháňané vodíkovými palivovými článkami. Následne v roku 2017 nasledovali skúšobné jazdy, ktoré boli v roku 2018 zavŕšené schválením jednotky nemeckým železničným úradom *ERA* pre osobnú dopravu.

Základom pre prestavbu bola zvolená dvojdielna jednotka *Coradia iLint 54*, kde pôvodný pohon s tromi dieselovými motormi s výkonom 390 kW a mechanickými prevodovkami bol nahradený zmenou celej trakčnej výstroje na použitie vodíkových palivových článkov a pohonom trakčným elektromotorom.

Podobný koncept úpravy jednotiek bol zvolený aj pri modernizácii jednotiek r. 861 *Železničnej spoločnosti Slovensko a.s.* ktorý je popísaný v tomto príspevku.

Výhody využitia vodíkových palivových článkov v železničnej doprave:

- riešenie s nulovými emisiami v prípade používania zeleného vodíka,
- používanie elektrického prenosu výkonu pre pohon,
- zníženie hlučnosti jednotky,
- vysokovýkonné uzly a faktory zaťaženia trakčných komponentov,

- pokrytie dlhých vzdialeností,
- rýchle dotankovanie,
- hustota energie palivového článku,
- trvanlivosť a životnosť (v závislosti na kontrolnej stratégii, veľkosti batérie a pracovnom cykle).

Nevýhody využitia vodíkových palivových článkov v železničnej doprave:

- prístup k čerpacím staniciam  $H_2$ ,
- logistika tankovania  $H_2$ ,
- vyššie náklady na zelený vodík,
- vyššie náklady na palivové články,
- životnosť a účinnosť palivových článkov (v závislosti na kontrolnej stratégii, veľkosti batérie a pracovnom cykle, aj keď pri použití nových článkov sa postupne životnosť predlžuje a účinnosť zlepšuje),
- vodíkové železničné projekty zvyčajne zahŕňajú celý vodíkový ekosystém, čo zvyšuje zložitosť a náklady,
- navýšenie hmotnosti vozidiel dodaním nových trakčných komponentov.

### 1 PÔVODNÁ JEDNOTKA r. 861

Nízkopodlažná motorová jednotka ZSSK r. 861 sa skladá z troch častí, a to z dvoch hnacích vozňov a jedného vloženého hnaného vozňa. Je určená pre

samostatnú prevádzku, alebo pre prevádzku vo viacnásobnom riadení v súprave tvorenej ďalšími maximálne dvomi motorovými jednotkami.

Hnacie vozne sú navzájom spojené s vloženým vozňom na hnanom podvozku gumokovovým kĺbom, ktorý zaisťuje okrem spojovacej aj natačiaciu funkciu. Prechod medzi jednotlivými vozňami je zabezpečený pomocou prechodového zariadenia podľa UIC 561. Celá jednotka je vypružená pneumatickým vypružením na hnanom aj hnacom podvozku. Rýchly výstup a nástup cestujúcich umožňujú veľké predsuvné dvere. Pri obidvoch dverách v hnanom vozni s WC je možnosť použiť rampu pre osoby so zníženou pohyblivosťou, ktorá je umiestnená v interiéri hnaného vozňa. V nástupnom priestore pre cestujúcich je možnosť prepravy detských kočíkov, bicyklov a batožiny.

Na jednotke sú použité dva druhy podvozkov. Dva hnacie podvozky, ktoré sú umiestnené pod čelami hnacích vozňov. Dva hnané podvozky typu *Jacobs* navzájom spájajúce konce hnacích skriň s vloženou skriňou.

Jednotka má štyri brzdové systémy:

- hydrodynamický retardér účinkujúci na hnacie nápravy. Retardér umožňuje brzdenie z vysokej rýchlosti a pribrzďovaním udržiavať konštantnú rýchlosť jednotky,
- elektropneumatická priamočinná brzda, ktorá pôsobí ako mechanická zastavovacia brzda účinkujúca na všetky nápravy,
- pružinová brzda ako parkovacia brzda účinkujúca na všetkých nápravách hnaných podvozkov,
- nepriamočinná pneumatická brzda ovládaná zo stanovišťa rušňovodiča.

Medzi hydrodynamickým retardérom a pneumatickou brzdou je zabezpečená súčinnosť, ktorá zabraňuje prebrzdzeniu jednotky.

Zdrojom energie pre palubnú sieť s napätím 24 V DC sú *NiCd* akumulátorové batérie. Všetky výkonné spotrebiče, ako sú zariadenia klimatizácie pre cestujúcich, klimatizačné zariadenie pre stanovište rušňovodiča, ventilátory a elektrické vykurovacie prvky, sa napájajú z palubnej siete trojfázového rozvodu 3 x 400 V AC z generátora. Všetky ostatné spotrebiče sa napájajú z batérie palubnej siete 24 V DC.

V priestore pre cestujúcich je použitý informačný systém so svetelným a zvukovým oznamovaním jednotlivých staníc a monitorovací kamerový systém.

Interiér je vykurovaný teplovodnými vykurovacími telesami umiestnenými v bočných podlahových kanáloch. Regulácia vykurovacieho, resp. klimatizačného zariadenia sa vykonáva

mikroprocesorovými regulátorom a priestorovými termostatmi.

Dobrá výhľad z motorovej jednotky pre cestujúcich zabezpečujú veľkoplošné okná. Vrchné časti šiestich okien v motorových vozňoch, resp. štyroch vo vloženom vozni sú výklopné, čím sa vytvára možnosť núdzového vetrania.

Osvetlenie priestoru pre cestujúcich je zabezpečené žiarivkovými svetidlami s možnosťou regulácie intenzity osvetlenia.



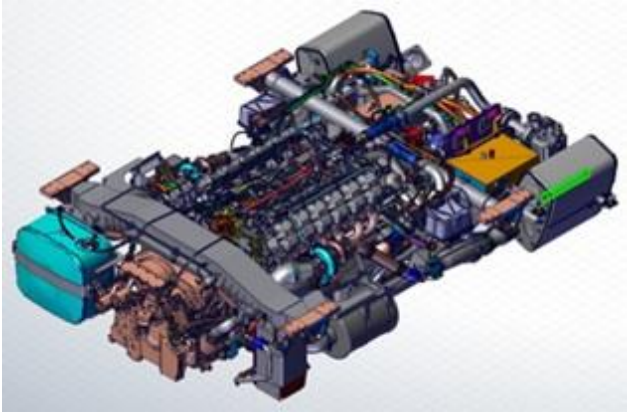
Obr. 1. Usporiadanie jednotky r. 861

Max. rýchlosť:	140 km·h <sup>-1</sup>
Menovitá hmotnosť:	120 t
Nápravové zaťaženie:	15,8 t
Max. nápravové zaťaženie:	18,5 t
Celková dĺžka so spriahadlom:	57 950 mm
Usporiadanie náprav:	B'2'2'B'
Trakčný výkon menovitý:	2 x 400kW
Prenos výkonu:	hydrodyn.
Ťažná sila - maximálna:	143 kN
Maximálna brzdná sila retardéra:	57 KN
Max. zrýchlenie - men. hmotnosť:	0,97 m·s <sup>-2</sup>
Max. zrýchlenie - plne ložená:	0,85 m·s <sup>-2</sup>
Spaľovací motor - typ:	MAN D2842 LE622
Emisie výfukových plynov:	Stage 3A
Menovitý výkon:	588 kW
Otáčky:	1800 ot.min <sup>-1</sup>
Voľnobeh:	900 ot.min <sup>-1</sup>
Max. otáčky:	2250 ot. min <sup>-1</sup>
Prevodovka VOITH:	T 212 bre
Maximálny prenášaný výkon:	560 kW
Výkonnosť retardéra max.:	450 kW
trvalý:	300 kW
Generátor pomocných pohonov:	SDW 35.24-2
Menovitý výkon:	70 kVA

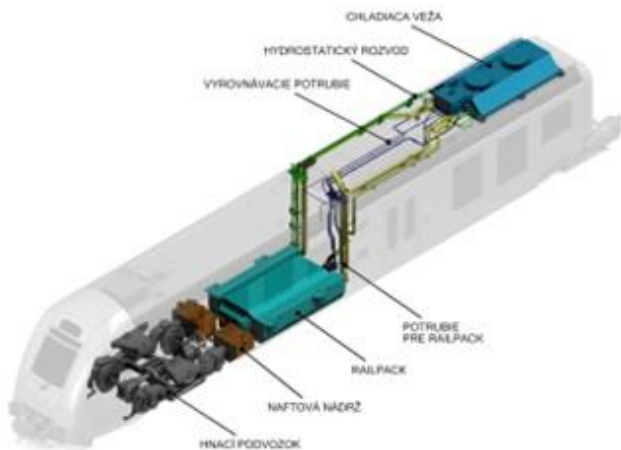
## 2 PÔVODNÝ TRAKČNÝ REŤAZEC

Trakčný reťazec je tvorený dvomi dieselhydraulickými agregátmi „*RailPack*“, umiestnenými pod podlahou vozidla, kardanovými hriadeľmi a hnacími podvozkami pod oboma riadiacimi vozňami.

V *RailPackoch* je umiestnený spaľovací motor s obvodmi vlastného chladenia, hydrodynamickú prevodovku s retardérom, generátor pre napájanie pomocných pohonov a pomocné zariadenia. Pomocou vysokoelastickej spojky medzi dieselovým motorom a hydrodynamickou prevodovkou a kardanovými hriadeľmi zo spojky na podvozok sa trakčný výkon prenáša z dieselového motora na hydraulickú prevodovku a postupne na jednotlivé nápravové prevodovky dvojkolesí.



Obr. 2. *RailPack* motorovej jednotky r. 861



Obr. 3. Usporiadanie trakčnej výzbroje motorovej jednotky r. 861

### 3 NÁVRH POHONU

Základný koncept zmeny pohonu vychádza z nasledovných hlavných požiadaviek:

- *eliminácie dieselového pohonu* ako hlavného zdroja znečistenia ovzdušia. To znamená demontáž dieselového motora *MAN D2842 LE622* s hydrodynamickou prevodovkou *VOITH T212* vrátane celého *RailPacku* z spodnej časti skrine,
- *náhrady pohonu podvozkov* - zachovanie kardanových hriadeľov. Pohon celého podvozku pomocou elektromotora upevneného pod rám jednotky na mieste *RailPacku*,
- *dosadenia pohonu vodíkovými článkami* - montáž palivových článkov, vrátanie

pomocných zariadení, meničov, batérií a riadiaceho systému.

- *zabezpečenie potrebného výkonu pre pomocné pohony* - pri prvotnej úvahe bolo úlohou zabezpečenie chodu pomocných pohonov a klimatizačných zariadení na pôvodnej výkonovej úrovni.

Súčasťou trakčného meniča bude aj menič pre pomocné pohony.

Je však nutné počítať aj s novými spotrebičmi pri prestavbe jednotky - ako napr. ventilátory chladenia palivových článkov, ventilátory chladenia elektrických trakčných motorov, napájanie elektrického vykurovacieho systému priestorov pre cestujúcich a ďalších.

Pri určovaní aktuálnej spotreby sme vychádzali zo spotreby jednotlivých zariadení *DMJ* r 861 I. série:

- spotreba (*HV1* + časť *VV*) leto: 64,5 kW,
- spotreba (*HV1* + časť *VV*) zima: 42,6 kW,
- spotreba (*HV2* + časť *VV*) leto: 46,7 kW,
- spotreba (*HV2* + časť *VV*) zima: 56,6 kW, (*HV*- hnací vozeň, *VV* – vložený vozeň).

Pre prestavbu jednotky r. 861 na pohon vodíkovými článkami je nutné do energetickej bilancie započítať nasledovné spotreby energie.

#### 3.1 Pohon ventilátorov chladiacej veže

Pôvodné pohonné hydromotory mali výkon cca 60 kW (v chladiacej veži sú umiestnené 3 kusy typu *BG 19*). V novej koncepcii pohonu počítame s pohonom elektromotormi s výkonom minimálne 60 kW.

#### 3.2 Kúrenie

Pôvodné riešenie na jednotkách je teplovodné s využitím odpadového tepla spaľovacieho motora. V prípade, že energia odpadového tepla nepostačuje (chladný motor, státie jednotky bez naštartovaného dieselového motora, nízkej vonkajšej teploty) sú do vykurovacieho systému doplnené ohrievacie agregáty firmy *Webasto* s výkonom 35 kW v každej koncovej časti.

Pri novej koncepcii predpokladáme prechod na elektrické vykurovanie.

Použitie naftových vykurovacích agregátov, respektíve duálneho elektrického a teplovodného systému sme odmietli s prihliadnutím na enormné zvýšenie hmotnosti ako aj z priestorových dôvodov v interiéri.

Celkovo je nutné do novej energetickej bilancie započítať ďalší výkon pre všetky tri skrine - predpokladáme cca 100 kW.

### 3.3 Chladienie elektrických trakčných motorov

Pre nové trakčné motory je nutné zabezpečiť chladienie vzduchom - ventilátor s elektrickým pohonom a príslušným vedením vzduchu. V pôvodnej koncepcii táto položka neexistovala. Predpokladaný výkon je cca 25 kW.

### 3.4 Záver energetickej bilancie spotreby energie celej jednotky

Maximálny výkon pre pomocné pohony a zariadenia na jednotke 861 pôvodnej dieselovej koncepcie je v zimnej prevádzke 99,2 kW a v letnej 110,7 kW.

Pre novú koncepciu pohonu je nutné počítať s nasledovným celkovým výkonom pre pomocné pohony a zariadenia:

Leto:

- pôvodný výkon: 110,7 kW
- ventilátory chladiaca veža: 60 kW
- kúrenie: 0 kW
- ventilátory TM: 25 kW
- celkom: 195,7 kW

Zima:

- pôvodný výkon: 99,2 kW
- ventilátory chladiaca veža: 60 kW
- kúrenie: 100 kW
- ventilátory TM: 25 kW
- celkom: 284,2 kW

Z vyššie uvedených údajov vyplýva, že potrebný výkon pre pomocné pohony a zariadenie pre jednotku r. 861 s pohonom vodíkovými článkami je 284,2 kW.

Tento výkon bude nutné pripočítať ku potrebnému trakčnému výkonu pre jednotku a tento výkon použiť ako základ pre výpočet potrebných trakčných parametrov a parametrov trakčných komponentov.

Výpočet spotreby energie a paliva

Pri výpočte spotreby energie vychádzame z predpokladu zachovania trakčnej charakteristiky pôvodnej jednotky r. 861. Tým bude zabezpečené splnenie všetkých požiadaviek prevádzkovateľa a eliminujú sa problémy pri schvaľovaní z hľadiska výkonnosti jednotky

Pre zistenie a overenie spotreby energie jednotiek r. 861 s pôvodným trakčným reťazcom bolo vykonaných niekoľko simulácií a výpočtov. Výsledky predbežného posúdenia ukazujú spotrebu energie na kolese v rozmedzí od 3,3 kWh·km<sup>-1</sup> až do hodnoty 4,2 kWh·km<sup>-1</sup>.

Po započítaní účinnosti mechanického prenosu výkonu v prevodovkách, elektrického trakčného motora a nakoniec účinnosti trakčného meniča sa

hrubá požiadavka na vstupnú hodnotu trakčnej energie dostala na hodnotu od 3,9 kWh·km<sup>-1</sup> do 5 kWh·km<sup>-1</sup>.

Prepočítaním prevádzkových účinností palivových článkov a DC/DC meniča vychádza spotreba vodíka od hodnoty 236 g·km<sup>-1</sup> až po 305 g·km<sup>-1</sup>

Tieto hodnoty spotreby vodíka sú porovnateľné s hodnotami zverejnenými firmou *Alstom* pre spotreby jednotiek *iLint* v reálnej prevádzke - 250 g·km<sup>-1</sup> jazdy.

V predbežnom výpočte spotreby vodíka pre modernizovanú jednotku 861 nie je zahrnutý prínos rekuperovanej energie. To znamená že spotreba 236 g·km<sup>-1</sup> ÷ 305 g·km<sup>-1</sup> sa ešte o niečo zníži.

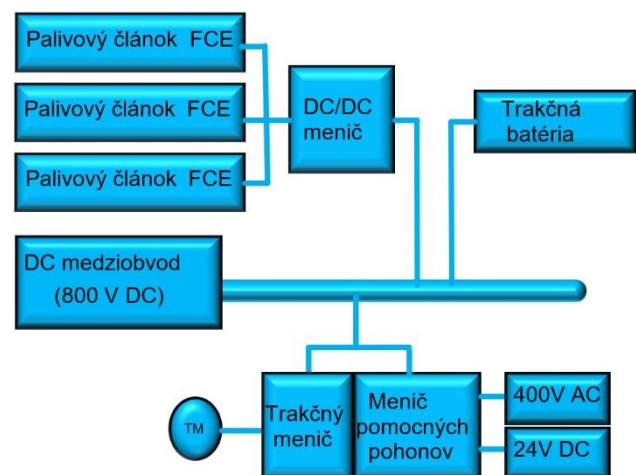
V predbežnom výpočte spotreby vodíka pre modernizovanú jednotku 861 nie je zahrnutý prínos rekuperovanej energie trakčného motora, ktorá bude ukladaná do trakčnej batérie a následne v prípade potreby bude môcť byť využitá. To znamená že spotreba 236 g·km<sup>-1</sup> ÷ 305 g·km<sup>-1</sup> sa ešte o niečo zníži.

Na základe týchto výpočtov boli spracované požiadavky na parametre a výkonnosť nových komponentov trakčného reťazca.

## 4 NOVÉ KOMPONENTY TRAKČNÉHO REŤAZCA

Pri výbere hlavných komponentov sme vychádzali z predpokladu dosiahnutia minimálne výkonových parametrov jednotky r. 861.

Pre usporiadanie jednotlivých komponentov budeme rešpektovať nasledovnú schému (zobrazená jedna sekcia trakčného reťazca).



Obr. 4. Schéma výkonovej časti pohonu vodíkovými palivovými článkami jednotky r. 861

Palivové články:

Pre pohon jednotky boli zvolené palivové články firmy *Accelera* (*Cummins*) štvrtej generácie s označením G4+ ktorej všeobecné charakteristiky sú nasledovné:

- palivový článok s dvomi vrstvami vrátane,
- zahŕňa zásobník, kryt, komponenty na manipuláciu so vzduchom, komponenty na prívod  $H_2$  a ovládacie prvky,
- prívod vzduchu do palivových článkov je možné premenlivým tlakom,
- použitie technológie zvlhčovania na strane vzduchu, čo zlepšuje priemernú účinnosť a umožňuje zvýšenie prevádzkovej teploty, čo umožňuje lepšie usporiadanie článku,
- zvýšenie teploty prívodu chladiaceho média do chladiča na  $90^{\circ}C$ ,
- komponenty na úpravu vzduchu zahŕňajú katódový vzduchový kompresor, zvlhčovač, dochladzovač, obtokový ventil a výfuk,
- sada článku zahŕňa čerpadlo chladiaceho média, ohrievač, 3-cestný riadiaci ventil a snímače,
- menič palivového článku zabezpečuje napájanie jednosmerného medziobvodu vozidla a poskytuje batériové napätie vozidla na napájanie vzduchových kompresorov a čerpadiel chladiaceho média a ohrievača sady palivových článkov,
- riadenie článku spravuje všetky komponenty v článku, čím sa skracuje čas a znižuje úsilie pri vývoji v porovnaní s obstarávaním jednotlivých položiek.

Základné charakteristiky vodíkových palivových článkov (FCE):

Typové označenie:	FCE 150 G4+
Hmotnosť systému (suchý):	275 +/-25 kg
Čistý výkon (menovitý):	150 kW
Prevádzkové napätie:	550 – 850 V DC
Prevádzkový prúd:	0 – 300 A DC
Ochrana proti vniknutiu:	IP67
Palivo - plyný vodík:	ISO14687-2
Napájací tlak:	11-14 bar
Trvanlivosť (životnosť):	20 tis. hodín
Okolité teplota:	$-30^{\circ}C$ až $+50^{\circ}C$
Riadiace rozhranie:	CAN (500 kbps)

*Systém nasávania vzduchu:*

Pre napájanie palivového článku vzduchom s predpísanými vlastnosťami je pred vstup umiestnený vzduchový filter s filtračnou vložkou častíc, chemickou filtračnou vložkou, snímačom diferenčného tlaku a prepojovacími potrubiami.

*Systém chladiaceho média:*

Pre zabezpečenie funkčnosti palivového článku sú na strešnej časti jednotky v blízkosti palivových článkov umiestnené chladiče s ventilátormi s vyrovnávacou nádržou a prepojovacími potrubiami.

*Výfukový systém:*

Vedľajším produktom reakcie v palivovom článku je vodná para, resp. voda, ktorú je treba odvádzať. Tento produkt budeme využívať v hygienických zariadeniach jednotky (na umývanie rúk, resp. splachovanie WC). Ide o čistú - destilovanú vodu.

*Systém prívodu vodíka:*

Palivový článok je nutné priebežne napájať vodíkom. Pre tento účel sú na streche jednotky umiestnené zásobníky stlačeného vodíka. Pomocou potrubí s bezpečnostnými ventilmi, prístrojmi a reduktormi je vodík distribuovaný ku jednotlivým článkom. Pre plnenie zásobníkov slúžia plniace otvory na boku skrine jednotky s ventilmi.

*Riadiaca jednotka:*

Riadiaca jednotka palivových článkov riadi nielen funkciu jednotlivých článkov, ale zároveň riadi teplotný manažment a DC/DC menič. Pre jej činnosť je nutné napájanie palubnej siete jednotky s veľkosťou 24 V DC, spojenie CAN zbernicou s riadiacou jednotkou a riadiaci software pre riadenie palivových článkov.

*DC/DC meniče:*

DC/DC meniče sú umiestnené medzi vodíkovými článkami a jednosmerným trakčným medziobvodom. Slúži na úpravu napätia z vodíkových článkov na úroveň napätia jednosmerného obvodu.

*Jednosmerný medziobvod:*

Jednosmerný medziobvod slúži na vzájomné prepojenie vodíkových článkov, trakčnej batérie a meničov cez istiacie a ovládacie prvky. Elektrická energia vyrobená vo vodíkových palivových článkoch je cez zvyšovací DC/DC menič vedená cez medziobvod do trakčného meniča a meniča pomocných pohonov. V prípade potreby použitia energie z trakčnej batérie je tiež na prenos do meničov využívaný trakčný medziobvod.

*Trakčný menič:*

Trakčný menič zabezpečuje prevod elektrickej energie z jednosmerného trakčného medziobvodu (DC zbernice) vozidla pre napájanie trakčných asynchronných motorov vozidla. Výstup z trakčného meniča je trojfázové variabilné napätie s variabilnou frekvenciou. Na vozidle, v koncových dieloch je nainštalovaný po jednom trakčnom meniči a každý napája jeden trakčný motor umiestnený pri hnacích podvozkoch vozidla.

Prevod elektrickej energie je ovládaný riadiacim systémom vozidla podľa aktuálnych požiadaviek na potrebný trakčný výkon vozidla. Pri brzdení vozidla zabezpečuje riadiaci systém vozidla ovládanie elektrodynamického brzdenia, pri ktorom sa prenáša cez trakčný menič elektrická energia vytváraná v trakčnom motore primárne do trakčnej batérie, alebo do brzdového odporníka.

Riadenie trakčného meniča zabezpečuje ovládanie trakčného výkonu vozidla pre optimálne adhézne/trakčné vlastnosti vozidla pomocou implementovanej protisklzovej a protišmykovej ochrany. Menič vozidla je modulárneho vyhotovenia, ktoré zabezpečuje jeho jednoduchú údržbu pre zabezpečenie čo najvyššej spoľahlivosti zariadenia k čomu prispieva aj využitie najnovšej technológie - bipolárnych tranzistorov s izolovaným hradlom (*IBGT* tranzistory). Chladenie trakčného meniča je nútené pomocou vnútorného ventilátora v skrini meniča. Riadiaci systém trakčného meniča vykonáva nepretržitú diagnostiku funkcie meniča, ktorú poskytuje riadiacemu systému vozidla.

Technické údaje trakčného meniča - kontajner hlavného meniča (*KHM500*):

Menovité vstupné napätie:	800 V DC
Menovité výstupné napätie:	3 x 450 V
Rozsah výstupnej frekvencie:	0 až 150 Hz
Menovitý zdanlivý výkon:	530 kVA
Menovitý výstupný prúd:	850 A

#### *Menič pomocných pohonov:*

Menič pomocných pohonov zabezpečuje prevod elektrickej energie z DC zbernice vozidla pre napájanie pomocných elektrických zariadení vozidla (klimatizácia priestoru pre cestujúcich, klimatizácia kabíny rušňovodiča, nabíjač akumulátorových batérií, elektrického vykurovania interiéru vozidla, kompresor stlačeného vzduchu pre brzdu, menič napájania zásuviek vo vozidle, ventilátory chladenia trakčného motora a meničov - trakčného a pomocných pohonov).

Chladenie meniča pomocných pohonov je nútené pomocou vnútorného ventilátora v skrini meniča.

Technické údaje kontajnera pomocného meniča (*KPM160*):

Menovité vstupné napätie:	800 V DC
Najnižšie trvalé napätie:	640 V DC
Najvyššie trvalé napätie:	940 V DC
Menovité výstupné napätie:	3 x 400 V AC
Menovité výstupné napätie:	1 x 230 V AC
Menovité výstupné napätie:	24 V DC
Menovitý zdanlivý výkon:	160 kVA

#### *Nádrže na vodík:*

Nádrže navrhujeme umiestniť na zvýšenú strechu jednotky od klimatizačného zariadenia rušňovodiča po zošíkmenie pred nástupnými dverami cestujúcich. Pre umiestnenie potrebného množstva stlačeného vodíka je nutné maximálne využiť voľný priestor na streche hnacích vozidiel. Nádrže so skrátenou dĺžkou sú umiestnené za klimatizáciu rušňovodiča. Na bokoch a za ňou sú nádrže so štandardnou dĺžkou. V tejto časti strechy bude nutné upraviť umiestnenie

statických ventilátorov klimatizácie a kanále klimatizácie.

Pre uskladnenie *H2* navrhujeme použiť valcové nádrže s nasledovnými počtami a objemom.

#### *Predná časť:*

- 4 kusy nádrží po 400 litrov,
- 2 kusy nádrží po 168 litrov,

#### *Zadná časť:*

- 7 kusov nádrží po 400 litrov,
- celkový objem nádrží na jednom hnacom vozni je 4 736 litrov.
- na celej jednotke sa potom bude nachádzať 9472 litrov stlačeného vodíka.
- vo všetkých nádržiach je prevádzkový tlak 35 MPa.

#### *Trakčné motory:*

Pri zmene koncepcie pohonu je nutné zmeniť aj pohon trakčných podvozkov. Ako najvýhodnejší sa v prípade dieselových jednotiek r. 861 javí ponechanie spojeného pohonu náprav cez nápravové prevodovky a tiež hlavný pohon kardanovým hriadel'om. V opačnom prípade by museli byť navrhnuté nové podvozky s elektrickými motormi a nápravovými prevodovkami.

Pohonná hydrodynamická prevodovka bude nahradená asynchrónnym trakčným motorom. Medzi tento motor musí byť umiestnená redukčná mechanická medziprevodovka. Pre úsporu miesta bude nutné použiť podobné usporiadanie ako pri jednotkách *iLint* teda paralelné usporiadanie oboch zariadení s prevodovkou v osi kardanového hriadeľa a trakčný motor posunutý ku bočnej stene jednotky (uvedené usporiadanie ušetrí miesto hlavne pre trakčný menič a batérie ktoré nebudú musieť byť delené). Takýto typ prevodovky sa štandardne nepoužíva v konštrukcii železničných vozidiel, ale výhody tohto usporiadania nahrádzajú atypickosť návrhu a výroby.

Ako trakčný motor navrhujeme použiť 3-fázový asynchrónny motor so samostatným vetraním od výrobcu *TSA Traktionssysteme Austria GmbH* typovej rady *TMF*. Typ *TMF 59-39-4* je osvedčený a používa sa napr. na elektrických jednotkách *EMU KISS* od firmy *STADLER* v Českej republike, Bielorusku, Estónsku, Fínsku, Nemecku, Maďarsku, Poľsku, Švajčiarsku a ďalších krajinách.

Uvedený motor má nútené vetranie. To znamená, že trakčný motor je nutné chladiť samostatným ventilátorovým ústrojenstvom.

Pri výbere, alebo návrhu samotnej trakčnej prevodovky je nutné zahrnúť už aj existujúce nápravové prevodovky umiestnené v podvozku, ktoré majú prevodový pomer 1:3,1. Výsledný prevodový pomer by mal vychádzať vzhľadom na

priemer dvojkolesí 850/770 mm, dodržania maximálnej rýchlosti a ťažnej sily okolo hodnoty 1:6,0.

Oba nové komponenty trakčného reťazca musia byť upevnené o rám hrubej stavby skrine jednotky. Predbežne navrhujeme tzv. pomocný rám s využitím, pokiaľ to bude možné, zosilnenia pre upevnenie pôvodných *RailPackov*.

Novo montované trakčné motory musia byť počas prevádzky chladené. Štandardným spôsobom je vzduchové chladenie kde chladiaci ventilátor privádza požadované množstvo vzduchu vzduchový vedením do trakčného motora.

Ventilátor bude najvhodnejšie umiestniť pod rámom v blízkosti trakčného motora kvôli tlakovým stratám vo vzduchových kanáloch a využití pôvodných vstupov vzduchu na bokoch skrine pre spaľovací motor.

*Trakčné batérie:*

Na základe energetických výpočtov a požadovanej kapacity sme vybrali nasledovný typ trakčných batérií

Výrobca:	<i>LECLANCHÉ</i>
Typ batérie:	<i>INT-53 Energy</i>
Menovité napätie (V):	876
Nominálna energia (kWh):	52,6
Max. vybijac. výkon (kW):	158
Rozmery V x Š x H (mm):	409x612x1631
Hmotnosť (kg):	505
Energetická hustota (Wh·kg <sup>-1</sup> ):	104
Energetická hustota (Wh·liter <sup>-1</sup> ):	118,9

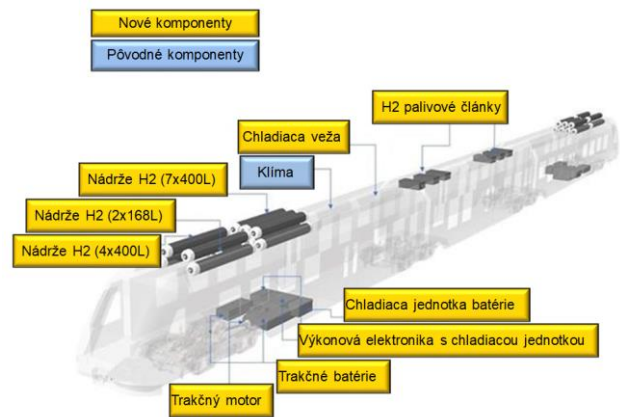
*Chladiace systémy:*

Chladiaci systém je nutný pre vodíkové články. Pracovný proces v článkoch štvrtej generácie prebieha pri vyšších teplotách ako v minulosti (rádovo až 90°C) a tým rastie aj potreba eliminovať túto energiu.

V pôvodnom trakčnom reťazci sú použité chladiace veže pre chladenie *HT* a *NT* okruhov spaľovacieho motora a hydrodynamickej prevodovky. Pre konečné posúdenie vhodnosti týchto chladičov sú nutné detailné výpočty a simulácie. Predbežne uvažujem s pôvodnými chladičmi a pôvodným umiestnením na streche koncových dielov jednotky.

## 5 USPORIADANIE NOVÝCH ZARIADENÍ TRAKČNÉHO REŤAZCA

Podľa predbežných podkladov je možné všetky komponenty umiestniť do voľných priestorov po dieselovom trakčnom reťazci.



Obr. 5. Návrh rozmiestnenia trakčných agregátov

## 6 HMOTNOSTNÁ BILANCIA

Pri hmotnostnej bilancií vychádzame z výkresovej dokumentácie motorovej jednotky r. 861 ktorá bola spracovaná v *ŽOS Vrútky, a.s.*

Základom je výkres *HLAVNA ZOSTAVA DMJ č.v. VJ.482.06.1.001.0* v ktorej sú systémom podzostáv a detailov usporiadané všetky komponenty ako diely dieselovej jednotky.

Podľa zvolenej koncepcie zmeny pohonu je nutné vykonať analýzy. Jedná sa jednak o hmotnostnú analýzu odobratých a novododaných komponentov, a následne ich vplyv na rozloženie hmotností na nápravu a kolesá.

Ďalšou časťou analýz súvisiacou s hmotnostnou bilanciou je overenie rozmerového usporiadania - možnosť umiestnenia a usporiadania nových zariadení bez porušenia obmedzení obrysu vozidla.

V rámci návrhu a overení kolesového a nápravového zaťaženia je nutné rešpektovať a neprekročiť maximálne dovolené nápravové zaťaženie podvozkov ktoré sú použité na jednotkách 861. Jedná sa o podvozky typového označenie *SF5000* od výrobcu *SIEMENS*. Oba typy podvozkov - hnacie a hnané (*Jacobsove*) sú navrhnuté na maximálne nápravové zaťaženie 18,5 tony.

Pri maximálnom využití nápravového zaťaženia je dovolená celková hmotnosť jednotky 148 tony (18,5 tony x počet náprav – 8). Predpokladom je však rovnomernosť zaťaženie každej z náprav na maximálnu hodnotu 18,5 tony.

Z konštrukčného hľadiska to znamená ponechať a neprekračovať zaťaženia nad hnacími podvozkami a všetky komponenty nad pôvodnú hmotnosť umiestňovať nad hnané podvozky resp. stredný diel.

*Očakávaný nárast hmotnosti trakčnej výzbroje:*

Vychádzame z podobnej koncepcie zmeny trakčnej výzbroje pri pôvodne dieselovej jednotke firmy *Alstom* typového označenie *LINT 54*. Na tomto type

vozidla firma *Alstom* navrhla zmenu trakcie na vodíkový pohon. Výsledkom bolo nielen schválenie vozidiel do prevádzky, ale aj nárast celkovej hmotnosti jednotky z hodnoty 96 ton (*Lint* 54) na 106 ton (*iLint*).

V prípade modernizácie jednotky r. 861 je kritickým nielen celková hmotnosť trakčnej výzbroje, ale aj jej rovnomernosť rozloženia v súvislosti so zaťažením jednotlivých náprav. Najväčším problémom sú nápravové zaťaženia na nápravách č. 1, 2, 7 a 8, kde je možné zvýšenie zaťaženia len o 100 kg na nápravu oproti pôvodnému dieselovému pohonu jednotky.

*Zhrnutie celkovej hmotnostnej bilancie:*

Hmotnosť prázdnej jednotky r. 861 (diesel):  
120 000 kg

Plne obsadená jednotka r. 861 (diesel):  
142 000 kg

Maximálna hmotnosť teoretická  
(nápravové zaťaženie 18,5 t): 148 000 kg

Hmotnosť demontovaných dielov: 16 407 kg

Hmotnosť nových komponentov a dielov:  
23 751 kg

Rozdiel odstránených a dodaných komponentov:  
+ 7 344 kg

Hmotnosť prázdnej jednotky r. 861 (vodík):  
127 344 kg

Plne obsadená jednotka r. 861 (vodík):  
149 344 kg

*Čiastková hmotnostná bilancia zariadení v priestore RailPacku:*

Hmotnosť demontovaných komponentov (*RailPack*, chladenie, výfuky, hydrostatika, oleje, nafty):  
15 614 kg

Hmotnosť novododaných komponentov (zásobníky vodíka, meniče, batérie, trakčné motory a prevodovky):

16 888 kg

Rozdiel:  
+ 1 274 kg

## ZÁVER

Na základe poznatkov súčasného stavu vývoja pohonov založených na využití energie vodíka a podobných projektov v železničnom sektore sa nám podarilo spracovať návrh nového trakčného reťazca.

Z podkladov od *slovenských* výrobcov k jednotlivým komponentom sme spracovali návrh koncepcie pohonu a predbežne vybrali najvhodnejšie komponenty spolu s ich umiestnením v jednotke.

Ďalším krokom bolo spracovanie hmotnostnej analýzy dielov ktoré budú demontované z jednotky a

nových dielov súvisiacich s pohonom vodíkovými palivovými článkami.

V súčasnom stave projektu sa javí ako najväčším problémom prekročenie nápravového zaťaženia na hnacích podvozkoch a prekročenie celkovej hmotnosti jednotky. Problematickým bude pravdepodobne aj umiestnenie trakčných zariadení v priestore po bývalom *RailPacku* a naftových nádržiach.

## Pod'akovanie

*„Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Koncepcia, 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 spoločnosti ŽOS Vrútky, a.s. (2023).