

**REGIOTRANS**  
CENOVĚ EFEKTIVNÍ NÁHRADA DIESELOVÉ TRAKCE  
NA NEZATROLEJOVANÝCH REGIONÁLNÍCH ŽELEZNIČNÍCH TRATÍCH  
INTERMODÁLNÍMI BATERIOVÝMI VOZIDLY

Jiří Hofman

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojí, Katedra konstruování strojů,  
hofman.ji@gmail.com

**REGIOTRANS**  
*COST EFFECTIVE REPLACE OF THE DIESEL TRACTION  
ON REGIONAL NOT ELECTRIFIED RAILWAYS  
BY INTERMODAL BATTERY VEHICLES*

**Abstract:**

*A suitable way to the cost-effective replacement of diesel traction on non-electrified regional railways are battery vehicles with batteries located on replaceable separate low-height waggon, pushed in front of the passenger motor-car and designed as a powerful deformation zone. Thanks to the battery car's protective function, the passenger car can be built in a cost-effective lightweight construction and the battery capacity can be reduced. At the same time, this car enables (E-)bicycles to be transported in considerable quantities, thus promoting regional road-rail intermodality and making the rail accessibility much better. At the final station, the battery car is replaced by battery car with charged battery. The battery -car can also acquire additional equipment (incl. driver's cab and passenger cab), so it can gain other interesting features and further increase the cost-effectivity. When a cumulative comparison is made between the purchase price of vehicles including batteries- and energy-costs for 30 years , the price of both diesel- and battery-traction is comparable and intermodality is a bonus free of charge.*

**Key words:** *Intermodal personal transport battery train diesel traction replace regional railways*

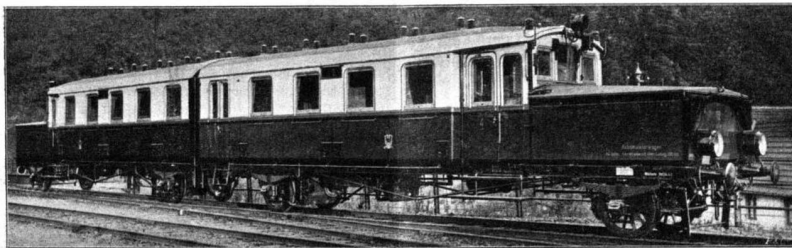
## 1 ÚVOD

Vzhledem ke své závislosti na neobnovitelných zdrojích energie a k environmentálním škodám způsobovaným emisemi a hlukem, zejména v silničním provozu je vynakládáno značné úsilí na nahrazení diesellového pohonu jinými pohonnými systémy s nízkými emisemi a nezávislymi na fosilních palivech. Vhodné varianty pohonu představují dnes vodíkové a akumulátorové pohony.

To platí i pro osobní železniční dopravu. Zatímco vodíkový pohon je na železnici nový (**obr. 1**), akumulátorový pohon byl na železnici použit již na přelomu 19. a 20. století - např. na voze Křížík na trati Praha-Dobříš nebo ve voze Wittfeld z roku 1907 (**obr. 2**). Osvědčily se také elektrické posunovací lokomotivy napájené z trakční baterie. Trakční baterie byla umístěna buď přímo ve vozidle (např. v trakčních železničních vozidlech řady E407 a E417 vyrobených kolem roku 1930 (**obr.3**) nebo v připojeném voze -např. Plzeň či Zvolen (**obr.4**).



**Obr.1** ALSTOM Coradia I-Lint



**Obr.2** Wittfeldův akumulátorový vůz z roku 1907

V poslední době, zejména v Japonsku, se rozšiřuje používání tzv. hybridních elektrických jednotek s napájením bateriemi, které se používají na částečně zatrolejovaných trasách (obr.5). Během jízdy pod trolejovým vedením lze baterii dobít a provoz tak může být nepřetržitý. Podobná vozidla lze nalézt také ve Velké Británii (Bombardier Electrostar) nebo na Novém Zélandu (CAF). Letos má U uvést do provozu podobné řešení i česká Škoda.



**Obr.3** bateriová lokomotiva  
Škoda E417 (1931)



**Obr.4** elektrická posunovací  
lokomotiva s bateriovým vozem



**Obr.5** hybridní jednotka  
EV-E301 (Japonsko, 2016)

Tento článek pojednává o možnosti náhrady dieselové trakce na nezatrolejovaných regionálních tratích bateriovými kolejovými vozidly. To je zajímavé i pro Českou republiku, kde regionální trati tvoří téměř polovinu celkové železniční sítě (cca 4 500 km) a jen 400 km z nich je elektrizováno.

## **2 ORGANIZACE BATERIOVÉHO PROVOZU NA NEELEKTRIFIKOVANÝCH REGIONÁLNÍCH TRATÍCH**

Pokud mají být vozidla používána ekonomicky, není vhodné během dne provoz vozidel přerušovat kvůli dobíjení baterií a musí být zvolena jedna z následujících metod provozu:

- a) Použití baterie s dostatečnou kapacitou pro celodenní provoz s nočním nabíjením
- b) Rychlé dobíjení s vysokým výkonem v koncových stanicích, případně i v některých mezilehlých zastávkách.
- c) DUAL - výměna vybité trakční baterie za nabitou v koncových (případně mezilehlých) stanicích s dobíjením relativně nižším výkonem během čekání na další nasazení.

K těmto třem uvedeným způsobům použití trakční baterie je třeba poznamenat následující:

Řešení a) - použití trakční baterie pro celodenní provoz s dobíjením během noci - by vyžadovalo trakční baterii o hmotnosti několika desítek tun a zároveň vysoký dobíjecí výkon. To je v současné době neekonomické a jen obtížně realizovatelné.

Řešení b) - Dobíjení trakční baterie během doby staničení snižuje využití vozidel, protože během doby nabíjení nemohou být provozována. Variantně lze použít vyšší počet málo používaných nabíjecích míst v mezilehlých stanicích nebo velmi výkonné nabíječky v konečných stanicích. Vliv takto vysokých nabíjecích baterií na životnost baterií není dost dobře prozkoumán.

Řešení c) - DUAL bylo vybráno pro další přezkoumání, protože má nejnižší požadavky na parametry baterie a dobíjecí infrastrukturu.

Je třeba určit, jakou hmotnost a jaké rozměry bude mít trakční baterie. Provoz tramvají Škoda v Praze ukázal, že průměrná spotřeba energie v náročných tramvajových provozech (časté rozjezdy a zastavování, obtížné horizontální a vertikální trasování, časté otevírání dveří a potřeba vytápění a chlazení prostoru pro cestující) je cca 60 Wh/t.km. Tato hodnota zahrnuje i rekuperaci (cca 20%).

Ačkoli provoz na regionálních trasách by měl mít mírně nižší energetickou náročnost, je pro první návrh použita uvedené hodnoty. Dále se předpokládá, že průměrná hmotnost navrhovaného regionálního kolejového vozidla činí přibližně 70 t (včetně cestujících a baterie) a že vzdálenost mezi konečnými zastávkami je přibližně 50 km. Tomu odpovídá spotřeba energie 210 kWh. Vzhledem k tomu, že je třeba se vyhnout úplnému vybití baterie a je třeba vzít v úvahu účinnost i potřebu rezervy, bude použita trakční baterie přibližně dvojnásobné kapacity, tedy asi 400 kWh. Při použití moderních bateriových modulů, např. od společnosti Toshiba (**obr. 6**), je třeba při návrhu vozidla počítat s hmotností trakční baterie asi 8 t a s objemem asi 6 m<sup>3</sup>.



Battery Module TypeS-20 SCiB™ Module	
Nominal capacity	40 Ah
Output voltage	27.6 Vdc (nominal) (Range : 18 ~ 32.4 Vdc)
Communication Interface	CAN 2.0B-500kbps, I/O
Dimensions	W187mm × D358mm × H129.8mm
Weight	Approx. 14.5kg

SSU Safety Supervisor Unit	
Input Voltage	12 Vdc
Communication Interface	I/O
Dimensions	W95mm × D88mm × H32mm (without projections)

BMU Battery Management Unit	
Input Voltage	12 Vdc
Communication Interface	CAN 2.0B-500kbps, Ethernet
Dimensions	W95mm × D88mm × H32mm (without projections)

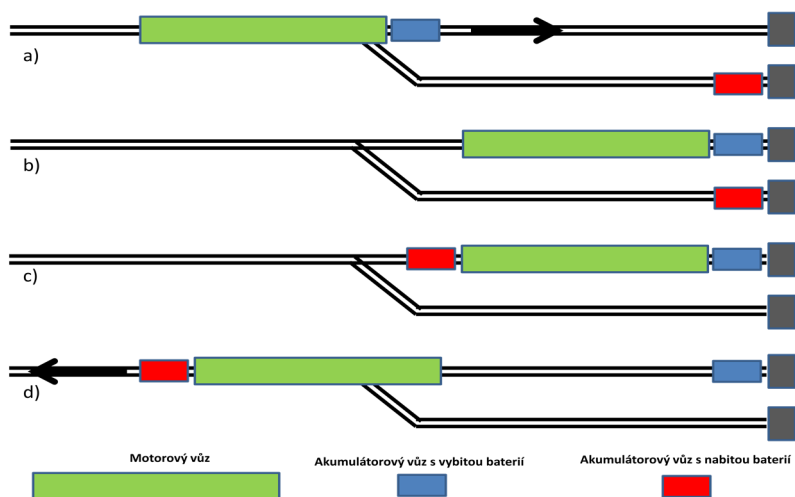
**Obr.6** bateriové moduly Toshiba pro železniční použití

### 3 ZVOLENÉ ŘEŠENÍ C) – RegioTrans DUAL

Návrh je určen pro železniční elektrické motorové osobní vozy s oboustranným automatickým spřáhlem, která jsou prostřednictvím silnoproudého kontaktu v automatickém spřáhle napájena z trakční baterie o napětí přibližně 600 V, která je umístěna na připojeném akumulátorovém voze. Silnoproudý kontakt automatického spřáhla může být použit i pro spojení s nabíjecí stanicí.

Akumulátorový vůz je nízký a je zařazen před motorovým osobním vozem. V konečné stanici zajede souprava sestávající z motorového a bateriového vozu na jednu ze dvou koncových kolejí a akumulátorový vůz je spojen automatickým spřáhlem s nabíjecí stanicí.

Na sousední koleji čeká akumulátorový vůz s již nabitou trakční baterií. Tento akumulátorový vůz je odpojen od nabíjecí stanice, přejíždí přes výhybku a je připojen k motorovému vozu (**obr. 7**). Zdrojem energie pro manévrování akumulátorového vozu je buď sklon koncových kolejí, pokud akumulátorový vůz není vybaven vlastním pohonem, nebo energie obsažená v baterii, pokud vlastním pohonem vybaven je.



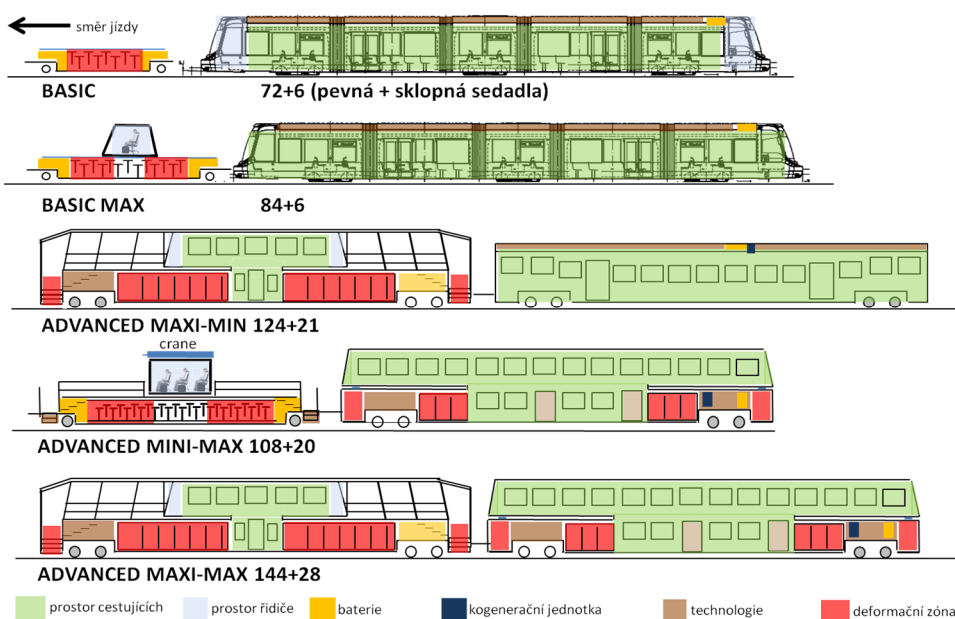
**Obr.7** výměna vybité trakční baterie za nabitou v konečné stanici

Za méně než 5 minut je k odjezdu připravena souprava sestávající z motorového vozu a z akumulátorového vozu s plně nabitou baterií. Není třeba ani supervýkonná nabíječka, ani těžká trakční baterie s obrovskou kapacitou.

Co je však potřeba, je nejméně jeden vůz s trakční baterií navíc. Zatímco náklady na další trakční baterii jsou plně vykompenzovány dvojnásobným kilometrickým proběhem, náklady na přídatný akumulátorový vůz (bez baterií) je třeba nějak kompenzovat, má-li být řešení ekonomicky efektivní. Přestože akumulátorové vozy pro řešení DUAL mohou být velmi jednoduché konstrukce (pro varianty BASIC a BASIC MAX), pro variant ADVANCED byla navržena vylepšená řešení, která jsou označována jako verze MINI, MIDI a MAXI.

Na **obr.8** jsou přehledně znázorněny varianty a verze **RegioTrans DUAL**

- BASIC a BASIC MAX - založené na bázi upraveného tramvajového vozidla
- ADVANCED MAXI-MIN, ADVANCED MINI-MAX a ADVANCED MAXI-MAX



**Obr.8** varianty a verze *RegioTrans DUAL* a jejich přepravní capacity

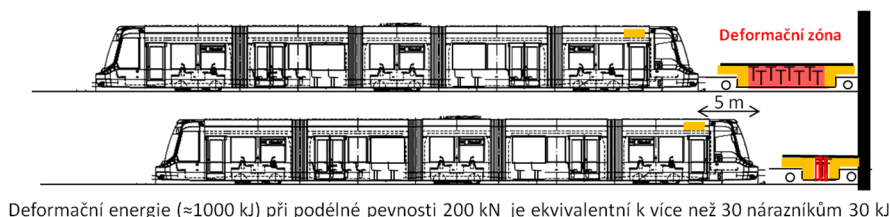
### 3.1 Varianta RegioTrans DUAL BASIC (obr.8)

Souprava vozidel ve variantě BASIC se skládá z multifunkčního akumulátorového a motorového vozu, tvořeného upraveným tramvajovým vozidlem, přičemž další multifunkční akumulátorový vůz ukládá do trakční baterie elektrickou energii v nabíjecí stanici.

#### 3.1.1 MULTIFUNKČNÍ AKUMULÁTOROVÝ VŮZ - VERZE BASIC a BASIC MAX (obr.8)

Výměnný multifunkční akumulátorový vůz, zařazený na čele soupravy DUAL, je určen především pro přepravu a výměnu trakční baterie a je na obou koncích vybaven automatickým spřáhlem s výkonovým kontaktem. Navrhovaná výška akumulátorového vozu je přibližně 1500 mm nad úroveň temene kolejnice (při úrovni očí řidiče 2 100 - 2 200 mm od TK) a nebrání řidiči motorového vozu ve výhledu.

Zařazení akumulátorového vozu před motorovým vozem nabízí možnost jeho současného využití jako mohutné deformační zóny s přijatou energií nejméně 2000 kJ za účelem ochrany motorového vozu v případě kolize (obr. 9). To umožňuje zvolit nižší úroveň pevnosti kolejového vozidla (EN12663 - např. P-IV nebo P-V) a podstatně snížit hmotnost železničního vozu ve srovnání se standardním železničním provedením vozidla. V důsledku toho bude součtová hmotnost motorového a akumulátorového vozu srovnatelná s hmotností železničního vozidla standardního provedení se stejnou kapacitou.



**Obr.9** deformační zóna akumulátorového vozu ochrání motorový vůz při kolizi

Trakční baterie umístěná na akumulátorovém voze nemusí tedy nutně zvyšovat hmotnost vozidla a tím i spotřebu energie. Naproti tomu trakční baterie umožňuje skladování rekuperované brzdové energie během brzdění a tím i snížení spotřeby energie. V závislosti na povaze trasy a počtu zastávek lze očekávat úspory energie ve výši 10 až 20%.

Z provozních důvodů je výhodné, aby část trakční baterie (cca 20%) byla umístěna na motorovém voze a dobývána především při rekuperačním brzdění a částečně i při staničení.

Přestože rozměry trakční baterie umístěné na samostatném akumulátorovém voze jsou značné, je v akumulátorovém voze mezi jeho podvozky dostatek místa pro umístění nízkého zavazadlového prostoru pro přepravu předmětů či zavazadlových kontejnerů s výškou do cca 1 m.

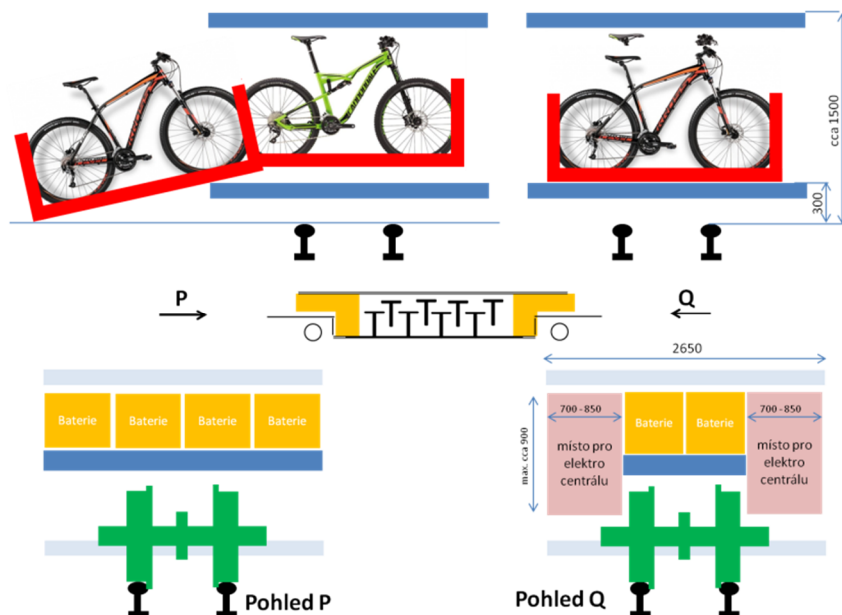
Velmi zajímavou je možnost přepravy poměrně značného množství jízdních kol (cca 20) či jiných malých (elektrických) vozidel v akumulátorovém voze (obr.10). To je důležité nejen pro turistické oblasti, ale také je to způsob, jak výrazně rozšířit regionální cyklistickou dopravu. Díky této intermodální regionální koncepci je možné s jízdním kolem absolvovat jízdu na trase desítek kilometrů relativně snadným, rychlým a ekologickým způsobem, přičemž baterie elektrokol lze



dobíjet během jízdy ve vlaku. Je možná i přeprava dalších malých elektrických vozidel. Uvedeným způsobem lze nahradit část regionální silniční dopravy.

Hmotnost plně naloženého akumulátorového vozu (včetně baterie) činí přibližně 20 t a vozu tak postačují dva jednonápravové podvozky. Oba podvozky jsou vybaveny jednostupňovou mechanickou brzdou a jedna náprava může být vybavena pomocným pohonem nízkého výkonu (například 30 kW) pro snadnou manipulaci v prostoru stanice.

Na akumulátorový vůz je možno umístit středovou kabinu řidiče. Kabina je buď obousměrná, nebo otočná. Toto provedení je nazváno BASIC MAX (**obr.8**) a umožňuje snížit náklady na jedno sedadlo, neboť plocha původních kabin řidiče na motorovém voze může být využita pro cestující.



**Obr.10** umístění baterií a přeprava jízdních kol v multifunkčním akumulátorovém voze

### 3.1.2 MOTOROVÝ VŮZ PRO PŘEPRAVU CESTUJÍCÍCH - VERZE BASIC, BASIC MAX (**obr.8**)

Díky ochranné funkci multifunkčního akumulátorového vozu může být motorový vůz lehké konstrukce (kategorie P-V nebo P-IV dle EN 12663).

Motorový vůz tak může být tvořen upraveným tramvajovým vozidlem. Podobným způsobem jsou dnes stavěna vozidla typu Tram-Train, která jsou ve srovnání s tramvajemi

- poněkud robustnější konstrukce kvůli ochraně cestujících při kolizi
- vybavena napájecím zdrojem pro železnice,
- opatřena odpovídajícím profilem kola,
- přizpůsobena nástupištím,
- schopna spojení s jinými železničními vozidly,
- kompatibilní se zabezpečovacím systémem a
- vybavena toaletou.

U navrhovaného bateriového vozidla typu RegioTrans DUAL zajišťuje ochranu proti kolizi a dodávku energie akumulátorový vůz. Motorový vůz také nemusí plnit všechny požadavky dané

tramvajovým provozem (např. náročné směrové a sklonové poměry, nízká nápravová zatížení či dynamické požadavky).

Vhodným motorovým vozem může být např. tramvajové vozidlo typu „Multigelenk“ o délce kolem 32 m, se třemi podvozky a nápravovým zatížením 12 t, před nímž je zařazen akumulátorový vůz.

Ve verzi BASIC MAX nemusí být motorový vůz vybaven kabinami řidiče (protože kabina řidiče je umístěna na akumulátorovém voze) a kapacita motorového vozu tak může být zvětšena.

### **3.2 Varianty DUAL ADVANCED (obr.8)**

Varianty DUAL ADVANCED zahrnují několik verzí s následujícími znaky,

- kabiny řidiče jsou umístěny na horním povrchu akumulátorového vozu a poskytují i místa pro cestující
- akumulátorový vůz získává nové funkce a může být provozován i samostatně
- motorový vůz je obvyklého železničního typu, avšak lehké tramvajové konstrukce; motorový vůz je vybaven jen nouzovými řidičskými stanovišti.

Jednotlivé verze akumulátorového i motorového vozu mohou být navzájem kombinovány s cílem optimálního přizpůsobení dopravním potřebám.

#### **3.2.1 AKUMULÁTOROVÝ VŮZ - VARIANTA DUAL ADVANCED**

Akumulátorový vůz má tři verze – MINI-, MIDI- nebo MAXI-.

##### **3.2.1.1 Akumulátorový vůz DUAL ADVANCED MINI- (obr.8)**

se podobá akumulátorovému vozu DUAL BASIC MAX. Jedná se také o dvounápravový vůz o délce až cca 17 m, který nese v oblasti podvozků trakční baterii o kapacitě cca 80-90% celkové kapacity. Ve střední části vozu je vytvořen prostor pro převoz jízdních kol, jehož velká část (kromě vyztuženého prostoru pod kabinou) slouží jako rozsáhlá deformační zóna schopná absorbovat energii nárazu nejméně cca 2000 kJ.

Oproti akumulátorovému vozu v provedení BASIC MAX je kabina řidiče prodloužena a poskytuje i několik sedadel pro cestující (cca 8 – 10). Kabina může být otočná ve směru jízdy. Kabina je umístěna uprostřed horní plochy akumulátorového vozu a je přístupná po schodištích umístěných na obou koncích vozu a dveřmi na obou čelech kabiny. Prostor mezi čely kabiny a čely vozu může být zastřešen.

Další změnou je výkonný elektrický pohon, který pohání nejméně jedno dvojkolí. Akumulátorový vůz je tak schopen běžného traťového provozu a může sloužit např. jako vozidlo pro zvláštní doplňkové služby nebo pro lehký posun.

Nápravové zatížení do cca 12 t.

### **3.2.1.2 Akumulátorový vůz DUAL ADVANCED MIDI-**

Oproti verzi MINI je vůz delší (délka max. cca 25 m) a je vybaven dvěma dvounápravovými podvozků, z nichž nejméně jeden je poháněn dostatečně výkonným elektrickým pohonem. Kabina je prodloužena a pojme nejméně 8 cestujících. Nápravové zatížení do cca 10 t.

### **3.2.1.3 Akumulátorový vůz DUAL ADVANCED MAXI- (obr.8)**

Oproti verzi MIDI je kabina prodloužena na délku cca 12 m, nabízí cca 40 sedadel a je neotočná. Uprostřed spodního patra (mezi dvěma deformačními zónami) jsou umístěny prostor pro cestující se sníženou pohyblivostí a toaleta. Samostatný vůz je schopen poskytovat přepravní služby především mimo přepravní špičku.

### **3.2.2 MOTOROVÝ VŮZ DUAL ADVANCED**

Motorový vůz může být ve verzi MIN nebo MAX.

#### **3.2.2.1 Motorový vůz DUAL ADVANCED MIN – obr.8**

Jedná se o dvoupodvozkový jednopatrový nízkopodlažní osobní vůz o délce cca 25 m s prostory pro nízkopodlažní nástup a výstup, pro sedící cestující, s toaletou a hygienickým koutem a s prostorem pro imobilní cestující.

Vzhledem k tomu, že proti kolizi je vůz chráněn vpředu připojeným akumulátorovým vozem s rozsáhlými deformačními zónami, může být vůz lehkého provedení s pevností obdobnou tramvajím (EN 12663, kategorie P-V nebo P-IV). To dává možnost, že ani při plném ložení nebude nápravové zatížení vyšší než cca 10 t.

Jeden podvozek je poháněn elektrickým pohonem s dostatečným výkonem napájeným z trakční baterie, jejíž větší část (80-90%) je uložena na akumulátorovém voze a menší část (10-20% - pomocná trakční baterie) na motorovém voze. Baterie uložená v motorovém voze se dobíjí přednostně při rekuperačním brzdění a při krátkých pobytech v konečných stanicích.

Motorový vůz je dále vybaven dieselovou nebo benzínovou kogenerační jednotkou o výkonu generátoru cca 20-30 kW a o topném výkonu cca 40-60 kW. Generátor (spolu s pomocnou trakční baterií) je schopen pohánět motorový vůz v částečně omezeném provozním režimu nebo pomalu dobíjet trakční baterii, topný výkon kogenerační jednotky je pak schopen vozidlo v nouzovém režimu vytápět.

#### **3.2.2.2 Motorový vůz DUAL ADVANCED MAX (obr.8)**

Na rozdíl od provedení MIN se jedná o dvoupatrový vůz, kde horní patro je určeno pro sedící cestující a uprostřed spodního patra je nástupní prostor, prostor pro imobilní cestující a hygienický kout. Spodní a horní patro jsou spojeny přibližně uprostřed dvojitém schodištěm.

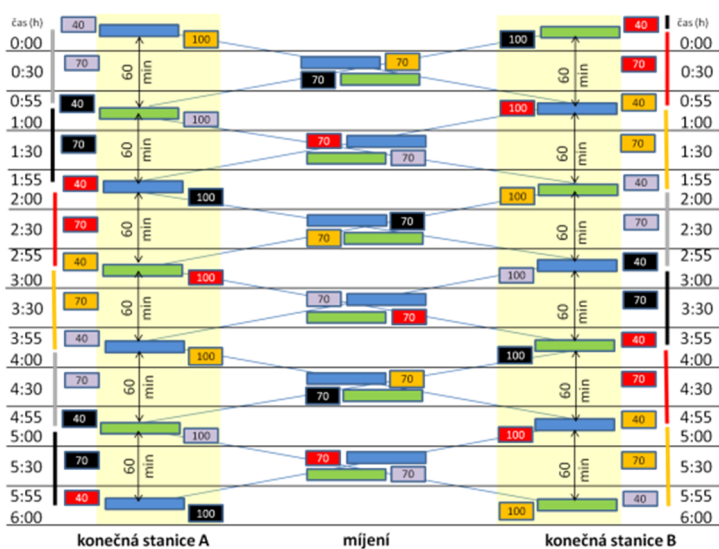
Spodní patro vyhrazené pro cestující, zavazadla a zásilky je ohraničeno oběma podvozků, nad nimiž a kolem nichž jsou umístěny trakční pohon, pomocná trakční baterie, kogenerační jednotka a další technologie. Konce spodního patra přilehlé k podvozkům mohou být použity také pro převoz zásilek (např. jízdních kol) a vytvořeny jako deformační zóny. V tom případě jsou horní a dolní patro na svých koncích horizontálně odděleny, aby při eventuální kolizi horní patro zůstalo neporušeno.



## 4 PROVOZ

U obou verzí BASIC a BASIC MAX a u verzí ADVANCED MINI- a MIDI- je provozní režim stejný. To znamená, že motorový vůz (M) je provozován kyvadlově mezi koncovými stanicemi a v koncových stanicích je vyměňován jen akumulátorový multifunkční vůz s vybitou trakční baterií za jiný vůz s již nabitou trakční baterií. Multifunkční akumulátorový vůz má stejné funkce (tedy nese trakční baterii, slouží jako deformační zóna a přepravuje jízdní kola a jiná zavazadla). Kromě verze BASIC jsou všechny verze akumulátorového vozu opatřeny kabinou řidiče a vlastním pohonem, což umožňuje snadné manévrování, u verze Advanced MINI- i pomocný traťový provoz. Kromě verze BASIC u všech verzí motorového vozu jsou kabiny řidiče nahrazeny prostorem cestujících, obsahujícím pouze pomocný řidičský pult.

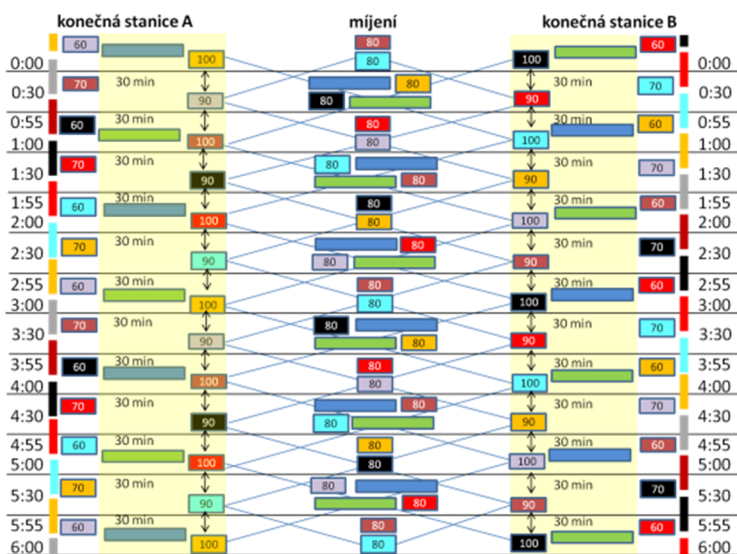
Nejmenší možný počet vozidel pro regionální trať, s dobou jízdy mezi oběma koncovými stanicemi přibližně 1 hodinu, jsou jeden motorový vůz pro přepravu cestujících a dva multifunkční akumulátorové vozy. V tomto případě postačuje jen jedna nabíjecí stanice umístěná v jedné z



koncových stanic, přičemž kapacita trakční baterie musí (s rezervou) odpovídat dvojnásobku vzdálenosti mezi koncovými stanicemi. Lze tak nabídnout cestovní spojení každé 2 hodiny.

Chceme-li mít cestovní spojení každou hodinu, je třeba takovou regionální trať vybavit dvěma motorovými vozy (M), čtyřmi multifunkčními akumulátorovými vozy (A) a nabíjecími stanicemi v obou koncových stanicích (**obr. 11**).

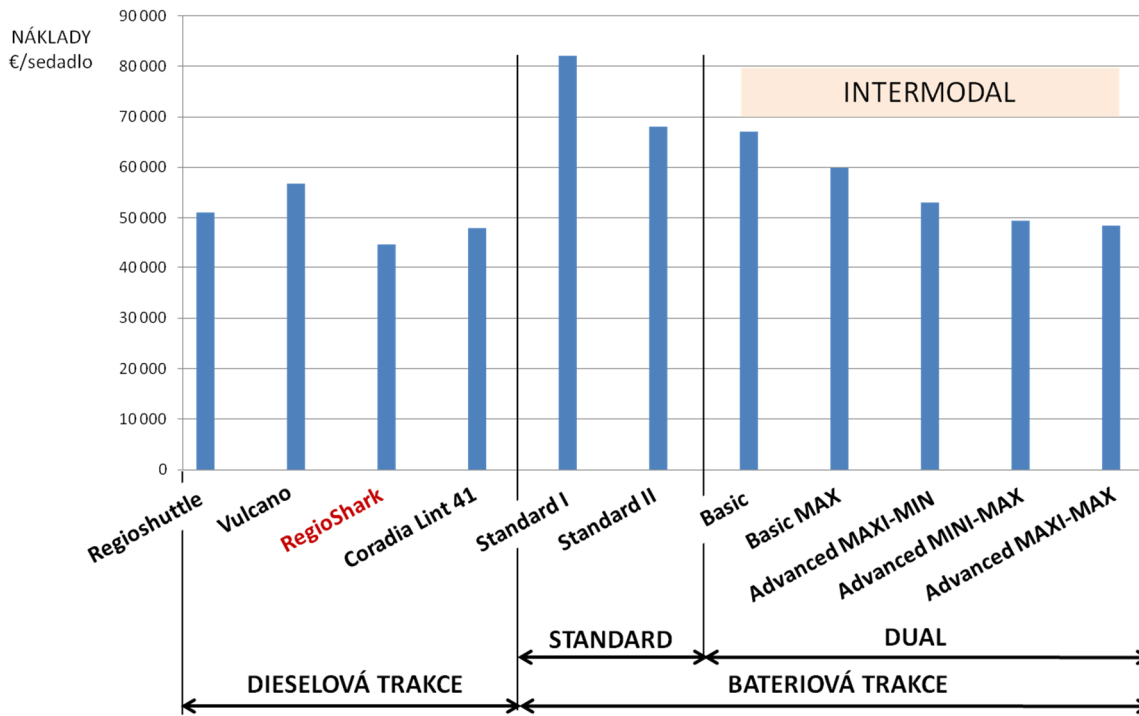
**Obr.11** dva motorové a čtyři akumulátorové vozy zajišťují spojení každých 60 minut



Verze ADVANCED MAXI- nabízí zajímavou doplňkovou možnost. Pokud jsou použity dva motorové vozy a šest akumulátorových multifunkčních vozů typu MAXI-, může být k dispozici cestovní spojení každou půlhodinu (**obr. 12**). V takovém případě se budou střídát soupravy s plnou dopravní kapacitou s vozy typu MAXI- s nižší kapacitou. Kromě kapacity budou poskytované služby shodné.

**Obr.12** dva motorové a šest akumulátorových vozů zajistí spojení každých 30 minut

## 5 POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ DIESELOVÉ A BATERIOVÉ TRAKCE (obr.13)



Obr.13 porovnání součtu investičních nákladů a nákladů na energii pro 3 000 000 km

Porovnání nákladů bylo provedeno pro čtyři motorové vozy s dieselovým pohonem (Stadler, Newag, Pesa a Alstom) a pro pět hypotetických variant bateriových elektrických vozů, z nichž dvě je možno považovat za standardní (s nevýměnnou trakční baterií umístěnou v motorovém voze, lišící se výkonem nabíjecích stanic a dobou nabíjení – označeno jako STANDARD I a STANDARD II), a tři mají výměnnou baterii umístěnou na přípojném voze, tzn. varianty BASIC a BASIC MAX a varianty ADVANCED MAX-MIN, MINI-MAX a MAXi-MAX.

Základem srovnání je součet investičních nákladů (do vozidel, trakčních baterií, nabíjecích stanic) a nákladů na energii na trase 3 miliony km vztažený na jedno sedadlo (pevná a sklopná sedadla). Pro srovnání byly použity tržní ceny vozidel z období 2010–2015 a u hypotetických bateriových variant ceny od tržních cen odvozené.

Náklady dieselové trakce činí přibližně 50 000 € na jedno sedadlo. Bateriové řešení Standard I má výrazně vyšší náklady - více než 80 000 € na jedno sedadlo - a proto není konkurenceschopné. Je to dáno především tím, že pro toto řešení je nutné pořídit pro zajištění stejné služby dvojnásobek vozidel, přičemž polovina vozidel vždy stojí za účelem dobíjení trakční baterie. Vozidla však ujedou celkem jen poloviční vzdálenost a jsou tedy méně opotřebovaná a vyžadují méně údržby, což může prodloužit jejich životnost.

Náklady bateriové trakce Standard II jsou nižší než 70 000 EUR na jedno sedadlo. Není nutné kupovat dvojnásobek vozidel, ale potřebné vysokovýkonné dobíjecí stanice jsou náročné na investice a náročné je i chlazení trakčních baterií při dobíjení vysokým proudem.

Obě standardní verze bateriových vozidel I a II jsou však podstatně dražší než dieselová trakce, a proto je prozkoumávána i varianta DUAL, kde je trakční baterie umístěna na samostatném multifunkčním akumulátorovém voze, takže motorový vůz není ve svém použití nijak omezován.

Varianta DUAL BASIC (přizpůsobené tramvajové vozidlo s multifunkčním akumulátorovým vozem) má podobné náklady na sedadlo jako bateriová varianta STANDARD II. U varianty DUAL BASIC MAX, ve které je kabina řidiče přesunuta na akumulátorový vůz, se náklady na sedadlo (pod 60 000 Euro) již shora blíží nejdražší dieselové variantě.

Varianty DUAL ADVANCED MAX-MIN, MIN-MAX a MAX-MAX (nově koncipovaná vozidla) s náklady i pod 50 000 € na sedadlo jsou pak srovnatelné s variantami s dieselovým pohonem. A navíc jsou všestrannější a nabízejí regionální intermodalitu.

Varianty DUAL ADVANCED používají dvou různých vozidel – motorového osobního vozu bez řidičských stanovišť velmi lehké konstrukce pro přepravu cestujících a poháněného akumulátorového vozu s řidičským stanovištěm s několika integrovanými funkcemi – výměna trakční baterie, deformační zóny, přeprava jízdních kol, servisní služby i přeprava omezeného počtu cestujících. Ačkoliv je tento koncept vozidla neobvyklý, používá již existující technologie spojené v jednom vozidle v jeden celek.

## 6 ZÁVĚR

Lze říci, že při použití konceptu DUAL ADVANCED mohou bateriová vozidla nahradit diesellovou trakci na neelektrifikovaných regionálních tratích bez zvýšení nákladů. Koncept DUAL ADVANCED tak nejenže efektivně chrání životní prostředí, ale nabízí i jednoduchou intermodalitu, která může vést k většímu využívání regionálních železnic a k poklesu silniční dopravy. Klíčem k tomu je koncepční úprava kolejových vozidel (**obr.14**).



**Obr.14** designové ztvárnění bateriového vozidla RegioTrans DUAL ADVANCED MAXI-MIN (arch. Pelikán, arch. Siebert)