

Elektromobilita zažívá obnovený začátek, ale ještě se nestala boomem. Připravuje se infrastruktura a vyvíjejí se výrobní postupy a konkrétní modely. Technologie jsou již připraveny více let, ale malé vyráběné množství zatím udržovalo vysoké ceny. To se změnilo nejprve u baterií, kde díky rozmachu mobilních zařízení klesá cena akumulátorů, ale také u elektroniky i kompletních elektromobilů. Technologie čistě bateriového pohonu ověřené v osobních elektromobilech postupně pronikají do ostatních segmentů dopravy jako elektrické dodávky, elektrobuses, elektrotraktory i elektroloď.

Technologické a ekonomické hledisko pronikání elektromobility do dalších oblastí dopravy

1. Stav energetické hustoty dostupných baterií

Cena baterií již klesla k 1000Kč/1km dojezdu, čímž se konečně otevřel prostor pro komerční elektromobily, které již mají finanční návratnost. Zároveň je již možné v rozumné hmotnosti baterie kolem 360kg, dosáhnout dojezdu přes 200km i při relativně vysoké spotřebě 15kWh/100km.

2. Stovky procesorů ve vozidle

Klesající cena akumulátorových baterií není jediným faktorem cenové dostupnosti technologií pro elektromobilitu. Jedná se zejména o cenu jednočipových počítačů a komunikačních čipů, které se používají v zařízení BMS – Battery Management System. To totiž v dnešní době obsahuje kromě řídicí jednotky BMS také balancer pro každý článek. Balancer je vlastně jednočipový počítač se sběrníci

a výkonovým tranzistorem, který zabezpečuje trvalou péči o jemu příslušný článek baterie, kontroluje podbití, přebití, teplotu a jeho vyrovnávání podle ostatních článků. Elektromobily obsahují podle celkového trakčního napětí například 95 kusů článků (např. elektromobil VUT SUPER EL II) a tak je jen na člancích 95 procesorů, 95 rozhraní a 95 výkonových balancovacích tranzistorů. Další procesory obsahují BMS, nabíječky, frekvenční měniče, DC/DC měniče, řídicí jednotky a displeje. Mnoho procesorů je i běžných zařízení vozidla (ABS, posilovače, řídicí jednotky vozidla). Celkově běží v elektromobilu 150 až 200 procesorů, což má vliv na jeho cenu i spotřebu elektrické energie. Právě díky poklesu ceny nízkoeenergetických procesorů v posledních 5 letech se stávají elektromobily dostupnější.



Obr. 1: Vozy vyráběné pouze jako elektromobily Nissan Leaf (160km), Renault Zoe (200km), Citroen C-Zero (140km)

Energetická hustota baterií pro elektromobily a ceny v roce 2012 [1]

				Hmotnost baterie	360	kg
				Spotřeba energie	15	kWh/100km
				Nom. napětí článku	3,2	V
Kapacita článku Ah	Hmotnost článku kg	poměr q/Ah	hustota E Wh/kg	Dojezd km	Cena Kč za 100Ah	Typ Výrobce
40	1,6	40,00	80,00	192		LiFeYPO4
60	2,3	38,33	83,48	200	1 950	Winston
200	7,7	38,50	83,12	199	2 486	
300	10,5	35,00	91,43	219	2 535	
400	13,7	34,25	93,43	224	2 467	
700	21	30,00	106,67	256	2 468	
1000	35	35,00	91,43	219	2 467	
10	0,3	30,00	106,67	256	9 040,00	Válcové
8	0,26	32,50	98,46	236	6 750,00	LiFeYPO4
2,1	0,08	38,10	84,00	202		TOPTECH
2,3	0,07	30,43	105,14	252		Li-pol
52	1,24	23,85	134,19	322	11 214,00	Kokam
100	2,25	22,50	142,22	341		
240	5	20,83	153,60	369		
5,3	0,102	19,25	166,27	399		

3. Obchodní strategie pro rozšiřování elektromobility

Původně výrobci elektromobilů používali pro elektrický pohon stejné podvozky a karosérie jako u modelů se spalovacími motory. To sice vedlo k úsporám za vývoj, ale zákazníci porovnávali cenu za nákup spalovacího a elektrického modelu a velký rozdíl je odrazil.

Proto nyní je prodejní strategie odlišná. Čistě elektrické modely mají odlišné karosérie i obchodní označení, např. Nissan Leaf, Mitsubishi MIEV, Citroen C-Zero, Peugeot iOn, Renault Zoe. Podobně se situace vyvíjí u plug-in hybridů, např. Opel Ampera, Chevrolet Volt.

4. Kalkulace návratnosti elektromobilů

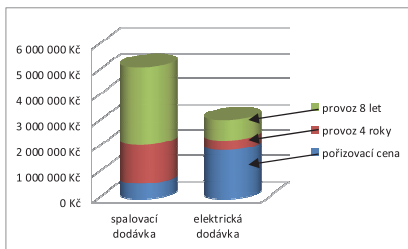
U vozidel kategorie N1 - dodávek a elektrobusů, kde se počítá přesně návratnost a užitečnost, je již dosahováno nižších celkových nákladů na vlastnictví, než u spalovacích vozů při dlouhodobějším využívání. V následující tabulce jsou kalkulovány pořizovací náklady a náklady na provoz. Zanedbány jsou servisní náklady, které jsou u elektromobilů předpokládány stejné nebo nižší než u spalovacích vozů.

Podobné výsledky existují u elektrobusů a dalších vozů, které jsou velmi zatíženy a jejich energetické náklady převyšují pořizovací cenu. Návratnost vyšší pořizovací ceny se předpokládá kolem 4 let provozu.

5. Rozvoj nabíjecí infrastruktury

Strach z malého dojezdu postupně klesá se zahušťující sítí nabíjecích stanic a také s možností rychlého nabíjení.

Nově se v ČR a na Slovensku objevují i flotilové řešení s výměnným systémem baterií. Nabíjení střídavým proudem většinou používá běžnou 16A zásuvku 230V, pro třífázové nabíjení 400V se postupně prozrazuje oboustranný konektor IEC 62196-2



Obr. 2: Porovnání nákladů dodávky se spalovacím motorem a elektrickým motorem

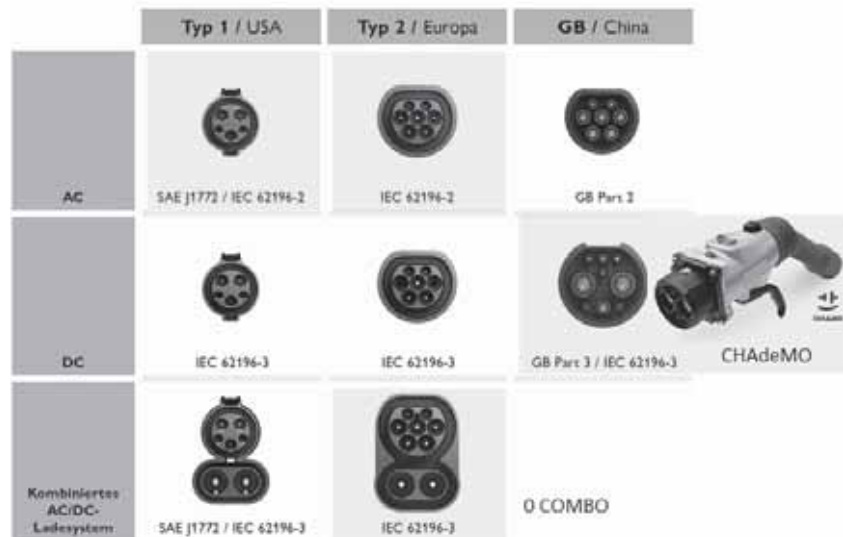
Porovnání nákladů elektromobilů a spalovací dodávky [2]

Vozidlo kategorie N1 - dodávkový automobil	Motor		
	spalovací	elektrický	
Předpokládaná spotřeba	12 litrů/100km	25kWh/100km	
Průměrná cena paliva a energie	40Kč/litr	5Kč/kWh	
energetické náklady	4,8	1,25	Kč/km
průměrný denní nájezd	300	300	km
roční nájezd	79 200	79 200	km
Za 4 roky najeto	316 800	316 800	km
Za 8 let najeto	633 600	633 600	km
pořizovací cena	579 000 Kč	1 875 000 Kč	
provoz 4 roky	1 520 640 Kč	396 000 Kč	
provoz 8 let	3 041 280 Kč	792 000 Kč	

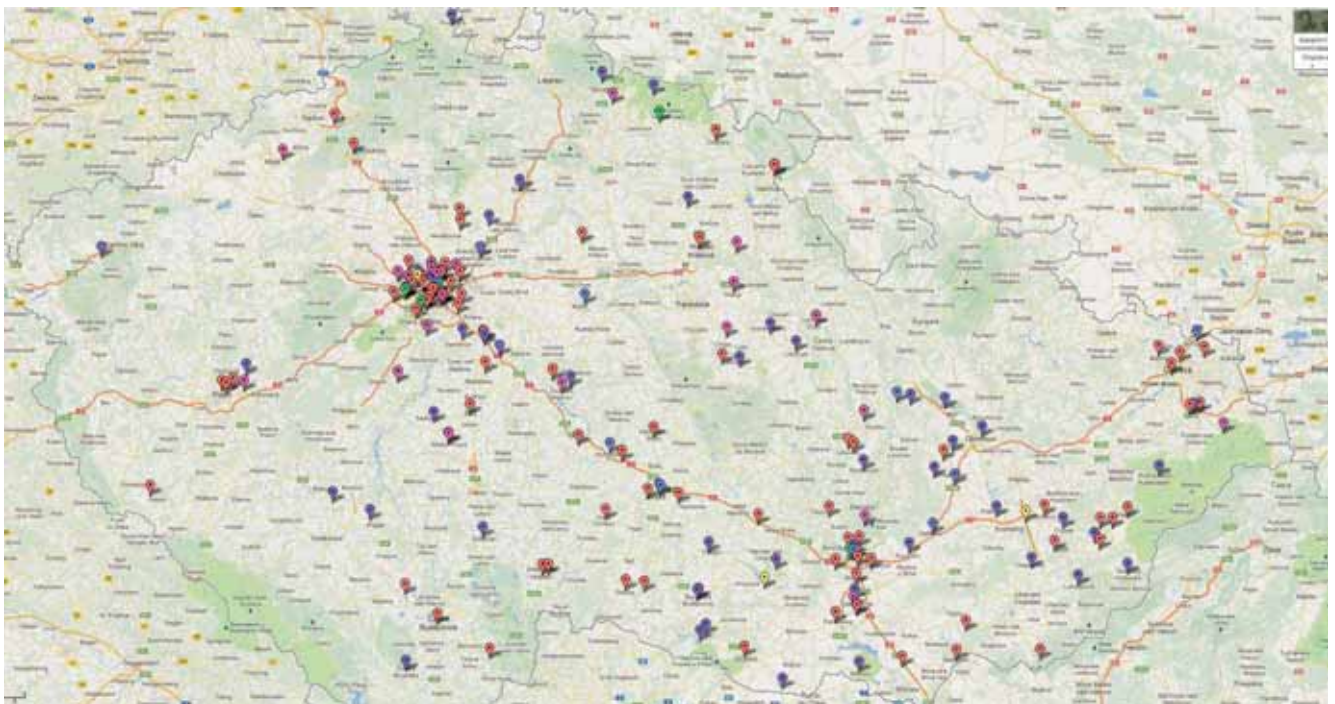
(Mennekes) a pro stejnosměrné nabíjení konektor pro CHAdeMO. Německé automobilky se snaží prosadit i kombinované AC/DC konektory pro DC nabíjení a ušetřit vysoké licenční poplatky, ale zatím většina vozidel pro rychlé DC nabíjení používá

japonsko-francouzské konektory CHAdeMO od společnosti YAZAKI.

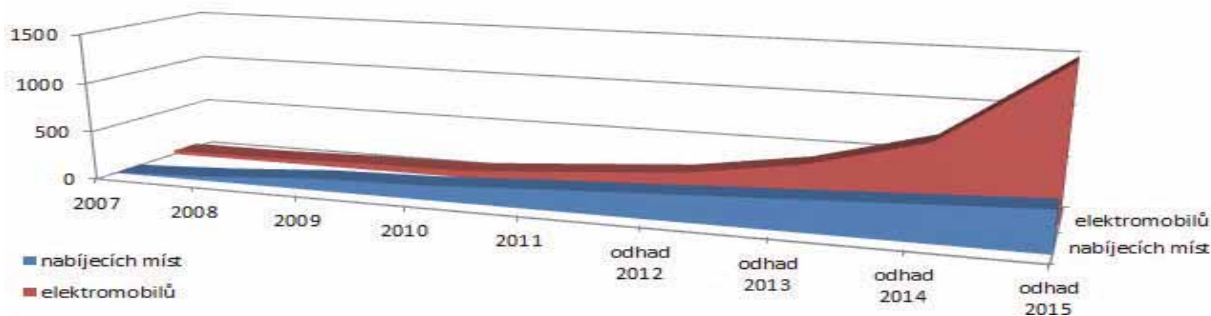
V současnosti v České republice iniciativa na budování nabíjecích míst přešla z nadšců na profesionály, zejména energie-



Obr. 3: Nabíjecí konektory pro elektromobily



Obr. 4: Mapa 200 nabíjecích míst v ČR



Obr. 5: Graf předpokládaného vývoje počtu elektromobilů a nabíjecích míst v ČR

tické společnosti. Lídrem je pochopitelně velká elektrická trojka ČEZ, E.ON a PRE. Zezačátku se tyto společnosti vůči sobě vymezovali, odlišovali se ve strategiích i modelech. Nyní se však ve spolupráci s Asociací elektromobilového průmyslu probíhá diskuze nad prosazování zvýhodněného odběratelského tarifu pro majitele elektromobilů a o možnostech roamingu (sdílení nabíjecích karet) mezi nabíjecími místy energetik.

6. Předpokládaný rozvoj počtu elektromobilů

Elektromobily již nyní mění myšlení řidičů. Ty již vědí, že existuje tato alternativa a jsou připraveni na ni reagovat. Češi mají schopnost rychleji akceptovat technologické inovace, a proto zde nebude problém elektromobily prodávat. Elektrická síť je již na první stovky tisíc elektromobilů připravena. V ČR dosud platí obdoba Mooreova zákona, každé 2 roky se prodá dvojnásobek.

7. Energie pro elektromobilitu

Ačkoli mnozí prosazují výstavbu nových elektráren s odkazem na předpokládaný rozvoj elektromobility, ve skutečnosti není požadavek elektrické energie nijak závratný. 1 milion elektromobilů bude v ČR nejdříve v roce 2035. Toto množství

bude ročně potřebovat pouze méně než 5% elektrické energie, která se u nás vyrábí dnes.

Toto tvrzení je založeno na vstupech [3]:

- V ČR se vyrobí a spotřebuje kolem 87 TWh ročně, z toho vyváží 17 TWh
- Průměrný elektromobil najede 20 000 km ročně a
- jeho průměrná spotřeba bude 20 kWh/100km (15 osobní, 30 nákladní)

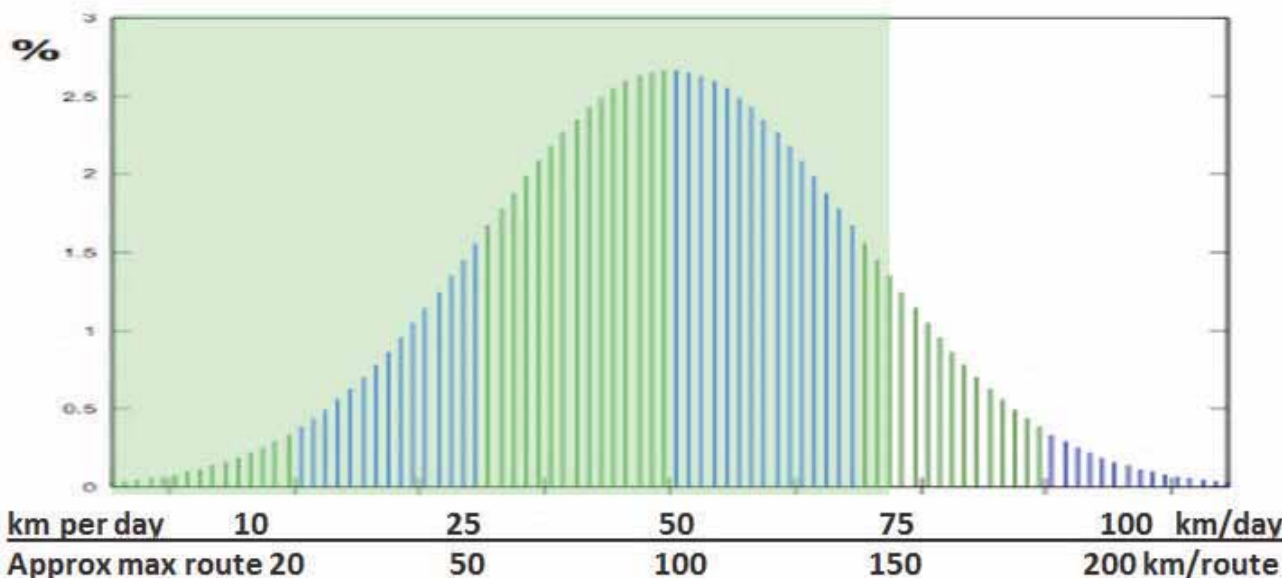
Z toho vyplývá, že průměrný elektromobil spotřebuje ročně:

$$20\,000\text{ km} \cdot \frac{20\text{ kWh}}{100\text{ km}} = 4\,000\text{ kWh} = 4\text{ MWh}$$

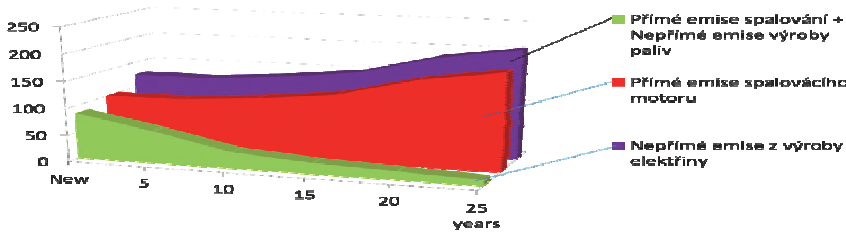
To je ověřeno i při dlouhodobém provozu, kde při denním užívání osobního elektromobilu nepřekračuje roční spotřeba 2 MWh. Pro 1 milion elektromobilů včetně nákladních a elektrobusů, pak bude potřeba pouze 4 TWh elektrické energie ročně tj, méně než 5% současné výroby. Nebude tedy nutné stavět nové zdroje pro potřebu výkonu, ale spíše pro snížení emisí z vyrobené energie. Problém lokální potřeby příkonu je však významnější. Mohou existovat lokality, kde tisíce současně nabíjených elektromobilů může způsobovat problémy. Proto se energetiky snaží prosazovat tarifní řízení

Odhad počtu nabíjecích míst a prodaných elektromobilů v ČR

	Počet nabíjecích míst	Počet elektromobilů	Zahájení českého prodeje elektromobilů veřejnosti
2007	5	38	
2008	50	40	
2009	120	63	
2010	145	71	EVC, Tesla, Tazzari, Smart
2011	200	150	Citroen CZero, iOn, MIEV, Ampera
odhad 2012	250	230	Nissan Leaf, Renault Kangoo
odhad 2013	300	400	Tesla S, Thlnk, Zoe, Fluence
odhad 2014	350	700	Škoda Citigo elektromobil
odhad 2015	400	1500	Tesla X, BYD



Obr. 6: Vlevo označená část grafu četností představuje uživatele, kteří mohou používat elektromobil.



Obr. 7: Porovnání objemů emisí za dobu provozu elektromobilu (vpředu) a spalovacího

pro elektromobily a to včetně wallboxů pro domácnosti za jejichž použití nabízejí levnější elektřinu.

8. Budoucí uživatelé elektromobilů

Zatímco v současné době jsou elektromobily prodejné pouze pro malou část zákazníků, v budoucnosti mohou oslovit až 85% uživatelů bez významnějšího technologického skoku.

Na Obr. 6 je uvedena předpokládaná modelová četnost uživatelů vozidel jednak podle průměrné dojezdové vzdálenosti a podle potřeby maximálního dojezdu. Pro zjednodušení bylo použito Gaussovo rozložení četnosti. Model předpokládá, že průměrná denní jízda je kolem 50 km (i když ČR je to méně) a průměrná potřeba dojezdu bez zastávky je 100 km. Pak téměř 85% uživatelů může používat elektromobil s dojezdem 150 km a pouze 15% uživatelů musí mít spalovací vozidlo s delším dojezdem.

9. Nepřímé emise elektromobilů

Ačkoli elektromobily nemají žádné místní emise z vozidla a snížené jsou i emise hluku a olejů, je evidentní, že výroba elektrické energie si emise zachovává. Občas se dokonce objevují názory, že moderní spalovací vozy mají nižší emise než elektromobily. Nepřímé emise elek-

tromobilů (v ČR 2012 80 g CO₂/km) [3] jsou však srovnatelné s přímými emisemi moderním spalovacím vozem (100 g CO₂/km) pouze pokud jsou přehlédnuty dva důležité faktory:

1. Také výroba a doprava konvenčních paliv má svoje nepřímé emise. Výroba paliv je energeticky náročná a doprava ropy a zemního plynu je obvykle prováděna na vzdálenosti tisíců kilometrů.
2. Na světě nejezdí pouze nové spalovací vozy. V ČR je průměrné stáří vozidel 14 let a tak se dá předpokládat, že vozy jsou provozovány více než 25 let. Přitom jejich emise vlivem opotřebení motoru a výfukových filtrů rostou.

U elektromobilů je trend emisí během jejich životnosti klesající. Je to způsobeno růstem podílu bezemisních zdrojů (vítr, voda, fotovoltaika, jádro), ale také zaváděním nových postupů spalování konvenčních zdrojů jako uhlí a plyn. To znamená, že i když ze začátku je produkce přímých emisí moderních downsizovaných motorů v řádu srovnatelná s elektromobilem, v průběhu životnosti vozidla je již rozdíl vyprodukovaného objemu škodlivin daleko větší.

10. Další dopravní prostředky

Čistě bateriové pohony se rozšiřují i do oblastí, kde se více než na životní

ideály, eleganci, čistotu a styl hledí na provozní náklady a návratnosti investic. To je pro elektromobilitu dobrý signál, protože dříve platilo, že elektromobilita není ekonomicky bez dotací ekonomicky soběstačná.

ČR je dnes více výrobců elektrobusů než v jiných zemích. Svoje elektrobusy vyrábí a prodává SOR Libčavý, EVC Group z Hulína, SKD Trade i brzo již plzeňská Škoda Electric. Nová generace elektrobusů má dojezd kolem 200 km a v městském provozu. Z jejich dosavadního provozu v Ostravě se ukazuje, že zvýšené náklady na elektrobus se vrací rychle díky nízké spotřebě elektrické energie a oproti trolejbusům mají i značnou úsporu za údržbu trolejového vedení.

Doprava malými nákladními vozidly do 3,5t je základem pro poštovní a podnikatelskou logistiku nejenom ve službách a obchodu. To je také obor, kde se neprojevují módní a designové trendy, ale jde o účelnost a náklady. Existence úspor v této části logistiky je důležitý pro všechny ostatní obory. Tyto vozidla mají vysoké nasazení a ujedou ročně velké vzdálenosti a případná úspora za energii se více projeví viz [Obr.2]. Taktéž se zde eliminují rizika krádeží paliva.

V ČR představuje EVC Group v Hulíně dodávky Citroen Jumper s dojezdem 2x200 km a výměnnými bateriemi, které se uplatnily ve slovenském projektu GrennWay. Je možné zakoupit i Mercedes Vito E-Cell. Dodávky Ford Transit Connect Electric již nejsou vyráběny, ale nově se přidala nová generace elektromobilů Citroenu Berlingo/ Peugeot Partner.

Lodní doprava. U skutečně velkých lodí je hybridní a diesel-elektrické pohony (azipoty) dnes jedinou variantou přenosu skutečně velkých výkonů. V malých výletních a dopravních lodích začíná tento trend i na evropských řekách a kanálech posilovat.

Jedním z projektů je solární rekreační plavidlo SolarRiver, na jehož vývoji je podílím. Typickým základním konceptem pohonu moderních lodí je dieselgenerátor-baterie-frekvenční měnič-elektromotor. V dnešní době je doplněn obvykle o schopnost rychlého nabíjení v přístavní





Obr. 9: Elektrické dodávky v ČR

zásuvce, ohebné fotovoltaické panely, které je možné použít na celou palubu, malý rotační větrný zdroj, a schopnost nabíjení rekuperací při kotvení ve vodním proudu. Tyto další zdroje odsunují motorgenerátory pouze do role záchranného zdroje, který je nutné použít pouze v časech, kdy nejsou k dispozici jiné přírodní zdroje.

Dnešní technologie používání v elektromobilech již umožňují pohánět poměrně větší lodě než stejně výkonné pohony v automobilovém průmyslu.

Dalším oborem kde elektromobilita proniká je zemědělství. Dnes již jsou běžně k dostání elektrické bateriové zahradní sekačky, elektrické kosačky i robotické sekačky. V oblasti komunálních čistě elektrických traktorů je již nabídka poměrně pestrá

Velký čistě elektrický traktor byl však ještě loni chápán pouze jako sci-fi z daleké budoucnosti. Dnes se stává již reálným technologickým řešením. Traktory středních a vyšších tříd totiž uvezou 2 až 5 tun

baterií a to přispívá k jejich pracovním schopnostem. Běžně se používají 2 a 5 tunová závaží, které mohou být nahrazeny bateriemi s kapacitou 200 až 500kWh. Taková kapacita by u osobního vozu znamenala dojezd 1500-4000km na jedno nabití a tedy energeticky odpovídá 100-300 litrům nafty. Tato zásoba energie umožňuje 8 hodin orby, která je ze zemědělských činností energeticky nejnáročnější. Díky hydraulice je principiálně možné boxy baterií rychle vyměňovat za nabitě a pracovat bez prodlev na nabíjení.

Zájem o takové stroje je především u zemědělců, kteří si vyrábějí na svých budovách solární energii, kterou tak mohou přímo použít k úsporám nafty.

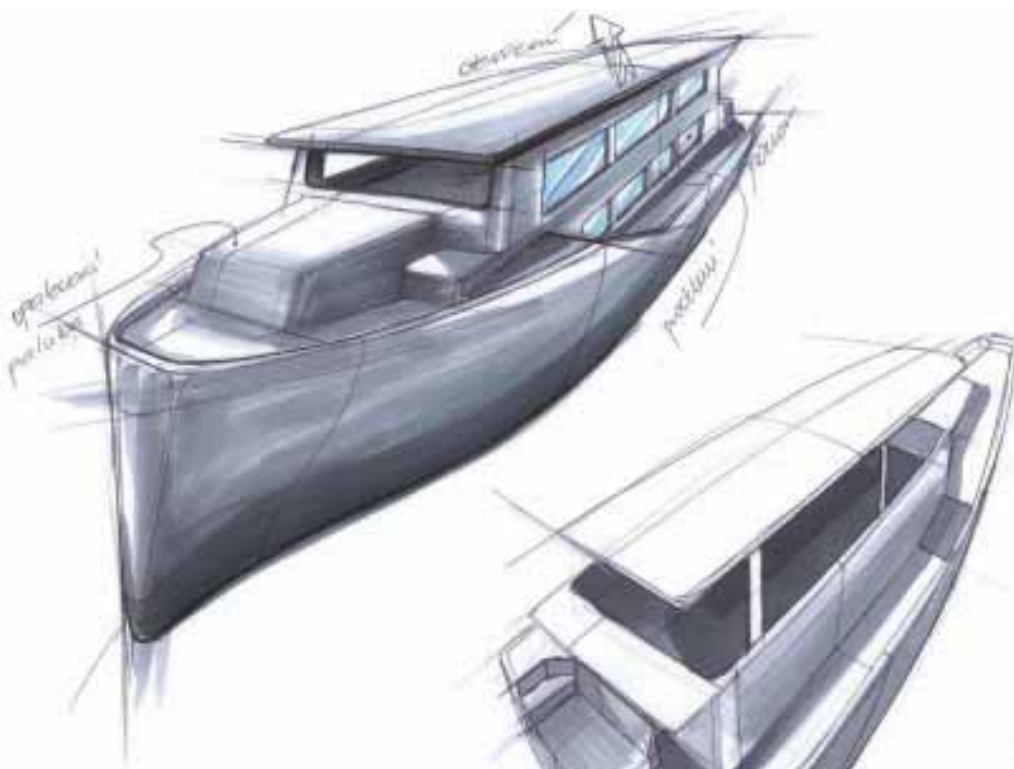
U malých a komunálních elektrických traktorů je možné sledovat snížení nákladů na provoz, avšak většina tohoto trhu využívá zastaralé olověné baterie, jejichž častá výměna degraduje nízké náklady na údržbu stojů. Teprve nová generace s lithiovými akumulátory může být pou-

žita pro kalkulaci nákladů a návratnosti. U velkých bateriových čistě elektrických traktorů zatím nelze měřit provozní náklady, protože se jedná pouze o prototypy, které nepracují v reálném zemědělství. Těchto dat se dočkáme do 5 let.

11. Závěr

Nadšení pro elektromobily sice začalo u jednotlivců, ale přeneslo se v roce 2010 na energetiky, výrobce vozidel a nyní se přidávají i tradiční naftařské společnosti jako Benzina/PKN Orlen či Agip/Eni, které vidí potenciál v nové komoditě, jež přiláká zákazníky do jejich prodejen a restaurací. Tyto společnosti se připravují na inovace v pohonu tak, aby se přeměnili z petrolejářských společností na energetické, které poskytují motoristům také plyn a elektřinu. Čistě bateriový pohon dnes proniká i do nových oblastí dopravy včetně lodí a zemědělských traktorů.

*Ing. Jaromír Marušinec, Ph.D. MBA
Vysoké učení technické v Brně
Asociace elektromobilového průmyslu*



Obr. 10: Rekreční elektroloď SunRiver na solární pohon vyráběná v ČR