



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

NANOVLÁKENNÉ SEPARÁTORY PRO LITHIUM-IONTOVÉ AKUMULÁTORY

NANOFIBROUS SEPARATORS FOR LITHIUM-ION BATTERIES

ZKRÁCENÁ VERZE

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. David Pléha

ŠKOLITEL

SUPERVISOR

doc. Ing. Vítězslav Novák, Ph.D.

BRNO 2017

Klíčová slova:

Nanovláknenný separátor, Elektrostatické zvlákňování , Nanospider, Li-Ion akumulátor, Impedanční spektroskopie

Key Words:

Nanofibrous separator, electrospinning, Nanospider, Li-Ion battery, Impedance Spectroscopy

Název pracoviště:

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, VUT v Brně

ISBN (80-214

ISSN 1213-4198

Obsah

1	ÚVOD	6
2	DOSAVADNÍ VÝVOJ	8
2.1	Lithium-iontové akumulátory	8
2.1.1	Struktura Li-Ion akumulátoru	9
2.1.2	Kladná elektroda	10
2.1.3	Záporná elektroda	11
2.1.4	Elektrolyty	11
2.2	Separátory	12
2.2.1	Typy používaných separátorů	13
2.2.2	Separátory pro Li-Ion akumulátory	14
2.2.3	Elektrostatické zvlákňování – electrospinning	16
2.2.4	Požadavky na separátor	16
2.2.5	Separátor – vlastnosti a charakterizace	18
3	ELEKTROCHEMICKÉ A FYZIKÁLNÍ METODY	18
3.1	Fyzikální metody	18
3.1.1	Termická analýza – Termogravimetrie (TGA)	18
3.1.1	Tepelná odolnost	18
3.2	Elektrochemické metody	19
3.2.1	Impedanční spektroskopie (EIS)	19
3.2.2	Měření vnitřního a povrchového odporu separátorů	19
4	ZÁVĚR	20
5	BIBLIOGRAFIE	21

Poděkování:

Předkládaná práce by nemohla vzniknout bez podpory, ale také shovívavosti řady kolegů, přátel a členů rodiny. Děkuji svému školiči za jeho cenné rady, konzultace, odborné vedení a vstřícný přístup. Zároveň bych chtěl poděkovat své manželce za podporu při psaní této práce.

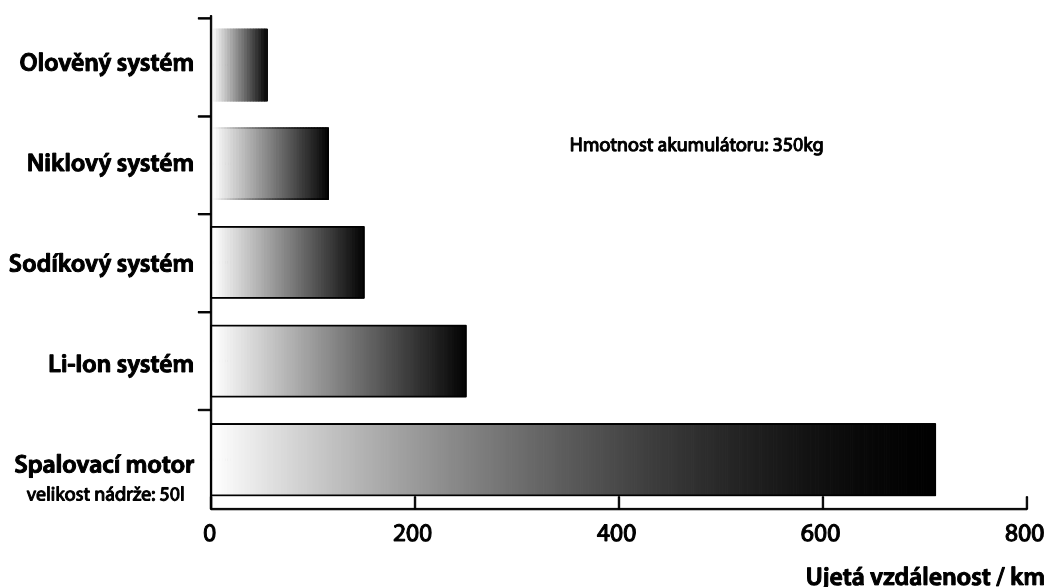
Pro Sašenku

1 Úvod

Na konci 20. století výrazně vzrostla poptávka po alternativních zdrojích energie z důvodu rozvíjejícího se trhu s bezdrátovými technologiemi. Na začátku 21. století došlo v oblasti zdrojů energie k rychlému vývoji ve snaze zajištění stále narůstajících požadavků ve všech oblastech průmyslu. Jednou z těchto oblastí, která je v poslední době hodně diskutovaná, je použití alternativních zdrojů mimo jiných odvětví i v automobilovém průmyslu. Důvodem jsou snížení závislosti na neobnovitelných zdrojích energie a úrovně emisí CO₂ [1].

Li-Ion akumulátory představují zdroje proudu s vysokou energetickou hustotou a nízkou technologickou spotřebou energie. To znamená, že nabízí nejvyšší rozvojový potenciál pro budoucí uplatnění v širokém spektru průmyslu od dynamicky se rozvíjejícího trhu malé přenosné elektroniky, až po automobilový průmysl ve formě elektrických a hybridních vozidel (EV/HEV).

Ve srovnání s jinými systémy nabízí Li-Ion akumulátor největší rozvojový potenciál [2]. Důvodem je nízká elektronegativita lithia (0,98 dle Paulingovy stupnice) a nejnižší relativní atomová hmotnost (6,94 g mol⁻¹) ze všech kovů. Na Obrázek 1.1 je zobrazena ujetá vzdálenost hypotetického vozidla pro porovnání různých typů akumulátorů a spalovacího motoru.



Obrázek 1.1 Ujetá vzdálenost pro hypotetické vozidlo poháněné různými akumulátorovými systémy a spalovacím motorem [3].

Velké množství výzkumné a vývojové práce se již nyní zaměřuje na snížení kapitálových nákladů na výrobu Li-Ion akumulátorů, a to zejména na optimalizaci podpůrných komponent jako jsou pouzdra a ochranné obvody. Nemalé úsilí ve

výzkumu je zaměřeno také na vývoj nových elektrod a elektrolytů. Zároveň s nárůstem poptávky po akumulátorech dochází k vývoji nových materiálů a využití nanotechnologií [2], [4]

Aplikace nanomateriálů a nanotechnologií v oblasti elektrochemické přeměny a zařízení pro skladování elektrické energie obecně byla realizována ve velmi rané fázi v důsledku pozitivního vlivu v oblasti zlepšení vybíjení a nabíjení systémů a katalýzy palivových článků. Technologie Li-Ion akumulátorů nebyla výjimkou, proto je velice důležité pochopit chování iontů a elektronů v materiálech v řádu nanometrů se zaměřením na ovlivnění výkonu akumulátoru. V posledních dvou desetiletích došlo k rapidnímu vývoji v oblasti nanoelektroniky a pochopení chování elektronů. O chování iontů v materiálech řádu nanometrů, které jsou využívány v Li-Ion akumulátorech, se ví jen velmi málo.

Použití nanotechnologií v lithiových akumulátorech se nevztahuje pouze na části, které se aktivně podílí na výrobě elektrické energie, ale také na části, které zajišťují správnou funkci akumulátoru. Tuto funkci v akumulátoru zajišťují mimo jiné i separátory. Během posledních let se vývoj separátorů posunul dopředu, což je patrné i na nárůstu vydaných publikací od roku 2003.

Separátory mohou být rozděleny do několika skupin v závislosti na jejich fyzikálních a chemických vlastnostech a výrobních postupech. Ve většině akumulátorů jsou separátory vyrobené z mikroporézní polymerní fólie popř. z netkané textilie [5].

Základní funkcí separátorů obecně je zamezení elektrického kontaktu mezi katodou a anodou a zároveň zajištění dobrého iontového transportu mezi elektrodami. V primárních lithiových člancích se používají nejčastěji mikroporézní propylenové separátory. Mikroporézní polyethylen a lamináty z polypropylenu a polyethylenu jsou široce používány také u Li-Ion akumulátorů [6]. Tyto materiály disponují dobrou chemickou a elektrochemickou stabilitou. U používaných separátorů se však setkáváme s velmi nízkou pórovitostí, malou teplotní odolností a hydrofobními vlastnostmi.

Použití nanovláknenných separátorů tyto jevy eliminuje díky použitelnosti v širokém spektru teplot bez strukturálních nebo fyzikálních změn se stejnými elektrochemickými a chemickými vlastnostmi a stálou vysokou pórovitostí a plochou. Zároveň jejich povrchová úprava zvyšuje hydrofilitu. Nasákavost elektrolytu může být až dvakrát vyšší než u komerčně používaných separátorů z důvodu vyšší pórovitosti [7].

2 Dosavadní vývoj

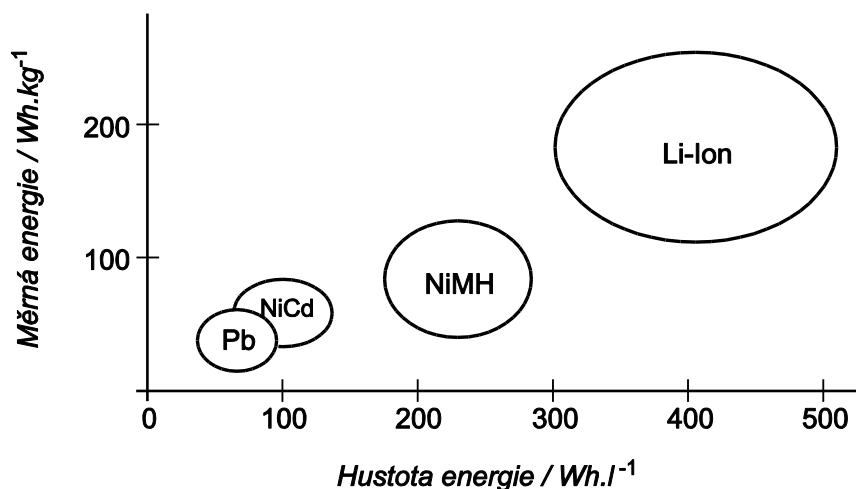
Mezi hlavní systémy pro uchování elektrické energie s pokročilou technickou vybaveností patří bezesporu primární Zn/MnO₂ alkalické články, olověné a NiMH akumulátory. Poptávka trhu po výkonnějších akumulátorech dostala do popředí také Li-Ion akumulátor. Jeho atributem jsou velmi dobré elektrické vlastnosti, zejména vysoká energetická hustota, velké vybíjecí výkony, dlouhá životnost a vyšší svorkové napětí. V porovnání s výše uvedenými akumulátory mají znatelně vyšší hustotu energie vztaheno na hmotnost a měrná energie dosahuje až 250 Wh.kg⁻¹ [8]. V roce 2002, více než 66 % všech dobíjecích akumulátorů na trhu pro mobilní, IT a komunikační zařízení zastupovaly Li-Ion akumulátory [9].

Tabulka.2.1: Porovnání konvenčních nabíjecích akumulátorů [10] [11] [12].

	Napětí [V]	Měrná energie [Wh.kg ⁻¹]	Hustota energie [Wh.l ⁻¹]	Měrný výkon [W.kg ⁻¹]	Životnost [cykly]
VRLA	2,1	30-60	65-80	180	500-800
NiCd	1,2	50-80	50-140	400	400
NiMH	1,2	40-130	150-280	250-1000	600
Li-Ion	3,6	150-250	330-500	1 800	2 500

2.1 Lithium-iontové akumulátory

Vyšší objemová a gravimetrická schopnost akumulace energie jsou klíčovými charakteristikami Li-Ion systémů v porovnání s nikl-kadmium (NiCd) a nikl-metalhydrid (NiMH) akumulátory a ventilem řízenými olověnými (VRLA) systémy (Obrázek 2.1). Akumulátory Li-Ion dosahují mnohem vyšších hodnot měrné energie a hustoty energie i při nižších rozměrech a hmotnosti v porovnání s konvenčními články.



Obrázek 2.1 Měrná energie a hustota energie malých uzavřených nabíjecích akumulátorů [8].

Stejně jako ostatní technologie, mají i lithiové akumulátory své výhody i nevýhody. I když existuje mnoho různých typů akumulátorů, je možné uvést některé výhody a nevýhody v obecném měřítku viz Tabulka 2.2.

Tabulka 2.2 Výhody a nevýhody Li-Ion a Li-Pol nabíjecích akumulátorů [8], [13].

Výhody	Nevýhody
Nejlepší poměr dodané energie na jednotku hmotnosti	Ochranné obvody pro zajištění bezpečnosti, přebíjení a úplnému vybíjení
Bez paměťového efektu	Cena
Dlouhá životnost	Delší doba nabíjení
Vysoká energetická účinnost	Ztráta výkonu při nízkých teplotách
Flexibilní rozměry	Stárnutí
Gelový elektrolyt	Degradace elektrodového materiálu při vyšších a nízkých teplotách
Nízká míra samovybíjení	
Vysoká hodnota nominálního napětí	
Rozměry, různé typy a tvary	

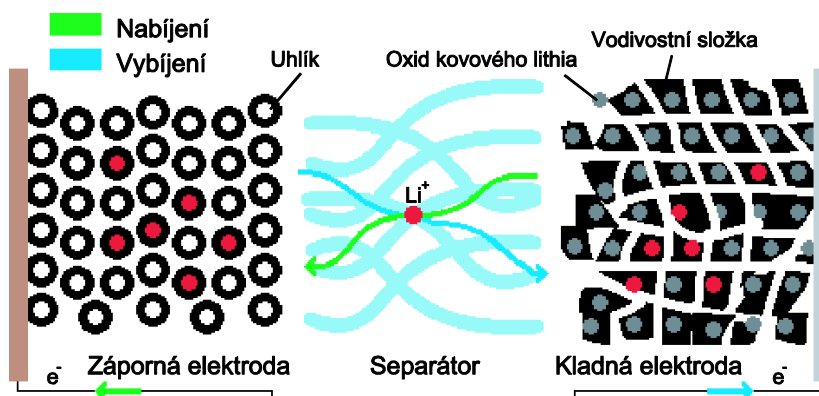
Mezi zásadní vlastnosti Li-Ion akumulátorů patří nízké samovybíjení (2 – 8 % za měsíc), dlouhá doba životnosti (u některých typů přes 2000 cyklů) a široký teplotní rozsah provozu. Jednotlivé články obvykle pracují v rozmezí 2,5 – 4,2 V. Dosažení tak vysokého napětí zajišťuje kladná a záporná elektroda s potenciály (při nabitém stavu) 3,0 – 4,5 V vs. Li^+/Li a 0,0 – 0,2 V vs. Li^+/Li .

Nevýhodou Li-Ion akumulátorů je degradace elektrod při poklesu napětí pod 2V a následná absence chemického mechanismu pro řízení přebití může způsobit zničení akumulátoru. Jednou z nevýhod je také snížení kapacity v závislosti při vyšších provozních teplotách (nad 65 °C) avšak proti NiCd a NiMH v nižší míře.

2.1.1 Struktura Li-Ion akumulátoru

Článek Li-Ion akumulátoru je složen ze dvou porézních elektrod o tloušťce v rozmezí 100 – 200 μm . Kolektor kladné elektrody je vyroben z hliníku ve formě fólie (u Li-Fe akumulátorů je hliník nahrazen železem). Materiál kladné elektrody je obvykle oxid kovu s vrstvenou strukturou, jako je lithium kobalt oxid (LiCoO_2) nebo tunelovou strukturou jako například lithium mangan (LiMn_2O_4). Kolektor záporné elektrody je vyroben z měděné fólie s nanesenou vrstvou uhlíku [13]. Elektrody jsou

tvořeny tzv. interkalačními hostitelskými látkami, v nichž elektrochemická reakce představuje proces, při němž dochází ke komutaci iontů lithia (Li^+) mezi anodou a katodou přes iontově vodivý elektrolyt a separátor. Jako elektrolyt se v Li-Ion akumulátoru používá směs kapalných látek, lithných solí a organických rozpouštědel. K elektrickému oddělení katody a anody je využíván porézní separátor. Princip nabíjení resp. vybíjení je zobrazen na Obrázek 2.2. [14].



Obrázek 2.2 Princip nabíjení/vybíjení Li-Ion akumulátoru.

2.1.2 Kladná elektroda

Aktivní látku kladné elektrody tvoří u komerčně dostupných akumulátorů oxid kovů. První akumulátory uvedené na trh společností Sony obsahovaly LiCoO_2 (tento materiál vyvinuli a následně patentovali Goodenough a Mizushima [15]). Následně došlo k používání materiálů s nižšími výrobními náklady, jako například LiMn_2O_4 nebo materiály s vyšší kapacitou, jako je $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2$, LiFePO_4 a $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Materiály elektrod musí splňovat celou řadu požadavků:

- Možnost pojmout velké množství lithných iontů.
- Vysoká energie bez reakce s lithiem.
- Nerozpustnost v elektrolytu.
- Nízkonákladová syntéza.
- Reverzibilní začlenění lithia bez strukturálních změn.
- Nízká pořizovací cena materiálů.
- Dobrá měrná elektrická vodivost.

Výše uvedené požadavky slouží jako vodítko k výběru vhodného materiálu pro kladnou elektrodu. Aby bylo u elektrody dosaženo vysoké kapacity, musí aktivní materiál obsahovat velké množství lithia. Použité materiály musí také zajistit dostatečnou interkalaci lithia s minimálními strukturálními změnami. Materiál musí

být kompatibilní se všemi částmi akumulátoru a nesmí docházet k jeho rozpuštění v elektrolytu. Všechny dosud uvedené materiály jsou limitovány redoxními mechanismy v souvislosti krystalovou strukturou materiálů.

2.1.3 Záporná elektroda

Od roku 1970 byly interkalační sloučeniny považovány za materiály pro Li-Ion akumulátory. Nicméně v průběhu 70. a 80. let 20. století byl výzkum zaměřen na použití kovového lithia jako záporné elektrody vzhledem k vysoké specifické kapacitě. Po uvedení na trh došlo k ustoupení od používání kovového lithia z důvodu bezpečnostních problémů a jako náhrada za lithium na záporné elektrodě se začal využívat uhlík. První Li-Ion akumulátory od firmy Sony používaly jako materiál záporné elektrody ropný koks. Ten zajišťoval dostatečnou kapacitu (180mAh/g) a stabilitu v kontaktu s používanými elektrolyty (propylen karbonát). V polovině 90. let byl ve většině Li-Ion akumulátorů využíván zejména Mesocarbon Microbead uhlík (MCMB), u něhož byla dosahována vyšší měrná kapacita až 300mAh/g při malé povrchové ploše. To zajišťovalo nižší ztráty kapacity a lepší bezpečnostní vlastnosti. Následně došlo k vývoji modifikovaných uhlíkových materiálů zajišťujících větší plochu a vyšší kapacity elektrody. Dnes se v akumulátorech používají různé druhy uhlíkových materiálů, a to jak levný přírodní grafit, tak tvrdé uhlíkové materiály, které poskytují vyšší kapacitu než přírodní grafit [13]. Struktura uhlíku zásadně ovlivňuje elektrochemické vlastnosti a potenciál akumulátoru včetně interkalace lithia. Stavebním materiálem u uhlíkových materiálů jsou planární vrstvy tvořené uhlíkovými atomy, které jsou umístěny v hexagonálním poli [16].

2.1.4 Elektrolyty

Většina současných akumulátorů používá pevné elektrody, které jsou odděleny separátorem a celý systém je zalit kapalným elektrolytem. Jednou z hlavních výhod takového uspořádání je to, že přítomnost kapaliny snižuje problémy vyplývající ze změny objemu, ke které dochází změnou kompozice elektrodových materiálů vlivem nabíjení resp. vybíjení. V souvislosti s použitím elektrolytu by měla být pozornost ubírána na zajištění dostatečné stability celého systému. Příkladem může být skutečnost, že vodné elektrolyty nemůžou být použity ve spojení se zápornou elektrodou s vysokým obsahem lithia. Namísto toho jsou používány elektrolyty obsahující organická rozpouštědla [17].

Vlastnosti použitých elektrolytů jsou klíčovými determinanty výkonosti akumulátoru. Přesto výzkum a vývoj nových elektrolytů získal pouze nevýznamnou

část pozornosti oproti katodovým a v poslední době anodovým materiálům. To může být způsobeno historicky dlouhým vývojem elektrolytu, který zajistil reverzibilní cyklování grafitové anody a katody LiCoO_2 . Přestože interkalační sloučeniny byly objeveny v roce 1950, trvalo desetiletí vyvinout směs ethylenkarbonátu (EC), lineárních uhličitánů jako jsou diethylkarbonát (DEC) a lithium hexafluorofosforečnanu [18].

V současnosti používané elektrolyty mají velmi podobné složení: ethylenkarbonát (EC) ve spojení s lineárním uhličitánem, smícháno se solí a přísadou s cílem optimalizovat vlastnosti elektroda-elektrolyt (SEI). Je známo, že vlastnosti vrstvy elektroda-elektrolyt (SEI) mají zásadní význam pro provoz Li-Ion akumulátorů na bázi grafitové anody [18], [19], [20].

2.2 Separátory

Rozvoj výroby v oblasti akumulátorů resp. v technologii výroby v posledních letech byl zapříčiněn jak prostřednictvím stálého zlepšování specifických elektrochemických systémů, tak i prostřednictvím vývoje a zavádění nových zdrojů proudu. I přes tento progres nebyl vyroben ideální akumulátor, který by poskytoval ideální výkon za všech provozních podmínek. Stejně tak nebyl vyroben ideální separátor pro všechny typy akumulátorů.

Separátor je porézní materiál umístěný mezi elektrodami rozdílné polarity, je iontově propustný a zároveň elektricky nevodivý. V průběhu let byla aplikována řada separátorů, mezi které patřily cedrové šindele, střívka, celulózový papír, iontoměničové membrány nebo mikroporézní separátory. Spolu s vývojem akumulátorů bylo třeba vyvíjet i separátory, na které byly kladeny stále vyšší nároky [8].

Separátory hrají klíčovou roli ve všech akumulátorech. Jejich hlavní funkcí je elektrické oddělení kladné a záporné elektrody a zabránění tak elektrickému zkratu a zároveň umožnění rychlého transportu iontových nosičů náboje. Separátory by měly mít velmi dobré izolační vlastnosti. Většina používaných separátorů pro Li-Ion akumulátory vznikla jako spin-off stávajících technologií. Většina separátorů nebyla vyvinuta primárně pro použití v Li-Ion akumulátorech, nejsou tedy zcela optimalizovány [8].

Různým tvarům Li-Ion akumulátorů odpovídá různý návrh a uložení částí akumulátoru do pouzdra. Podle typu pouzdra resp. akumulátoru jsou separátory naskládány mezi elektrody nebo jsou svinuty společně s elektrodami. Pro zajištění

dobrého mezifázového kontaktu musí být elektrody společně se separátorem pevně stlačeny. To vyžaduje, aby byl separátor dostatečně pevný v tlaku i tahu pro zajištění dokonalé elektrické izolace [8]. Elektrody společně se separátorem jsou následně vloženy do pouzdra, které zajistí konstantní tlak resp. mezifázový kontakt a celý systém je zalit elektrolytem, který postupně nasakuje jak do separátoru, tak i do elektrod. Pro představu Li-Ion akumulátor, typ 18650, obsahuje 0,07 – 0,09 m² separátoru, což je přibližně 4-5 % z celkové hmotnosti akumulátoru [21].

Pro výběr vhodného separátoru je třeba brát v potaz řadu faktorů, které jsou důležité pro správnou funkci akumulátoru.

- Elektrický odpor
- Minimální iontový odpor resp. dobrá iontová vodivost
- Mechanická a rozměrová stabilita
- Dostatečná pevnost pro snadnou manipulaci
- Chemická odolnost vůči degradaci způsobené elektrolytem, elektrodami
- Efektivnost při prevenci migrace částic mezi elektrodami
- Snadná a rychlá smáčivost elektrolytem
- Rovnoměrná tloušťka

Pořadí výše uvedených bodů záleží na typu akumulátoru. V mnoha aplikacích dochází ke kompromisu mezi jednotlivými body. Obecně je totiž požadován optimální výkon, bezpečnost a minimální náklady. Například u akumulátorů, které se vyznačují malým vnitřním odporem a kapacitou, bývají použity vysoce porézní a tenké separátory. V oblasti s velkým fyzikálním namáháním se preferují silné a pevné separátory [8].

2.2.1 Typy používaných separátorů

Separátory pro akumulátory jsou rozděleny dle fyzikálních a chemických vlastností a rozdělují se na lisované, tkané, netkané, mikroporézní, lepené, papírové, laminátové nebo nanovláknenné. V posledních letech došlo k rozvoji pevných a gelových elektrolytů, které slučují separátor a elektrolyt v jeden díl. Ve většině akumulátorů jsou separátory vyrobeny z netkané textilie nebo mikroporézní polymerní fólie. U akumulátorů pracujících při teplotě okolí jsou používány separátory z organických materiálů, jako jsou polymery a celulózový papír popř. anorganické materiály, mezi které patří azbest, skelná vata nebo SiO₂. U alkalických akumulátorů jsou často používány separátory z mikroporézní polymerní fólie nebo regenerované celulózy.

Mikroporézní polymerní separátory se používají i v Li-Ion akumulátorech s organickými elektrolyty [9].

Separátory tedy můžeme rozdělit:

- Mikroporézní fólie
- Netkané textilie
- Iontoměničové membrány
- Gelové polymerní elektrolyty
- Pevné iontové vodiče

Mikroporézní fólie resp. separátory jsou vyrobeny z různých anorganických, organických a přirozeně se vyskytujících látek, které obsahují póry o průměry větším než 50 – 100 Å. Materiály jako jsou netkaná vlákna (nylon, bavlna, polyester, sklo), polymerní fólie (polyethylen (PE), polypropylen (PP), polytetrafluorethylen PTFE, polyvinylchlorid (PVC)) a přirozeně se vyskytující látky (guma, azbest, dřevo) byly a jsou používány jako mikroporézní separátory v akumulátorech pracujících do teploty 100 °C. V Li-Ion akumulátorech jsou zpravidla používány polyolefiny (PP, PE nebo lamináty z PP a PE) [9].

Netkané textilie jsou vyráběny přímo z vláken, která jsou směrově nebo náhodně orientovaná a výstupem bývá zpravidla arch popř. fólie. Vlákná mohou být lepená, tkaná, všívaná, obšitá. Samostatná vlákna jsou přírodní nebo umělá a dle typu technologického procesu se používají vlákna střížená nebo nekonečná [9].

Iontoměničové membrány jsou zpravidla vyrobeny z polymerního materiálu, jako jsou PP, PE, PTFE nebo na bázi filmů s velmi dobrou chemickou odolností. Velikost pórů je menší než 20 Å. U iontoměničových membrán nedochází ke klasické výměně iontů, ale ke kontrolovanému selektivnímu transportu. Použití iontoměničových membrán v Li-Ion akumulátorech je omezené [9], [22].

Pevné iontové vodiče slouží současně jako separátor a elektrolyt. Jedná se obecně o anorganické materiály, které jsou nepropustné pro plyn a kapaliny a zároveň umožňují iontový přenos.

2.2.2 Separátory pro Li-Ion akumulátory

U Li-Ion akumulátorů se výhradně používají nevodné elektrolyty. Důvodem je reaktivita lithia ve vodném roztoku a stabilita elektrolytu při vysokém napětí. Ve většině akumulátorů se využívají mikroporézní separátory vyrobené z polyolefinu.

Typ separátoru je odvozen od použitého typu elektrolytu (kapalný, gelový polymerní, polymerní elektrolyt). U akumulátorů s kapalným elektrolytem bývá použit mikroporézní polyolefinový separátor, zatímco u gelových elektrolytů je použit mikroporézní polyvinyliden fluoridový (PVDF) nebo polyolefinový separátor. U akumulátorů PLION® se používá PVDF separátor s vrstvou oxidu křemičitého a plastifikátoru. Mikroporézní struktura je v tomto případě vytvořena tak, že dojde k odstranění plastifikátoru a poté se systém zaplní elektrolytem. U pevných polymerních Li-Ion akumulátorů působí elektrolyt zároveň jako separátor. V Tabulka 2.3 jsou uvedeny konvenční používané separátory dle typu akumulátoru [8].

Tabulka 2.3 Separátory používané v různých typech Li-Ion akumulátorů [8].

Typ akumulátoru	Typ separátoru	Složení
Li-Ion (kapalný elektrolyt)	Mikroporézní	Polyolefin (PE, PP, PP/PE/PP)
Li-ion gel polymer	Mikroporézní	PVDF
	Mikroporézní	Polyolefin (PE, PP, PP/PE/PP) potažené vrstvou PVDF nebo gelem
Lithium polymer	Polymerní elektrolyt	Polyethylenoxid s lithnou solí

Nové mikroporézní separátory na bázi polyolefinů byly vyvinuty a používány zejména v Li-Ion akumulátorech z důvodu specifických požadavků., které dříve používané separátory nesplňovaly [8].

Velikost pórů u komerčně dostupných separátorů se pohybuje v rozmezí 0,03 – 0,1 μm a pórovitost je 30 – 50 %. Rozdílné teploty tavení PE (135 °C) a PP (165 °C) umožňují použít separátor jako tepelnou pojistku. Trojvrstvý materiál (PP / PE / PP), který byl vyvinut společností Celgard®, využívá vrstvu PP k zachování integrity filmu, zatímco PE vrstva zajistí uzavření pórů při dosažení teploty tání a dojde k zamezení průchodu iontů mezi elektrodami [23]. Seznam důležitých výrobců separátorů pro Li-Ion akumulátory jsou uvedeny v Tabulka 2.4.

Tabulka 2.4 Hlavní výrobci separátorů pro Li-Ion akumulátory spolu s typickými produkty [9].

Výrobce	Struktura	Materiál	Proces	Obchodní název
Asahi Kasei	Jednovrstvá	PE	Mokrý	HiPore
Celgard Inc	Jednovrstvá	PP, PE	Suchý	Celgard
	Vícevrstvá	PP / PE / PP	Suchý	Celgard
	PVDF povlak	PVDF, PP, PE	Suchý	Celgard
Entek membranes	Jednovrstvá	PE	Mokrý	Teklon
DSM	Jednovrstvá	PE	Mokrý	Solopur
Tonen	Jednovrstvá	PE	Mokrý	Setela
Ube Industries	Vícevrstvá	PP / PE / PP	Suchý	U-Pore

S poptávkou po vysokokapacitních akumulátorech stoupl zájem i o moderní separátory. Jedním ze způsobů pro zajištění vyšší kapacity při stávajícím rozměru

akumulátoru je i zmenšení separátorů. U akumulátorů o kapacitách nad 2 Ah se používá 16 až 20 μm tlustý separátor. U gelových polymerních akumulátorů tloušťka klesla až na 9 μm . První netkané separátory dosahovaly velkých tlouštěk, proto se používaly v knoflíkových člancích a v aplikacích, kde nedocházelo k rychlému vybíjení [24].

2.2.3 Elektrostatické zvlákňování – electrospinning

Jde o jednoduchou technologii, známou od roku 1930, pro výrobu nekonečných vláken, o průměru okolo 5 nm, vyrobených z různých materiálů od polymerů, kompozitů až po keramiku. Vlastnosti takto připravených vláken nejsou stejné jako u konvenčních vzorků. Elektrostaticky připravená vlákna mají vysoký poměr povrchu k objemu, vynikající mechanické a dielektrické vlastnosti a kontrolovanou velikost pórů. Výborné mechanické vlastnosti vyplývají z průměru vláken, kterého u konvenčních postupů předení nelze dosáhnout [25], [26].

2.2.4 Požadavky na separátor

Tloušťka

Komerčně využívané akumulátory obsahují tenké mikroporézní separátory o tloušťce menší než 20 μm . Li-Ion akumulátory, které se používají do aplikací EV / HEV, vyžadují silnější separátory o tloušťce okolo 40 μm . Tloušťka separátoru koreluje s vyšší mechanickou pevností, a tím s nižší pravděpodobností punkce při montáži akumulátoru. Větší objem separátoru má však za následek úbytek aktivní hmoty v akumulátoru při stejném typu pouzdra, protože tenčí separátory umožní použití větších elektrod [8], [27]

Porozita

Pórovitost separátoru stanovuje, jak snadno se mohou ionty pohybovat mezi elektrodami. Vyšší pórovitost znamená volnější pohyb iontů a menší vnitřní odpor. V komerčních akumulátorech se využívají separátory s pórovitostí 35 – 50 %. Faktory, které ovlivňují přenos energie a bezpečnost jsou [8]:

- Počet / objem pórů v separátoru.
- Velikost pórů.
- Průchod iontu přes separátor.

Smáčivost a smáčecí rychlost

Dvě důležité fyzikální vlastnosti u separátorů jsou absorpce a retence elektrolytu. Separátory by měly být schopny absorbovat a udržet ve svém objemu velké množství

elektrolytu. Tyto vlastnosti jsou důležité zejména u uzavřených akumulátorů, kde není k dispozici žádný volný elektrolyt. Špatná smáčivost separátoru může negativně ovlivnit kapacitu akumulátoru. Rychlost smáčení může ovlivnit i dobu plnění v reálných akumulátorech [8].

Rychlost smáčení určuje typ polymeru (povrchová energie), velikost pórů, pórovitost a struktura povrchu. U hydrofobních separátorů lze smáčivost zajistit plasmatickým ošetřením nebo surfaktantem (smáčedlem).

Chemická stabilita

Stabilita akumulátoru je ovlivněna mimo jiné i chemickými vlastnostmi separátorů. Separátor by měl být odolný redukčním i oxidačním dějům a nesmí zhoršovat a ztrácet mechanickou pevnost. Separátor by také neměl uvolňovat nečistoty, které by mohly interferovat s funkcí akumulátoru. Separátor musí být schopen odolat korozivní povaze elektrolytu při teplotách až 75 °C. Čím lépe odolává separátor oxidačním a redukčním dějům a zároveň korozivním vlastnostem, tím se prodlužuje jeho životnost. Polyolefiny vykazují vysokou odolnost vůči běžně používaným chemikáliím, dosahují dobrých mechanických vlastností. PP separátory jsou odolnější proti oxidaci na rozdíl od PE separátorů [8], [9].

Elektrická a mechanická pevnost

Separátory musí být dostatečně pevné, aby se zabránilo proražení resp. pronikání elektrodového materiálu přes separátor (dendrity lithia). Pro většinu aplikací bylo empiricky dokázáno, že síla průniku by měla být alespoň 0,248 g·m⁻¹ [8], [9].

Teplotní stabilita

Teplotní stabilita hraje důležitou roli u separátorů používaných v průmyslu. Je třeba, aby byly separátory odolné zvýšené teplotě při použití v reálném článku (klimatické podmínky, zahřívání zařízení). Separátory jsou vystaveny zvýšené teplotě i při sestavování akumulátoru. Pro zajištění absence vody v akumulátoru jsou separátory před vložením do pouzdra sušeny ve vakuu při teplotě nad 80 °C. Za těchto podmínek se nesmí separátor smršťit, popř. svraštit. Obecně platí, že se separátor nesmí svraštit o 5 % za dobu 60 minut při teplotě 90 °C ve vakuu, a to jak v podélném, tak i v příčném směru [8], [9].

2.2.5 Separátor – vlastnosti a charakterizace

Separátory jsou charakterizovány funkčními a strukturálními vlastnostmi. Strukturální vlastnosti zahrnují zejména, tloušťku, velikost a distribuci pórů, pórovitost a různé chemické a fyzikální vlastnosti, jako je chemická stabilita a absorpce elektrolytu. Funkční vlastnosti popisují propustnost, konduktivitu, permitivitu a měrný elektrický odpor. Při charakterizaci separátorů dle funkčních a strukturálních vlastností lze stanovit závislost mezi nimi a výkonem Li-Ion akumulátoru.

Tabulka 2.5 Obecné požadavky na Li-Ion separátor [9].

Parametry	Požadavky
Tloušťka	$< 25 \mu\text{m}$
Měrný elektrický odpor	$< 2 \Omega \cdot \text{cm}^2$
Velikost pórů	$< 1 \mu\text{m}$
Pórovitost	$\sim 40 \%$
Elektrická pevnost	$> 0,248 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$
Smrštění	$< 5 \%$ v MD a TD
Pevnost v tahu	$< 2 \%$ při tlaku 700 kPa
Smáčivost	Kompletní smočení v celém objemu akumulátoru
Chemická stabilita	Dlouhodobá stabilita
Rozměrová stabilita	Mechanická stálost, teplotní odolnost

3 Elektrochemické a fyzikální metody

3.1 Fyzikální metody

3.1.1 Termická analýza – Termogravimetrie (TGA)

Metoda termické analýzy patří mezi nejdůležitější fyzikálně-chemické techniky, které se využívají pro analýzu širokého spektra materiálů (kovy, organické a anorganické látky, polymery). Tato metoda stanovuje ztráty hmotnosti v závislosti na teplotě a čase. TGA je možné použít u polymerů ke kvalifikaci hmotnostních změn spojených s přechody nebo degradačními procesy. TGA poskytuje pro daný polymer charakteristickou křivku, která jej přesně definuje při konkrétních teplotách [28], [29].

3.1.1 Tepelná odolnost

Pro zajištění dobrých elektroizolačních vlastností i při zvýšených teplotách je nutné, aby použitý separátor neměnil svou velikost a pevnost a při změně teploty byl stabilní. Při zajištění těchto kritérií nedojde k elektrickému kontaktu mezi elektrodami. Teplotní stabilita separátoru se testuje při

zvýšené teplotě po určitou časovou dobu. Společně s TGA analýzou nám pak výsledky zajistí dostatečný přehled o chování a vlastnostech separátorů.

3.2 Elektrochemické metody

3.2.1 Impedanční spektroskopie (EIS)

Elektrochemická impedanční spektroskopie je technika pro měření impedance systému při různých budících frekvencích. EIS je neinvazivní testovací procedura, kterou lze provádět v průběhu provozu nebo testování.

3.2.2 Měření vnitřního a povrchového odporu separátorů

Kvalita a stav separátorů jsou charakterizovány mimo jiných veličin také hodnotou vnitřní rezistivity (měrného vnitřního odporu) a povrchové rezistivity (měrného povrchového odporu). Vnitřní rezistivita materiálu se rovná poměru intenzity elektrického pole a proudové hustoty uvnitř vzorku. Povrchová rezistivita materiálu se rovná poměru intenzity elektrického pole a proudové hustoty na povrchu vzorku [30].

4 Závěr

Tato disertační práce bude věnovat hlavní pozornost použití nanovlákných separátorů v Li-Ion akumulátorech. Jde zde snaha popsat vlastnosti separátorů pomocí elektrochemických a dielektrických metod a vytvořit tak detailní teoretický rozbor oblasti, která zatím v této souvislosti nebyla dostatečně publikována. Důraz je kladen na rozdílné vlastnosti mikroporézních a nanovlákných separátorů, a to jak v mechanických, tak i ve fyzikálních vlastnostech. Na základě získaných skutečností je snaha o stanovení vhodného nastavení a poměrů při výrobě nanovlákného separátoru. V experimentální části disertace se výzkum zaměří na porovnání komerčně dostupných separátorů s nově vyvíjenými nanovláknými separátory společností Nafigate Corporation, a.s.

5 Bibliografie

1. OGIHARA, N., et al. Theoretical and Experimental Analysis of Porous Electrodes for Lithium-Ion Batteries by Electrochemical Impedance Spectroscopy Using a Symmetric Cell. *Journal of the Electrochemical Society*. 2012, roč. issue 7. A1034-A1039. DOI <http://dx.doi.org/10.1149/2.057207jes>.
2. HALL, P.J. a E.J. BAIN. Energy-storage technologies and electricity generation. *Energy Policy*. 2008, roč. issue 12. 4352-4355. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.037>.
3. WINTER, M. a R.J. BRODD. What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors? *ChemInform*. 2004, roč. issue 50. DOI <http://dx.doi.org/10.1002/chin.200450265>.
4. YASER ABU-LEBDEH, I.D. *Nanotechnology for lithium-ion batteries*. Nanotechnology for lithium-ion batteries. New York: Springer, 2013. ISBN 978-146-1446-057.
5. SANTHANAGOPALAN, S. a Z.J. ZHANG. Rechargeable Batteries, Separators for. *Batteries for Sustainability*. New York, NY: Springer New York, 2013. 135. DOI 10.1007/978-1-4614-5791-6_6.
6. YUAN, X., H. LIU a J. ZHANG. *Lithium-ion batteries: advanced materials and technologies*. Lithium-ion batteries. Boca Raton: CRC Press, c2012, xiv, 406 p. s. ISBN 978-143-9841-280.
7. ZHAO, Z., et al. High performance ultrafiltration membrane based on modified chitosan coating and electrospun nanofibrous PVDF scaffolds. *Journal of Membrane Science*. 2012. 209-217. DOI 10.1016/j.memsci.2011.12.043.
8. YOSHIO, M., R. BRODD a A. KOZAWA. *Lithium-ion batteries: science and technologies*. Lithium-ion batteries. New York: Springer, 2009, xxvi, 452 p. s. ISBN 978-038-7344-454.
9. ARORA, P. a Z. ZHANG. Battery Separators. *Chemical Reviews*. 2004, roč. issue 10. 4419-4462. DOI 10.1021/cr020738u.
10. PROSINI, P.P. *Iron phosphate materials as cathodes for lithium batteries: the use of environmentally friendly iron in lithium batteries*. Iron phosphate materials as cathodes for lithium batteries. New York: Springer, 2011, x, 85 p. s. ISBN 978-085-7297-457.
11. JANOSCHKA, T., M.D. HAGER a U.S. SCHUBERT. Powering up the Future: Radical Polymers for Battery Applications. *Advanced Materials*. 2012, roč. issue 48. 6397-6409. DOI <http://dx.doi.org/10.1002/adma.201203119>.
12. ERIKSSON, B.T. *LiMn₂O₄ as a Li-Ion battery cathode from bulk to electrolyte interface*. LiMn₂O₄ as a Li-Ion battery cathode from bulk to electrolyte interface. Uppsala: Univ, 2001. ISBN 91-554-5100-4. Dissertation. Faculty of Science and Technology.
13. LINDEN, D. a T.B. REDDY. *Handbook of batteries*. Handbook of batteries. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2002, 1 v. (various pagings) s. ISBN 00-713-5978-8.

14. JIRÁK, T. *Materiály a komponenty pro lithno-iontové zdroje proudu: Materials and Components for Lithium-Ion Power Sources*. Materiály a komponenty pro lithno-iontové zdroje proudu. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. Disertační práce. VUT v Brně..
15. GOODENOUGH, J.B. a K. MIZUCHIMA. *Electrochemical cell with new fast ion conductors*.
16. XIONG, Z., Y. YUN a H.J. JIN. Applications of Carbon Nanotubes for Lithium Ion Battery Anodes. *Materials*. 2013, roč. issue 3. 1138-1158. DOI 10.3390/ma6031138.
17. HUGGINS, R.A. *Advanced batteries: materials science aspects*. Advanced batteries. London: Springer, c2009, xxx, 474 p. s. ISBN 978-0-387-76424-5.
18. XU, K. Nonaqueous Liquid Electrolytes for Lithium-Based Rechargeable Batteries. *Chemical Reviews*. 2004, roč. issue 10. 4303-4418. DOI 10.1021/cr030203g.
19. XU, K. Whether EC and PC Differ in Interphasial Chemistry on Graphitic Anode and How. *Journal of The Electrochemical Society*. 2009, roč. issue 9. A751-. DOI 10.1149/1.3166182.
20. XU, K. Electrolytes and Interphasial Chemistry in Li Ion Devices. *Energies*. 2010, roč. issue 1. 135-154. DOI 10.3390/en3010135.
21. JOHNSON, B.A. a R.E. WHITE. Characterization of commercially available lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 1998, roč. issue 1. 48-54. DOI 10.1016/S0378-7753(97)02659-1.
22. JELÍNEK, L. *Desalinační a separační metody v úpravě vody*. Desalinační a separační metody v úpravě vody. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2008, 171 s. s. ISBN 978-80-7080-705-7.
23. YU, W.C. a S.E. HUX. *Extrusion, bonding polyethylene, polypropylene*.
24. SPOTNITZ, R. Separators for Lithium-Ion Batteries. *Handbook of Battery Materials*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2011-08. 693. DOI 10.1002/9783527637188.ch20.
25. OHIO UNIVERSITY. *Electrospinning Polymer Nanofibers - Electrical and Optical Characterization*. Electrospinning Polymer Nanofibers - Electrical and Optical Characterization. Ohio: ProQuest, 2007. ISBN 9780549366119. Disertační práce. Ohio University.
26. LI, D. a Y. XIA. Electrospinning of Nanofibers: Reinventing the Wheel? *Advanced Materials*. 2004-07, roč. issue 14. 1151-1170. DOI 10.1002/adma.200400719.
27. ORENDORFF, C.J. Lithium Ion Battery SAFETY. *ECS Interface*. 2012, roč. 2.

28. Termická analýza – termogravimetrie (TGA). In: *ChemPoint*. 15.02.2011. [cit. 2014-07-23]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/kucerik-1>
29. STUART, B. *Polymer analysis*. Polymer analysis. New York: J. Wiley, c2002, xx, 279 p. s. ISBN 04-718-1363-X.
30. JIRÁK, J., et al. *Materiály a technická dokumentace: Laboratorní cvičení*. Materiály a technická dokumentace. Brno: 2008. [cit. 2014-08-04]. Skriptum. VUT v Brně.

CURRICULUM VITAE

Osobní údaje

Titul / Jméno / Příjmení
Telefon
E-mail
Státní příslušnost
Datum narození

Ing. David Pléha
+420 774 045 323
davidpleha@gmail.com
Česká republika
24. 6. 1986

Pracovní zkušenosti

Období
Povolání nebo vykonávaná funkce
Název / Jméno a adresa
zaměstnavatele
Hlavní pracovní náplň a oblasti
odpovědnosti

Září 2014 - Dosud
FA Inženýr laboratoře
ON Semiconductor Czech Republic, s.r.o.
1. máje 2230, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm

Elektrická měření integrovaných obvodů a křemíkových waferů. Diagnostika defektů na Si waferech a IO. Deprocesování Si waferů. SEM, EDS, X-RAY a optická inspekce. Účast na projektu AMISPEC.

Období
Povolání nebo vykonávaná funkce
Název / Jméno a adresa
zaměstnavatele
Hlavní pracovní náplň a oblasti
odpovědnosti

Leden 2011 – Srpen 2014
Technicko - hospodářský pracovník
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT Brno
Technická 10, 616 00 Brno

Publikační činnost

Aktivní účast na konferencích v ČR i v zahraničí:

- 9th Electrochemistry Meeting in Turkey 2011
- Nekonvenční zdroje elektrické energie 2010 – 2015 (člen organizačního výboru)
- Advanced Batteries Accumulators and Fuel Cells 2010, 2011, 2012, 2013

Články v zahraničních časopisech:

- „Surface Diagnostic of Zinc Electrodes in Electrochemical Battery System“, 2012 (vol. 40), ECS Transactions, ISSN 1938-5862
- „Battery Separators“, 2012 (vol. 40), ECS Transactions, ISSN 1938-5862

Práce na projektech, VaV

Projekt „Centrum výzkumu a využití obnovitelných zdrojů energie (CVVOZE)“

- 2011 – 2014, pozice výzkumný asistent
- Pracovní náplň: Konstrukce Ni-Zn akumulátoru, studium tenkých vrstev metodou EQCM, příprava tenkých vrstev metodou reaktivního naprašování, Výzkum a vývoj nanovlákenných separátorů

Projekt FR-T13/198 - Výzlam nových elektrod pro alkalické akumulátory

- 2011 – 2012, pozice výzkumný pracovník
- Pracovní náplň: Výzkum a vývoj separátorů pro alkalické akumulátory, výroba pouzdra akumulátoru, příprava záporné elektrody pro akumulátor, příprava podkladů pro průběžné a závěrečné právy, vedení porad, komunikace s týmy, prezentace výsledků.

	Projekt CZ.1.07/2.3.00/35.0004 - Popularizace výsledků VaV VUT v Brně a podpora systematické práce se studenty - 2012 – 2014, pozice Metodický pracovník a redaktor centra CVVOZE a SIX - Projekt ve spolupráci s Centrem podpory projektů VUT v Brně - Pracovní náplň: Komunikace s odborným garantem VaV centra a koordinátory klíčových aktivit, příprava komunikační a marketingové strategie za VaV centrum, distribuce marketingových materiálů na VaV centru. Výuka, vedení studentů - Výuka předmětu Materiály a technická dokumentace, příprava podkladů pro laboratorní úlohy, Vedení diplomových a bakalářských prací.
Období	Červen 2013 – Prosinec 2013
Povolání nebo vykonávaná funkce	Asistent jednatele
Název / Jméno a adresa zaměstnavatele	PANO3D, s.r.o. Údolní 406/48, Veveří, 602 00 Brno
Hlavní pracovní náplň a oblasti odpovědnosti	Příprava marketingové strategie společnosti, komunikace s klienty, péče o stávající zákazníky, prezentace služeb novým klientům.
Období	Březen 2013 – Červen 2013
Povolání nebo vykonávaná funkce	Stážista, oddělení prodeje
Název / Jméno a adresa zaměstnavatele	ČEGAN s.r.o. Husova 1693/35, 664 51, Šlapanice
Hlavní pracovní náplň a oblasti odpovědnosti	Kontrola a příprava nových objednávek, práce v oblasti logistiky a skladového hospodářství.
Období	Leden 2010 – Květen 2010
Povolání nebo vykonávaná funkce	Regional Product Development
Název / Jméno a adresa zaměstnavatele	GTS ALIVE s. r. o. Letenská 1/118, 118 00 Praha 1
Hlavní pracovní náplň a oblasti odpovědnosti	Vyhledávání nových zákazníků, péče o stávající zákazníky, prezentace služeb.
Vzdělání, odborná příprava a školení	
Období	2015 - 2017
Dosažená kvalifikace	Six Sigma Green Belt
Obor	Kurz Lean Six Sigma Green Belt
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	ON Semiconductor Czech Republic, s.r.o.
Období	2010 – Prosinec 2017
Dosažená kvalifikace	Ph.D.
Obor	Mikroelektronika a technologie
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Období	Leden 2013 – Červen 2013
Dosažená kvalifikace	A1
Obor	Kurz pro začátečníky – Německý jazyk
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	HOPE - E. S., v.o.s., jazyková škola

Období	Září 2012 – Červen 2013
Dosažená kvalifikace	B1
Obor	Kurz pro mírně pokročilé I – Anglický jazyk
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Filozofická fakulta Masarykovy univerzity
Období	2008 - 2010
Dosažená kvalifikace	Ing.
Obor	Elektrotechnická výroba a management
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Období	2006 - 2008
Dosažená kvalifikace	DPS pro výuku
Obor	Doplňující pedagogické studium pro učitele praktického vyučování a odborného výcviku na střední škole
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Období	2005 - 2008
Dosažená kvalifikace	Bc.
Obor	Automatizační a měřicí technika
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Období	2001 - 2005
Dosažená kvalifikace	Maturitní zkouška
Obor	Elektrotechnika se zaměřením na automatizační techniku
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Střední průmyslová škola, Píseň
Schopnosti, znalosti a dovednosti	
Mateřský jazyk	Český jazyk
Další jazykové znalosti	
<i>Sebehodnocení</i>	
<i>Evropská úroveň</i>	
Anglický jazyk	
Počítačové znalosti a dovednosti	- MS Windows, MAC OS, MS Office, AutoCAD, Adobe Illustrator, (vše na špičkové úrovni) - Adobe Dreamweaver, Adobe Photoshop, Adobe Fireworks, Adobe InDesign, Solidworks, EC-Lab, MATLAB (uživatelsky)
Certifikáty, osvědčení	- Certifikát pro práci s Autodesk Mechanical Desktop a Solidworks - Doplnující pedagogické studium - Elektrotechnické kvalifikace (vyhl.50/1978 Sb.)
Zájmy, záliby	Sport (badminton, bouldering, cyklistika, fotbal, lyžování, plavání, squash, turistika) Umění a kultura (divadlo, hudba, grafika, design) Vzdělávání (jazyky, nové technologie)
Řidičský průkaz	Skupina B

Porozumění		Mluvení	Psaní
Poslech	Čtení	Samostatný ústní projev	Pisemný projev
B2	B2	B1	B1

Abstrakt:

Použití nanovláknenných separátorů pro Li-ion akumulátory s sebou přináší řadu výhod. Oproti dnes používaným typům mají nanovláknenné separátory vyšší teplotní odolnost, vyšší iontovou vodivost a zvýšenou schopnost zvlhčení. Právě zvýšená vodivost je u nanovláknenných separátorů zajištěna díky pórovité struktuře a velké povrchové ploše kdy vlákna mohou působit jako účinné kanály pro vedení iontů. Amorfnní charakter nanovláken umožňuje rychlý pohyb lithiových iontů skrze polymerní síť separátoru a dále poskytuje vyšší volný objem elektrolytu při vyšší teplotě. Další výhodou nanovláknenných separátorů vyrobených metodou elektrospinningu je vysoká pórovitost, dobrá chemická odolnost a vysoká teplotní stálost.

Abstract:

Nanofibrous separators use in lithium-ion batteries brings many advantages. In contrast to contemporary used commercial separators, nanofibrous ones exhibit higher temperature resistance, ionic conductivity and higher electrolyte uptake. Better ionic conductivity is ensured by porous structure and large specific surface. Fibers creates channels for the ionic species motion. Amorphous texture of nanofibers allows quick lithium ionic species motion within the polymeric matrix of separator. Furthermore, these separators exhibit higher volume of uptaken electrolyte. Further advantage of electrospunnned nanofibrous separators are both high porosity and chemical stability.