

# Zkušenosti s provozem parciálního trolejbusu

**Datum: 7. 10. 2016**

**Dopravní společnost Zlín-Otrokovice, s.r.o.**

**Vypracoval: Ing. Ivana Hurtová a kolektiv**

# Zkušenosti s provozem parciálního trolejbusu

## Abstract

Tento příspěvek se zabývá představením nové technologie lithium-titanátových trakčních baterií (nLTO) s využitím nanokrystalů, jako zásobníku energie pro vozidlo městské hromadné dopravy. Dopravní společnost Zlín-Otrokovice (DSZO) pořídila v rámci zkušebního provozu v roce 2016 nový trolejbus Škoda 26 Tr vybavený trakčními bateriemi (nLTO). Tento parciální trolejbus bude nasazován na stávající linky a také budou tímto vozidlem nahrazeny linky provozované kloubovými autobusy. Vzhledem ke krátké době provozu v DSZO, budou níže uvedeny výsledky zkušebních jízd na dvou linkách výše uvedeného vozidla a jeho porovnání s vozidlem Škoda 24 Tr (karoserie Citelis) s dieselaagregátem (AG) pro nezávislý dojezd. Na závěr bude provedeno vyhodnocení zkušebního provozu obou vozidel po stránce spotřeby nafty a energie na 1 km.

## Úvod

Elektromobilita je slibný koncept v městských aglomeracích, který se staví šetrně k životnímu prostředí. Ve většině případů jsou vozidla poháněna energií získanou spalováním produktů z neobnovitelných zdrojů – ropy. Jednou z cest, jak snížit spotřebu energie získávané spalováním ropných produktů, je elektrifikace individuální a hromadné dopravy v hustě osídlených oblastech.

Důležitý je ale i tlak na ochranu životního prostředí a kvalitu života ve městech. Stále více lidí žije a pracuje ve městech a městských aglomeracích. Emise z dopravy se zvláště poté, co se podařilo výrazně snížit emise ze stacionárních zdrojů, stávají stále významnějším problémem. Podobná situace se týká i hluku, kdy zejména díky dopravě je stále větší počet obyvatel dlouhodobě vystaven nadměrné hlukové zátěži.

Důvody, které vedly DSZO k myšlence pořízení trolejbusů s trakčními bateriemi je ekonomika provozu, jako např. vyšší využitelnost rekuperované elektrické energie, nižší přímé provozní náklady na energii, či menší nároky na údržbu. Dále je to ekologické hledisko, jako například nulové přímé emise, nižší hladina hluku, absence motorového oleje a jeho likvidace. Mezi další důvody patří obslužnost nových městských částí, odstranění souběhů linek, nebo optimalizace složení vozového parku a využití vozidel. Cílem pořízení parciálních trolejbusů Škoda 26 Tr je vytvořit atraktivní a cenově efektivní řešení a elektrifikovat tak větší podíl veřejné dopravy s využitím stávajícího trakčního vedení.

V roce 2016 byl pořízen v rámci zkušebního provozu 12 m parciální trolejbus Škoda 26 Tr s karoserií Solaris. K jeho pohonu slouží asynchronní motor Škoda o výkonu 160 kW. Jako zásobník energie slouží baterie s technologií nLTO o kapacitě 70 Ah se smluvní garancí dojezdu 12 km. Reálně se však v průběhu jízdních zkoušek dosahuje lepších parametrů. Cena trolejbusu bez pomocného pohonu Škoda 26 Tr se v závislosti na výbavě pohybuje mezi 10 a 11 miliony Kč (bez DPH) a stejný typ tohoto vozidla s trakčními bateriemi nLTO stojí dle výbavy cca 12 mil. Kč (bez DPH). Trolejbus Škoda 24 Tr s dieselaagregátem, který je součástí experimentu v tomto příspěvku, byl pořízen cca za 11,5 mil. Kč (bez DPH). Uvedené ceny jsou ceny obvyklé na trhu.

Studie uvedená v tomto příspěvku vznikla za podpory Dopravní společnosti Zlín-Otrokovice v časově omezeném období a s ohledem na možnosti testu zkušebního provozu. Vozidla zapůjčena DSZO vyjela ve stejný čas a dále pokračovala v jízdě těsně za sebou. Byly vytvořeny relevantní podmínky pro měření a shromažďování dat ze záznamového zařízení. Získaly se tak nové informace ze zkušebního provozu na vybraných linkách DSZO.

## Lithium Titanate Battery

The lithium–titanate battery is a rechargeable battery that is much faster to charge than other lithium-ion batteries. It differs from other lithium-ion batteries because it uses lithium-titanate on the anode surface rather than carbon. This is advantageous because it does not create an SEI layer (Solid Electrolyte Interface), which acts as a barrier to the ingress and egress of Li-ion to and from the anode. This allows lithium-titanate batteries to be recharged more quickly and provide higher currents when necessary. A disadvantage of the lithium-titanate battery is a much lower capacity and voltage than the conventional lithium-ion battery [2].

The lithium–titanate battery is a type of rechargeable battery, which has the advantage of being faster to charge than other lithium-ion batteries [3].

A lithium–titanate battery is a modified lithium-ion battery that uses lithium-titanate nanocrystals on the surface of its anode instead of carbon. This gives the anode a surface area of about 100 square meters per gram, compared with 3 square meters per gram for carbon, allowing electrons to enter and leave the anode quickly. This makes fast recharging possible and provides high currents when needed [8].

A disadvantage of lithium-titanate batteries is that they have a lower inherent voltage (2.4 V), which leads to a lower specific energy of about 30-110Wh/kg [4] than conventional lithium-ion battery technologies (which have an inherent voltage of 3.7 V) [5].

Although the cells have a lower voltage and capacity than other lithium-ion battery technologies, the LTO chemistry compensates for that by offering a larger functional state of charge range [5].

Lithium titanate batteries differ from standard lithium ion batteries as the graphite anode is replaced with an anode of nano lithium titanate (nLTO). The use of nLTO in Altairnano's cell technology produces distinctive performance attributes [6]:

Industry leading cycle life

- >16,000 cycles at 100% depth of discharges at 25°C

Extremely high charge rates

- Demonstrated charging 0% SoC to 100% SoC in 10 minutes

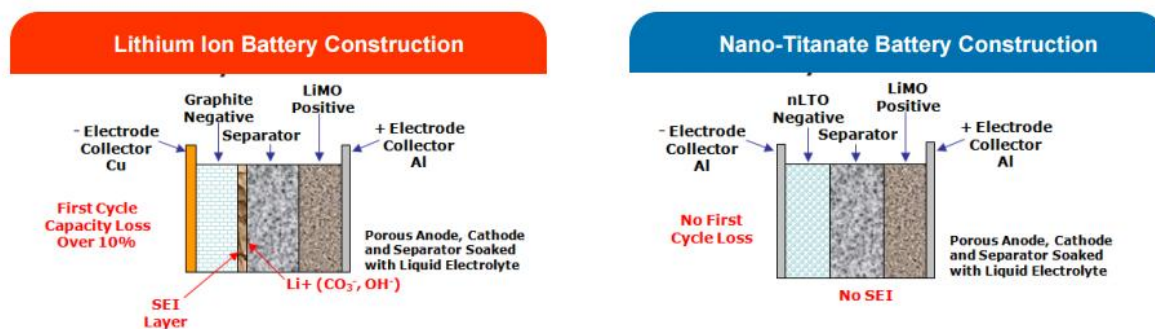
True cold temperature operation

- Able to charge/discharge at -40°C with usable C-rates greater than 1 C

Safe technology

- By removing graphite from the system the cell technology has reduced or eliminated most of the safety failure modes present in common lithium ion and other battery technologies

Nano-titanate has exceptional morphology resulting in nano-titanate batteries being a sizeable improvement over standard lithium-ion batteries (obr. 1) [7]



Obr. 1 Improvement nano-titanate batteries over standard lithium-ion batteries [7]

### Graphite material provides

- ✓ High reactivity with electrolyte:  
Forms resistive SEI layer
- ✓ Two dimensional strained crystal lattice:  
Limited Li-ion insertion rates
- ✓ Low surface area:  
Slow charged kinetics
- ✓ SEI layer poisoning/decomposition:  
Limited thermal stability

### Nano-Li titanate spinel mater. provides

- ✓ Low reactivity with electrolyte:  
No resistive layer forms
- ✓ Zero strain, 3D crystal lattice:  
Stability and better kinetics
- ✓ High surface area:  
Fast charged kinetics
- ✓ No SEI layer  
Excellent thermal stability [7]

## Technický popis trakčních baterií využívaných ve vozidle Škoda 26 Tr

Trakční baterie jsou určeny k pohonu trolejbusu bez využití trolejového vedení. Jsou určeny k zástavbě do uzavřené části karoserie vozidla. Ve vozidle jsou 2 boxy trakčních baterií, které jsou zapojeny v sérii pomocí rozvaděče baterie. Jeden box trakční baterie je znázorněn na obrázku 2 [1].



Obr. 2 Kontejner trakční baterie [autor]

Kontejner obsahuje vlastní trakční baterii, která se skládá ze 14 bateriových nLTO modulů a 14 monitorovacích jednotek. Trakční baterie jsou umístěny na chladičích, kterými se odebírají výkonové ztráty vzniklé výkonovými požadavky kladené na trakční baterii provozem vozidla[1].

Trakční baterie jsou navrženy pro 15 jízdých cyklů o délce jízdy 8 km za den při plném vytížení vozidla a při jízdě po rovině v městském provozu (zastavení průměrně každých 300 m), nebo jednorázově 12 km za den. Přitom je uvažován 30% výkon topení

a plný výkon klimatizace v salónu a plný výkon topení kabiny řidiče. V rámci každého cyklu je dodržen poměr doby jízdy pod trolejovým vedením vůči jízdě na trakční baterie 2:1. Jedná se o nehlukný a bezemisní provoz s absencí spalovacího motoru. Parciální trolejbusy jsou konstruovány pro možný provoz na troleji při demontáži trakčních baterií [1].

## Popis trolejbusu Škoda 26 Tr vybaveného trakčními bateriemi

Parciální trolejbus Škoda 26 Tr byl vyroben v roce 2016. Jedná se o nízkopodlažní trolejbus vyrobený společností Škoda Electric se jmenovitým výkonem 160 kW a provozem na 600 V. Tento třídvéřový trolejbus s celkovou kapacitou vozidla 80 cestujících má v interiéru 24 sedadel a tři sedadla jsou sklopná. Maximální rychlost je 65 km/h při celkové dovolené hmotnosti zatíženého vozidla 18 000 kg a hmotností prázdného vozidla 12 820 kg. Šířka vozidla činí 2,55 metru a délka vozidla je 12 metrů. Trolejbus je vybaven klimatizací v prostoru pro řidiče i salónu pro cestující (obr. 3).



Obr. 3 Škoda 26 Tr s nLTO bateriemi [autor]



Obr. 4 Kompletní soustava trakčních baterií umístěných ve vozidle [autor]

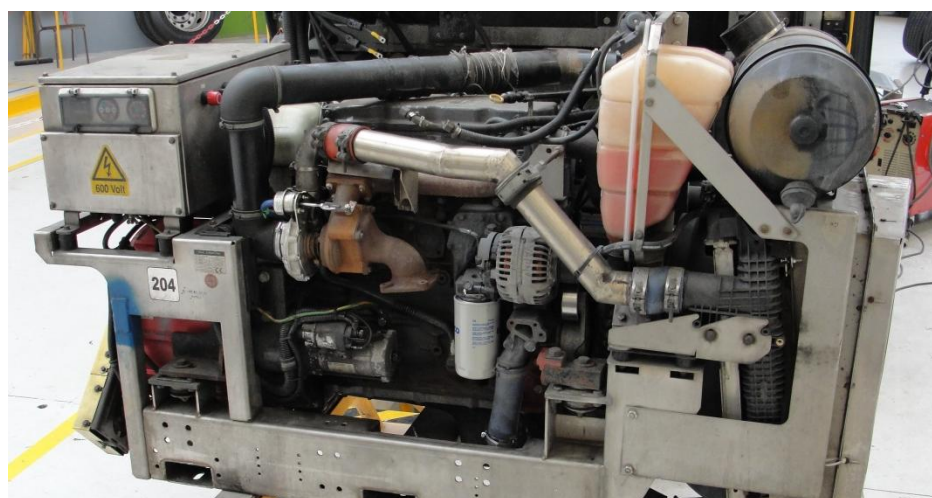
Soustava trakčních baterií sestávající ze dvou boxů a rozvaděče baterií jsou umístěny v zadní části vozidla (obr. 4). Baterie se začnou nabíjet, jakmile se nasadí na trolejové vedení. Pracovní teplotní rozsah těchto nLTO baterií je od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Popis trolejbusu Škoda 24 Tr vybaveného dieselaagregátem

Škoda 24 Tr s pomocným dieselaagregátovým pohonem (obr. 5) byl vyrobený v roce 2014. Jedná se o nízkopodlažní trolejbus Škody Electric. Moderní asynchronní trakční motor a mikroprocesorově řízený napěťový střídač s možností rekuperace, výrazně snižují energetickou náročnost na provoz vozidla a náklady na údržbu. Maximální rychlost vozidla je 65 km/h se jmenovitým výkonem 210 kW a provozem na 600 V o přepravní kapacitě 30 míst k sedění a 56 míst k stání. Prázdné vozidlo váží 12 800 kg. Pomocný dieselaagregát s výkonem 100 kW je umístěn v zadní části vozidla.



Obr. 5 Škoda 24 Tr s pomocným dieselaagregátovým pohonem [autor]



Obr. 6 Pomocný dieselaagregátový pohon [autor]

Na obrázku 6 je pomocný dieselaagregátový pohon, který umožňuje i v běžném provozu pokračovat v jízdě při výpadku proudu a umožňuje jízdu na úsecích mimo trakční vedení.

## Experimentální část

Parciální trolejbus Škoda 26 Tr je vybavený trakčními bateriemi využívajícími nano lithium–titanate technologii (nLTO). Baterie s technologií nanokrystalů montuje společnost ŠKODA ELECTRIC do trolejbusů od roku 2013. Mezi provozovatele těchto vozidel patří například švédské město Landskrona. Další podobné trolejbusy byly dodány například do Itálie, nebo Španělska.

Nevýhodou baterií je kratší životnost, než je životnost celého vozidla nebo životnost dieselařegátu. Tato nevýhoda je však kompenzována minimálními nároky na údržbu a výrazně nižšími provozními náklady. Jelikož je popisovaný parciální trolejbus provozován prozatím krátkodobě, nejsou zatím zmapovány praktické zkušenosti s životností baterií a poklesem kapacity. To bude možné reálně zhodnotit až po několika letech provozu.

Využití trakčních baterií v trolejbusech vozového parku Dopravní společnosti Zlín–Otrokovice není zcela obvyklé a prozatím ani v jiných vozových parcích žádného dopravního podniku v ČR. DSZO je tak prvním dopravcem v České republice, který pořídil tento čistě ekologický, tichý a bezemisní trolejbus s trakčními bateriemi. Protože ekologické hledisko v moderní společnosti hraje stále větší roli, vytýčilo si město Zlín jasné cíle: čisté ovzduší a ekologická doprava.

Parciální trolejbus Škoda 26 Tr představený v tomto příspěvku byl v rámci zkušebního provozu nasazen na linku č. 12 a nově navrhovanou linku č. 34N se simulací reálného provozu a zastavováním v každé zastávce dle platného jízdního řádu.

### Linka 12

Na lince 12 jsou v současné době nasazeny trolejbusy s pomocným dieselařegátem, neboť část této linky vede po okrajové části aglomerace bez trakčního vedení (obr. 7).

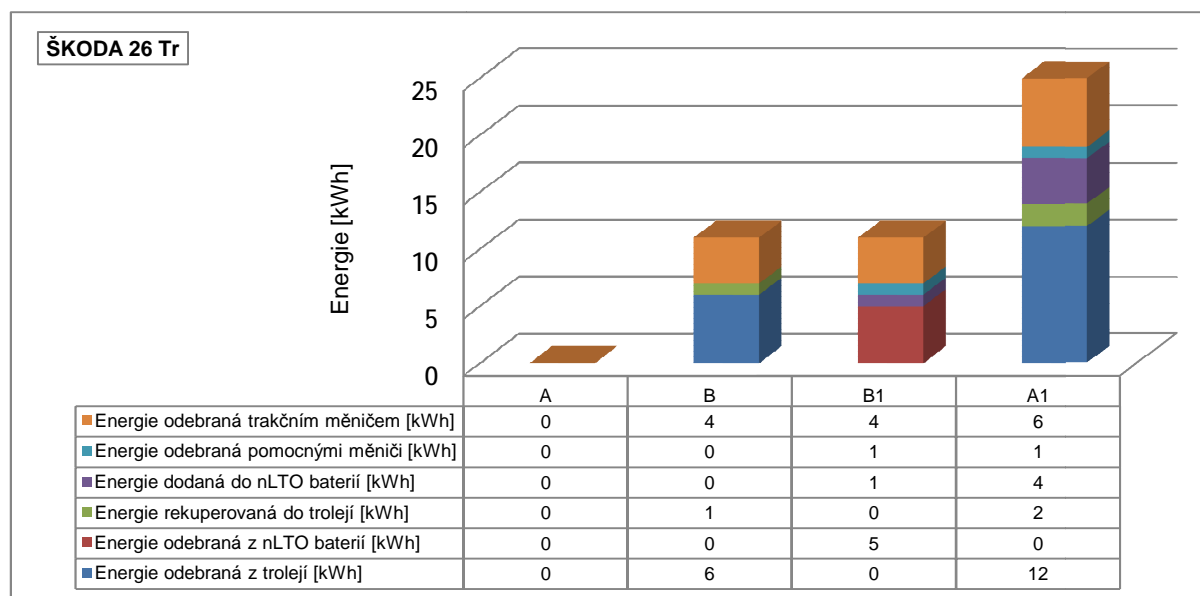


Obr. 7. Linka 12 [autor]

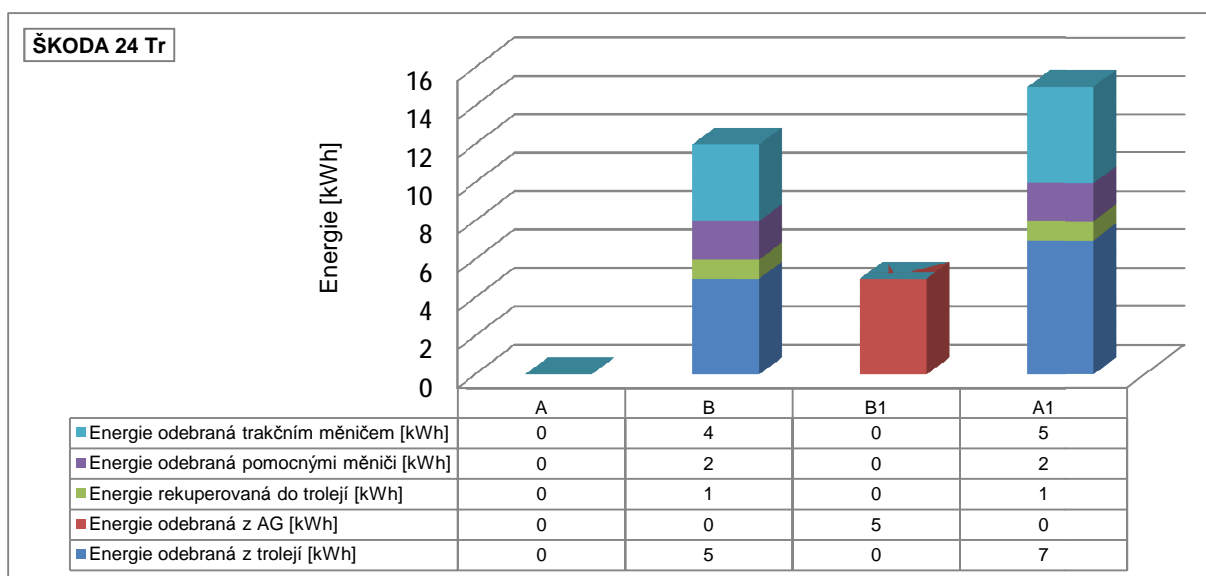
Jedna část této linky v délce 9 km je vedena pod trolejovým vedením (červená barva) a další část linky v délce 5 km sestává z úseku bez trolejového vedení (modrá barva). Vozidla vyjíždějí a vrací se do stejného místa. Celková délka linky 12 je 14 km.

Ze zastávky označené písmenem **A** vyjela vozidla na elektrickou trakci. V místě bodu **B** vozidla dále pokračovala na pomocný pohon se staženými sběrači do háků, umístěných na střeše vozidel. Po projetí trasy bez trolejového vedení se v bodu **B1** opět rozjela na elektrickou trakci a pokračovala do bodu **A1**, který také představuje místo výjezdu. Naměřená data obou vozidel jedoucích na lince 12 jsou znázorněna na obrázku 8 a 9.

Vzdálenost jednotlivých úseků: **A – B**: 4 km; **B – B1**: 5 km; **B1 – A1**: 5 km.



**Obr. 8** Naměřená data z provozu na jednotlivých úsecích na lince 12 u trolejbusu Škoda 26 Tr [autor]



**Obr. 9** Naměřená data z provozu na jednotlivých úsecích na lince 12 u trolejbusu Škoda 24 Tr [autor]



## Kapacita trakčních baterií parciálního trolejbusu Škoda 26 Tr na lince 12

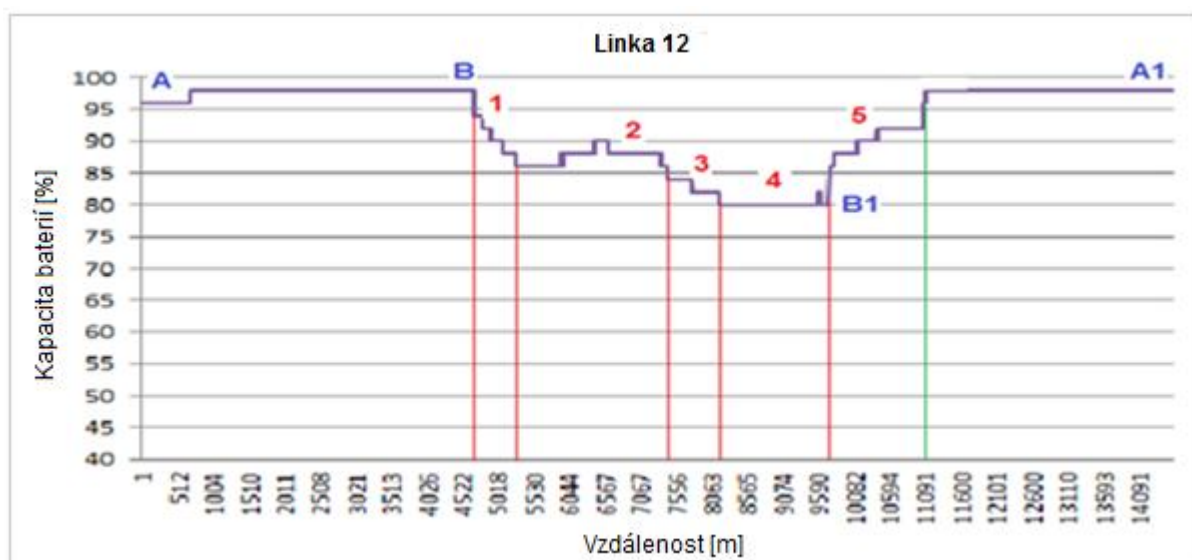
Na níže uvedeném obrázku č. 10 je podrobný popis jízdy parciálního trolejbusu na lince 12 a kapacity baterií nLTO. Bod **A** vyznačuje start a jízdu do bodu **B**, která vedla pod trolejovým vedením. V bodu **B**, kde začínal nezatrojevaný úsek, se vozidlo rozjelo se staženými sběrači a na trakční baterie nLTO. Parciální trolejbus zajížděl do příměstské části a vrátil se na stejné místo, ze kterého vyjížděl na trakční baterie. Pro lepší přehlednost je toto místo znázorněné bodem **B1**. Dále vozidlo pokračovalo po trase s jízdou na trakci až do místa bodu **A1**. Tento bod představuje místo výjezdu.

*Detailní popis jízdy na trakční baterie a jejich opětovné nabíjení je rozděleno do 5 úseků (obr. 10):*

1. úsek – vozidlo se rozjelo na trakční baterie s plně našlápnutým pedálem jízdy vpřed do mírného stoupání, než dosáhlo maximální rychlosti 65 km/h (rychlost je na uvedenou hodnotu omezena softwarově); této maximální rychlosti bylo dosaženo za 45 sekund a po ujetí 516 metrů.
2. úsek – rozjeté vozidlo pokračovalo bez sešlápnutého akcelérátoru (je zde zaznamenána výrazná rekuperace do baterií a navýšení kapacity baterie) a jízda po rovině
3. úsek – tento úsek se skládá z jízdy do mírného stoupání
4. úsek – jízda pokračovala po rovině s lehce sešlápnutým pedálem akcelerace, než bylo vozidlo zastaveno v bodu **B1**; sběrače byly nasazeny na trolejové vedení a jízda pokračovala na elektrickou trakci
5. úsek – tato část trasy představuje návrat pod trolejové vedení a jízdu s napájením z trolejového vedení s nabíjením trakčních baterií; plné nabití baterií trvalo 7 minut po ujetí dráhy 1,4 km

**Jízda na trakční baterie** (úsek 1-4) trvala 14 minut po ujetí dráhy 5 km.

**Plné nabití trakčních baterií** (úsek 5) trvalo 7 minut po ujetí dráhy 1,4 km.



Obr. 10 Kapacita trakčních baterií trolejbusu Škoda 26 Tr na lince 12 [autor]

## Návrh nové linky 34N

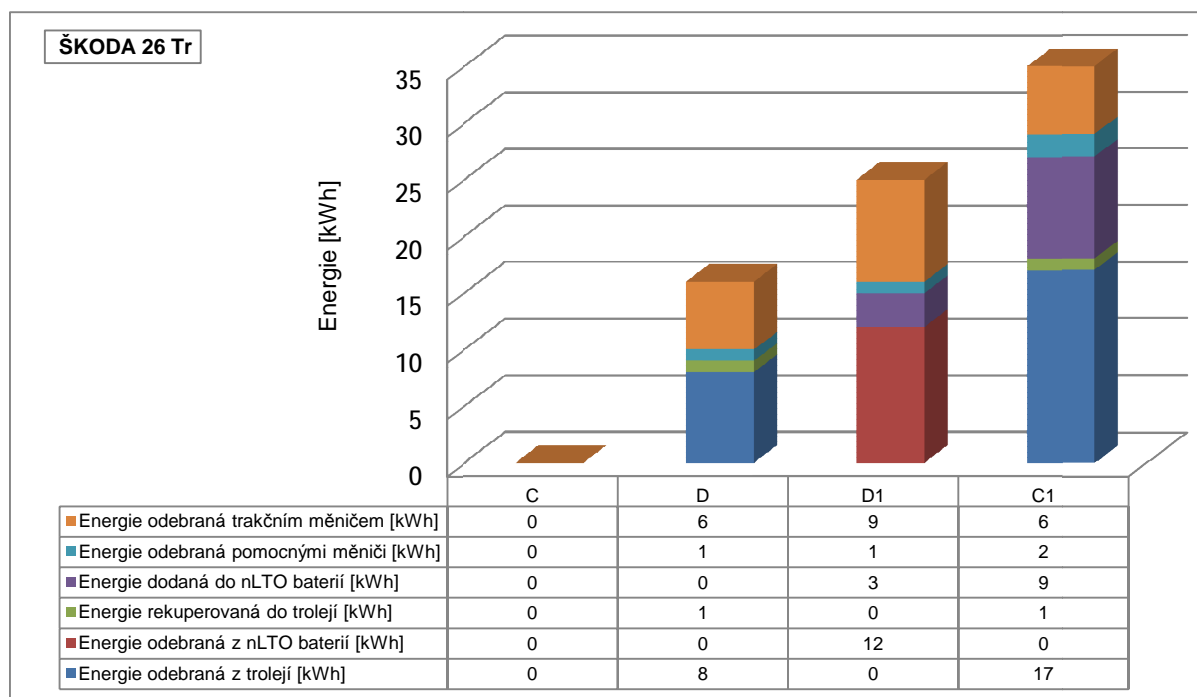
Nově navrhovaná linka 34N (obr. 11) je navržena ze stávající linky 4, na které jezdí pouze trolejbusy a úsek vede po zatrolejovaném úseku v délce 11,5 km (červená barva) a dále z linky 4 a 34 v délce 10,5 km (červená a modrá barva). Část linky 34 označena modrou barvou, která vede do příměstské části města Zlína, je úsek, který není vybaven trolejovým vedením a ani do budoucna se s jeho realizací nepočítá. Nová linka 34N bude koncipována pro cca 4-5 trolejbusů s trakčními bateriemi.



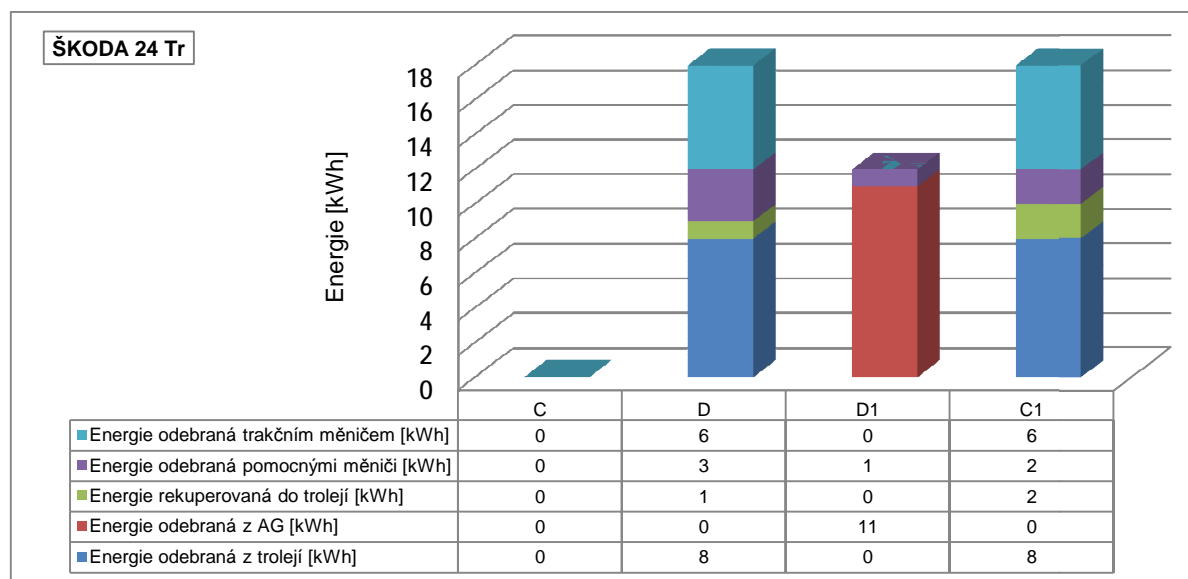
Obr. 11 Linka 34N [autor]

Naměřená data ze zkušebního provozu na lince 34N s parciálním trolejbusem Škoda 26 Tr a trolejbusem Škoda 24 Tr s dieselagregátem jsou zobrazena na obrázku 12 a 13. Vozidla vyjela ze zastávky označené písmenem **C** (obr. 11) na elektrickou trakci do zastávky **D**. Vzdálenost tohoto úseku je 6 km. Od místa bodu **D** jela vozidla po trase bez trolejového vedení v úseku 10,5 km až do bodu **D1**. Dále pokračovala po trase dlouhé 5,5 km na trolejovém vedení do místa výjezdu označené bodem **C1**.

Vzdálenost jednotlivých úseků: **C – D**: 6 km; **D – D1**: 10,5 km; **D1 – C1**: 5,5 km



**Obr. 12** Naměřená data z provozu na jednotlivých úsecích na lince 34N u trolejbusu Škoda 26 Tr [autor]



**Obr. 13** Naměřená data z provozu na jednotlivých úsecích na lince 34N u trolejbusu Škoda 24 Tr [autor]

## Kapacita trakčních baterií parciálního trolejbusu Škoda 26 Tr na lince 34N

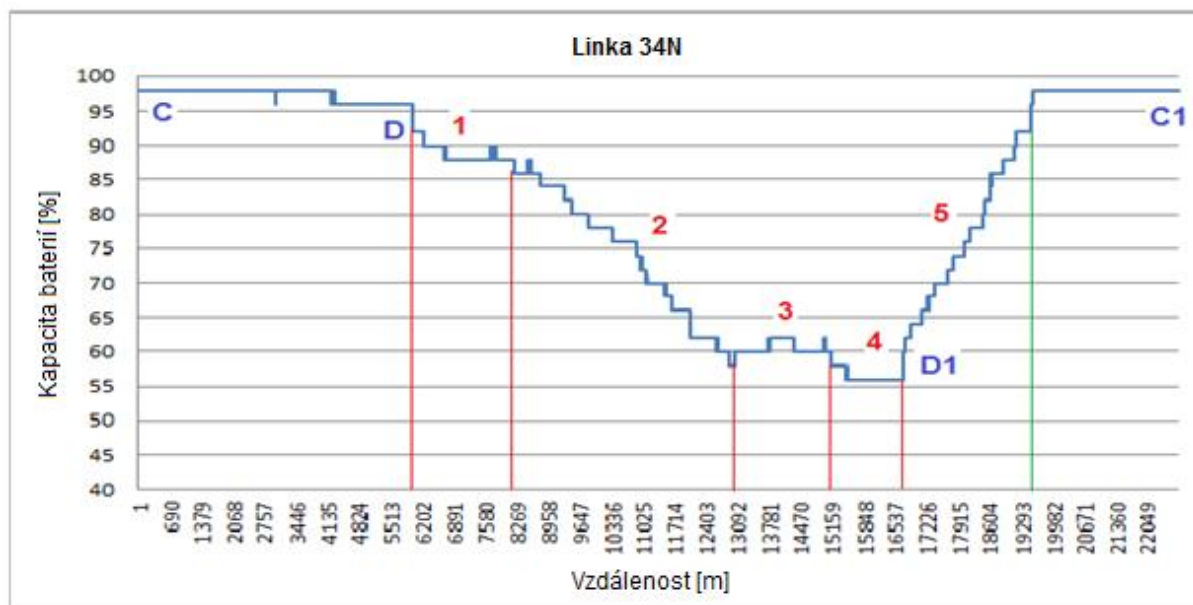
Obrázek č. 14 zobrazuje podrobný popis kapacity baterií parciálního trolejbusu během jízdy na lince 34N. Bod C vyznačuje start a jízdu do bodu D. Tento úsek vedl pod trolejovým vedením. V bodu D, kde začínal nezatrolejovaný úsek, jelo vozidlo se staženými sběrači a s využitím trakčního pohonu. Parciální trolejbus zajížděl do příměstské části a vrátil se na stejné místo, ze kterého na trakční baterie vyjížděl. Pro větší přehlednost je toto místo znázorněné jako bod D1. Dále pokračoval po stejné trase (zatrolejovaný úsek), jako při výjezdu až do bodu C1. Tento bod představuje i místo výjezdu.

*Detailní popis jízdy na trakční baterie a jejich opětovné nabíjení je rozděleno do 5 úseků (obr. 14):*

1. úsek – trasa v tomto úseku vedla po rovině s lehce sešlápnutým pedálem jízdy vpřed a rychlosti kolem 60 km/h
2. úsek – tento úsek sestává z části vedené po rovině a části vedené do prudkého stoupání s pouhým jedním zastavením na zastávce
3. úsek – jízda s klesáním
4. úsek – úsek po rovině
5. úsek – tato část trasy představuje návrat pod trolejové vedení a jízdu s napájením z trolejového vedení s nabíjením trakčních baterií; plné nabití baterií trvalo 13 minut po ujetí dráhy 2,7 km

**Jízda na trakční baterie** (úsek 1-4) trvala 25 minut po ujetí dráhy 10,5 km.

**Plné nabití trakčních baterií** (úsek 5) trvalo 13 minut po ujetí dráhy 2,7 km.



Obr. 14 Kapacita trakčních baterií trolejbusu Škoda 26 Tr na lince 34N [autor]

## Údržba trolejbusů

Údržba parciálního trolejbusu se v podstatě nemění od údržbových úkonů trolejbusů stejného typu bez namontovaných trakčních baterií. Servis vozidel je zajištěn pravidelnými prohlídkami, které jsou rozděleny do stupňů **A** (kontrola po 10 tis. km) a **B** (kontrola po 30 tis. km a dále po pravidelných 30 tis. km až do najetých 120 km nebo za 2 roky).

Garantovaná životnost baterií je 7 let. Jelikož je parciální trolejbus provozován jako první v České republice s podmínkami charakteristickými pro tuto zemi, mohou se údržbové úkony mírně lišit. Proti trolejbusům s dieselagregátem je velká výhoda v samotné údržbě trakčního pohonu, který sestává z kontroly čistoty baterií, dotažení spojů, kontroly kapacity a kontroly chlazení.

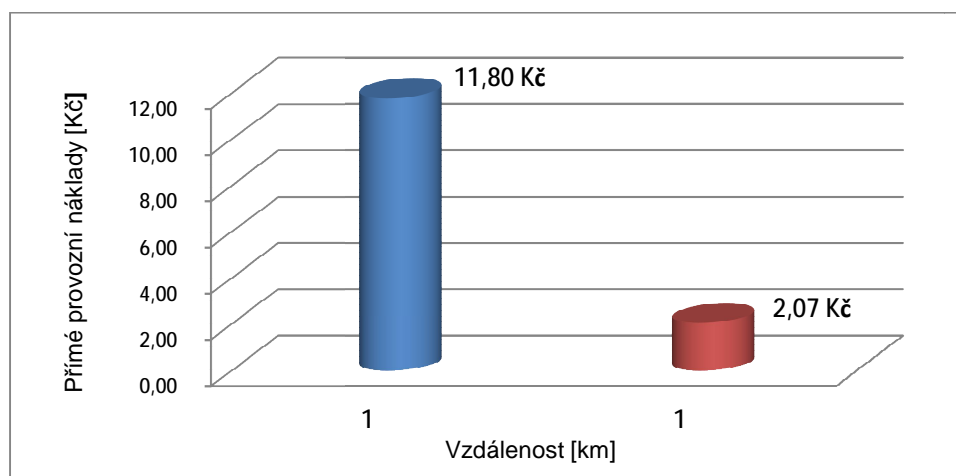
U trolejbusů s pomocným dieselagregátovým pohonem se musí alespoň jednou ročně demontovat dieselagregát z vozidla z důvodu celkové kontroly, výměny provozních náplní a filtrů. Celková poruchovost dieselagregátu je dost vysoká a s tím i spojené náklady na servis.

## Náklady na provoz

V neposlední řadě zbývá vyjádřit přímé provozní náklady na spotřebu energií a nafty, které vznikly ve zkušebním provozu u dvou výše popsaných linek obslužených během jednoho dne. Přímé provozní náklady v Kč na 1 km znázorněné na obrázku 15 jsou při stávající nákupní ceně elektrické energie 1,95 Kč/kWh (bez DPH) a ceny nafty za 20,97 Kč/litr (bez DPH). Níže popsaná kalkulace byla vypočítána z provozu na nezatrolejovaných úsecích na obou linkách.

U trolejbusu Škoda 24 Tr se zabudovaným dieselagregátem při celkových 16 km (zaokrouhlo) byla spotřeba 9 litrů nafty. Přímé provozní náklady na 1 km jsou 11,80 Kč. Průměrná spotřeba nafty při jízdě na dieselagregát je tedy 56 litrů na 100 km.

U parciálního trolejbusu a při stejné vzdálenosti 16 km na úsecích bez trolejového vedení, byla průměrná spotřeba elektrické energie 17 kWh. Přímé provozní náklady na 1 km provozu jsou 2,07 Kč. Průměrná spotřeba elektrické energie u vozidla s trakčními bateriemi činí něco málo přes 1 kWh na kilometr. V této ceně však nejsou zakalkulovány nejenom přenosové ztráty na trolejovém vedení a měničnách, ale i náklady na samotnou údržbu měničren a trolejového vedení. I při započtení těchto ztrát a nákladů na údržbu jsou přímé provozní náklady zhruba poloviční.



**Obr. 15** Přímé provozní náklady (1 km) na elektrickou energii a naftu v době provozu mimo trolejové vedení; 24 Tr modrá barva a parciální trolejbus červená barva [autor]

## SWOT analýza trolejbusu Škoda 26 Tr

Celkové vyhodnocení parciálního trolejbusu je zobrazeno pomocí SWOT analýzy v tabulce 1.

Tabulka 1 SWOT analýza parciálního trolejbusu [autor]

SWOT analýza		
	Silné stránky	Slabé stránky
Vnitřní faktory	Přímé provozní náklady	Vyšší pořizovací náklady
	Ekonomika	Omezený dojezd
	Minimální provozní náklady na údržbu	Zatížení vozidla hmotností a prostorovou náročností
	Možnost provozu mimo trolejové vedení, nebo při vypnutí elektrické energie	
	Přímá rekuperace do baterií	
	Tichý chod	
	Šetrnost k životnímu prostředí	
	Bezemisní provoz	
	Energetická účinnost	
	Dynamika na nLTO bateriích je shodná, jako při jízdě na trolejích	
Vnější faktory	Příležitosti	Hrozby
	Dotační programy	

## Závěr

Studie uvedena v tomto příspěvku se zabývá zkušebním provozem parciálního trolejbusu Škoda 26 Tr. Ukazuje tak na výhodnost konceptu vozidla s trakčními bateriemi všude tam, kde je již k dispozici trolejová síť a její další rozšiřování by bylo neekonomické, případně kde by byla žádoucí její redukce při zachování rozsahu bezemisní dopravy. Dalším důležitým aspektem je absence hluku, který nejenom že obtěžuje své okolí, ale způsobuje také zdravotní problémy.

Současně s jízdou trolejbusu s trakčními bateriemi byla studie rozšířena o porovnání naměřených dat s trolejbusem Škoda 24 Tr s dieselaagregátem a to na stejné trase se stejnými podmínkami. Po porovnání přímých nákladů PHM a provozu na trakční baterie nLTO v korunách, lze konstatovat, že provoz se zabudovanými trakčními bateriemi s novou technologií nano lithium-titanate battery (nLTO) je výrazně levnější a tím také mnohem ekonomičtější.

Provoz speciálního parciálního trolejbusu je teprve v počáteční fázi. V nejbližší době se bude jednat o detailní testování reálného provozu a s tím spojený sběr provozních dat a klíčových parametrů. Na základě jejich vyhodnocení bude možné konstatovat, zda Dopravní společnost Zlín-Otrokovice vykročila správným směrem.

Alternativní doprava trolejbusy s trakčními bateriemi technologicky postupuje značně kupředu. Proto je pro budoucnost žádoucí zajistit legislativní podporu tomuto perspektivnímu druhu ekologické dopravy, aby tento technologický vzestup mohli znatelněji vnímat i občané.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory Dopravní společnosti Zlín-Otrokovice s.r.o. Poděkování patří i celému kolektivu zaměstnanců, kteří se na této studii podíleli.

## Literatura

- [1] Škoda Electric. *Technická specifikace*. Technický popis TBS 4.1: Škoda Electric 2016
- [2] *Lithium titanate*. Revolvy [online]. Accessible at: <http://www.revolvy.com/main/index.php?s=Lithium%20titanate&uid=1575>, Accessed October 2016
- [3] *5 Benefits of Lithium Titanate Batteries*. [online]. Accessible at: <http://www.tiankangbattery.com/5-benefits-of-lithium-titanate-batteries>, Accessed October 2016
- [4] Cowie, I., Chief, E., Vision, M., (2015). *All About Batteries, Part 12: Lithium Titanate (LTO)*. EETimes. [online]. Accessible at: [http://www.eetimes.com/author.asp?section\\_id=36&doc\\_id=1325358](http://www.eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1325358), Accessed October 2016
- [5] *Toshiba Developing 3.0 Ah High Power SCiB Li-Ion Cell for HEV Applications*. Green Car Congress. (2008). [online]. Accessible at: <http://www.greencarcongress.com/2008/05/toshiba-develop.html>, Accessed October 2016
- [6] Brunell, M., (2013). *Lithium Titanate Battery Modelling and Predicting Aged Performance*. WMG, University of Warwick. [online]. Accessible at: [https://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/research/hvmcatapult/research/posters/lithium\\_titanate\\_battery\\_modelling\\_and\\_predicting\\_aged\\_performance\\_by\\_michael\\_brunell.pdf](https://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/research/hvmcatapult/research/posters/lithium_titanate_battery_modelling_and_predicting_aged_performance_by_michael_brunell.pdf), Accessed October 2016
- [7] *IBM Almaden Conference "Lithium Ion Battery - Truth in Advertising"*. Charging the energy revolution. Altairnano. [online]. Accessible at: <http://www.almaden.ibm.com/institute/2009/resources/2009/presentations/ChetSandberg-AlmadenInstitute2009-panel.pdf>, Accessed October 2016
- [8] Graham-Rowe, D., (2005). *Charge a battery in just six minutes*. NewScientist. [online]. Accessible at: <https://www.newscientist.com/article/dn7081-charge-a-battery-in-just-six-minutes/>, Accessed October 2016