

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh lithium-iontové baterie pro elektrickou motokáru**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2013/2014

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr ZOBAL  
Osobní číslo: E11B0098P  
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika  
Studijní obor: Elektrotechnika a energetika  
Název tématu: Návrh lithium-iontové baterie pro elektrickou motokáru  
Zadávací katedra: Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Rešerše bateriových článků na bázi lithia.
2. Výběr vhodného typu článků pro sestavení trakční baterie.
3. Návrh vhodné sério-parallelní kombinace článků za účelem dosažení požadovaných parametrů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Luboš Streit  
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013  
Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

**Abstrakt**

Předmětem bakalářské práce je návrh trakční baterie pro elektrickou motokáru. Práce obsahuje podrobnou rešerši současných bateriových článků na bázi lithia a zabývá se také nejnovějšími technologiemi článků i s ohledem na jejich dostupnost. V druhé části práce je proveden vlastní návrh optimálních parametrů trakční baterie. Návrh vychází z podrobné analýzy vhodných spojení článků s ohledem na klíčové parametry, jakými jsou zejména napětí, kapacita, maximální nabíjecí a vybíjecí proud či rozměry.

**Klíčová slova**

Trakční baterie, elektrická motokára, lithium-iontové články, návrh parametrů, rešerše

**Abstract**

Subject of this thesis is the design of traction batteries for electric kart. The work includes a detailed search current battery cells lithium based and deals with the latest technology cells with regard to their availability. In the second part of the thesis custom design the optimal parameters of the traction battery. The proposal draws on a detailed analysis of appropriate connection to cells with regard to the key parameters, which are mainly voltage, capacity, maximum charge and discharge current or dimensions.

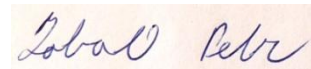
**Key words**

Traction battery, electric kart, lithium-ion cells, design parameters, searches

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink that reads "Zobal Petr".

.....  
podpis

V Plzni dne 4.6.2014

Petr Zobal

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému konzultantovi bakalářské práce Ing. Tomáši Komrskovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při konzultování mé práce.

## Obsah

<b>OBSAH.....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>9</b>
<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>2. BATERIOVÉ ČLÁNKY NA BÁZI LITHIA.....</b>	<b>11</b>
2.1 LITHIUM-IONTOVÝ ČLÁNEK .....	11
2.1.1 Historie .....	11
2.1.2 Princip .....	12
2.1.3 Rozdělení lithiových článků.....	13
2.1.4 Systém nabíjení lithiových baterií .....	14
2.1.5 Vybíjecí charakteristiky článků.....	15
2.1.6 Značení akumulátorových lithiových článků.....	16
2.1.7 Výhody lithium-iontových článků.....	17
2.1.8 Nevýhody lithium-iontových článků.....	18
2.2 LITHIUM-POLYMEROVÝ ČLÁNEK .....	18
2.3 LITHIUM-ŽELEZO-FOSFÁTOVÝ ČLÁNEK .....	19
2.4 ČLÁNKY LITHIUM-SÍRA.....	20
<b>3. REŠERŠE LITHIOVÝCH ČLÁNKŮ.....</b>	<b>22</b>
<b>4. PARAMETRY NÁVRHU .....</b>	<b>25</b>
4.1 NAPĚŤOVÉ HLADINY .....	25
4.2 ENERGETICKÉ HLADINY .....	25
4.3 CYLINDRICKÉ ČLÁNKY .....	26
4.4 PRIZMATICKÉ ČLÁNKY.....	27
<b>5. NAVRŽENÉ PARAMETRY .....</b>	<b>28</b>
<b>6. ZÁVĚR .....</b>	<b>32</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>34</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>



## Seznam symbolů a zkratek

NiCd.....	článek typu nikel-kadmium
NiMH.....	článek typu nikel-metal-hydrid
Li-ion .....	článek typu lithium-iont
Li-pol(Lipo) .....	článek typu lithium-polymer
LiFePo(LFP) .....	článek typu lithium-železo-fosfát
LiFeYPO(LFYP) ..	článek typu lithium-železo-fosfát s příměsí yttria
Li-S .....	článek typu lithium-síra
Li-O <sub>2</sub> .....	článek typu lithium-vzduch
LiFeMgPo <sub>4</sub> .....	technologie lithium-železo-mangan-fosfát
Li <sup>+</sup> .....	iont lithia
LiCoO <sub>2</sub> .....	sloučenina lithia a kobaltů
LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	sloučenina lithia a manganu
LiNiO <sub>2</sub> .....	sloučenina lithia niklu
LiPF <sub>6</sub> .....	lithiová fluorfosfátová sůl
U .....	napětí [V]
I.....	proud [A]
I <sub>max</sub> .....	maximální proud [A]
C.....	kapacita [Ah]
E.....	energie [Wh]
P .....	výkon [W]
P <sub>max</sub> .....	maximální výkon [W]
Sp. E.....	specifická energie [Wh]
xC.....	x-násobek hodnoty kapacity (x je celé kladné číslo) [A]
CCCV .....	Constant Current followed by Constant Voltage
UPS .....	Uninterruptible Power Supply (Nepřerušitelný zdroj energie)
EV .....	Electric Vehicle (elektrické vozidlo)
DVD.....	Digital Video Disc (Digitální video disk)
PDA .....	Personal Digital Assistant (Osobní digitální pomocník)
GPS .....	Global Positioning System (Globální polohovací systém)

## 1. Úvod

Tato práce je zaměřena na návrh trakční baterie pro elektrickou motokáru. Práce je logicky členěna do dvou hlavních částí. První část analyzuje současný stav, provádí rešerši bateriových článků, založených zejména na, v současné době nejrozšířenější technologii Li-ion. Součástí rešerše jsou také technologie s potenciálem do budoucnosti, a to především technologie Li-S.

Druhá část práce se zaměřuje na návrh samotné trakční baterie pro elektrickou motokáru. Baterie bude sestávat ze dvou modulů a bude napájet dva trakční motory, každý o jmenovitém výkonu 35 kW s možností krátkodobého přetížení na 50 kW. Na základě provedené rešerše bateriových článků jsou vybrány vhodné typy pro návrh s ohledem na hlavní parametry. Samotný návrh spočívá ve vhodné kombinaci propojení článků za účelem dosažení dané napěťové hladiny, daných rozměrů při dvoumodulovém uspořádání, kapacity, energie a vybíjecího a nabíjecího proudu.

Historie baterie se datuje již do období zhruba před 2000 lety. Jednalo se o tzv. „bagdádskou baterii“. Baterie byla schopna vyvíjet elektřinu v rozmezí 1,1 až 2 V a byla náhodou objevena roku 1936 při stavbě železnice poblíž Bagdádu. [16]

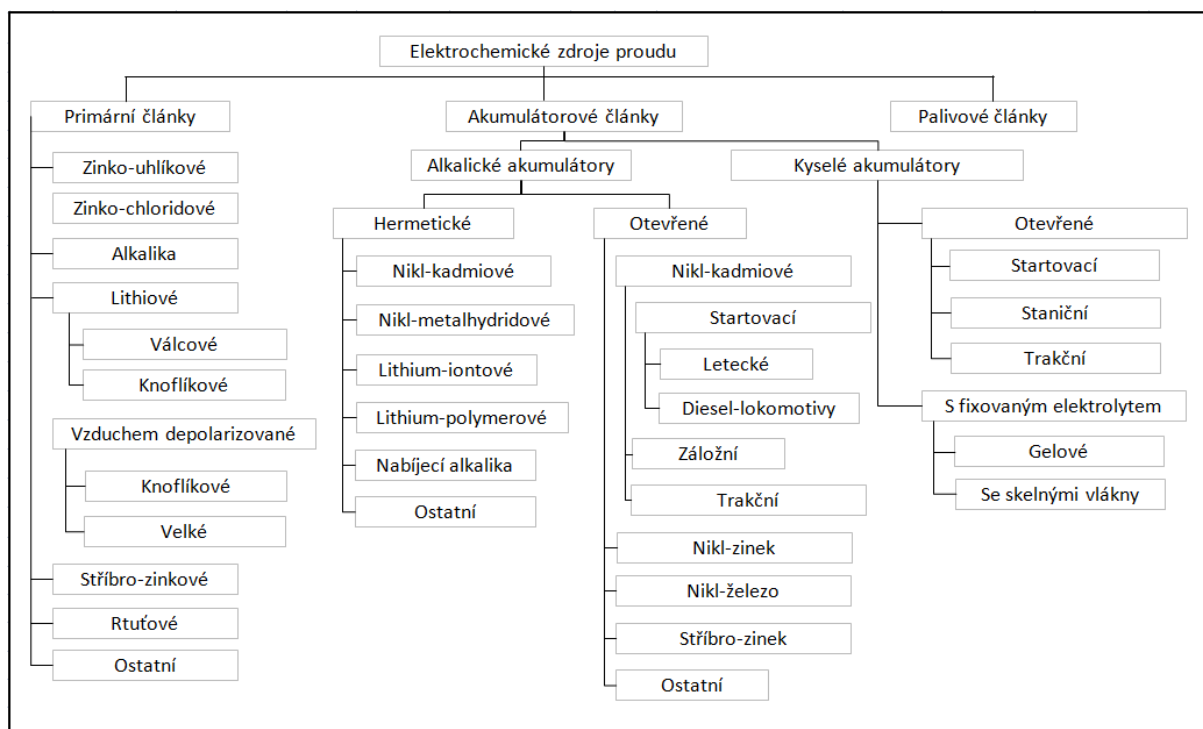
První novověké pokusy o baterii proběhly až kolem roku 1660, kdy Otto von Guericke vytvořil statický náboj, který vytvářel elektrickou jiskru. Na tento pokus navázal roku 1780 Luigi Galvani. Pozoroval, že pokud se dotkne skalpelem žabí nohy, která leží na zinkovém talíři, škubne sebou. Usoudil tedy, že v žabích svalech je elektřina. Na Galvaniho navázal Alessandro Volta. Ten pochyboval o Galvaniho výzkumu a po mnoha pokusech udělal roku 1800 úspěšný experiment a vznikl tak první elektrický článek na světě. [16]

Roku 1802 vznikla baterie pro veřejnost, a to díky Williamu Cruickshankovi. První dobíjecí článek objevil roku 1859 Gaston Planté a jeho metoda se používá dodnes. [16]

Bateriím se začalo věnovat spousta dalších chemiků a vědců a roku 1899 Waldmar Jungner objevil baterii NiCd (nikl - kadmium). V 90. letech 20. století vznikla baterie NiMH (nikl-metal-hydrid). [16]

V současné době jsou nejrozšířenější baterie na bázi lithia tzv. Li-ion baterie, Li-pol či LiFePo. Úplně nejnovější otestovanou technologií jsou články Li-S, které by měly být podle výrobce brzy dostupné.

Baterie jsou elektrochemickými zdroji proudu, a ty můžeme rozdělit do několika hlavních skupin a podskupin. Rozdělení elektrochemických zdrojů proudu je znázorněno na následujícím *Obr. 1.1*.



Obr. 1.1 Rozdělení elektrochemických zdrojů proudu [1]

## 2. Bateriové články na bázi lithia

### 2.1 Lithium-iontový článek

Li-ion technologie je v současné době nejrozšířenější technologií v bateriových článcích. Vysoké napětí, kapacita, hmotnost, to jsou všechno její přednosti, kvůli kterým je dnes hojně využívána. Články Li-pol či LiFePo jsou další nadstavbou a vylepšením technologie Li-ion, které mají také své široké uplatnění.

#### 2.1.1 Historie

První pokusy o Li-ion baterii proběhly již roku 1912. V polovině 60 let 19. století byly vynalezeny lithiové články, které se pyšily velkou měrnou energií a kapacitou. Výhodami bylo také velmi malé samovybíjení či nízká hmotnost. Další výzkumy ukázaly i možnost dobíjitelné verze. [1]

Zásadní okamžik nastal roku 1990, kdy firma Sony představila novou technologii. Princip spočíval v aktivním materiálu záporné elektrody, kterou byla směs grafitu obohaceného lithiem a polyolefinů. Název Li-ion zavedl výkonný ředitel firmy SONY pan K. Tozawa. Li-ion akumulátor tak dnes reprezentuje zdroj s poměrně vysokým napětím, možností nabíjení a vybíjení, dlouhou životností, vysokou kapacitou a dobrou bezpečností. Roku 1991 se objevily první prodejní vzorky od firmy Sony pro napájení mobilních telefonů.

O rok později přišla na trh první videokamera s lithium-iontovým akumulátorem. [1]

Požadavky na Li-ion akumulátory jsou stále větší, a tak v současnosti jsou vyvíjeny lithium-iontové články II. generace s výrazně lepšími vlastnostmi, zejména vyšší energetickou hustotu. Vedle Li-ion II. generace se objevují se slibným potenciálem technologie Li-S nebo Li-O<sub>2</sub>.

### 2.1.2 Princip

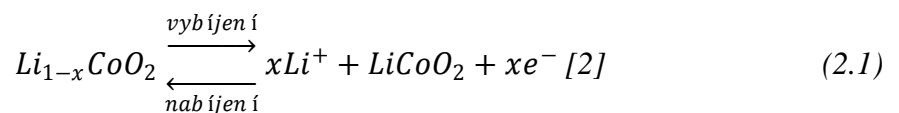
Princip činnosti spočívá v přecházení iontů Li<sup>+</sup> při nabíjení a vybíjení z kladné do záporné elektrody a naopak. Elektrody lithiových článků jsou z interkalačních sloučenin. Výhodou Li-ion článku je obsažení lithia jen jako iontů. Nejsou zde problémy s alkalickými kovy a tím i bezpečností. [2]

Kladná i záporná elektroda je přibližně 200 μm tenká. Rozdíl přichází s materiálem, který tvoří kolektor elektrod. U kladné elektrody je to hliníková fólie o tloušťce cca 25 μm, ale materiálem pro zápornou elektrodu je měděná fólie. Ta je užší a má tloušťku kolem 18 μm. Na těchto fóliích jsou pak aktivní materiály jednotlivých elektrod. Jako separátor se většinou používá hodně úzká porézní fólie z polyetylenu nebo polypropylenu. Každý výrobce používá různý typ separátoru. [2]

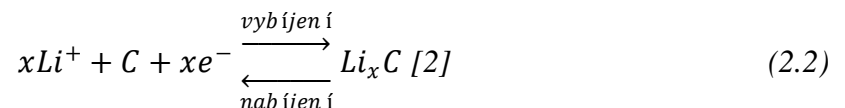
V dnešní době se jako materiály na kladné elektrodě (katodě) používají sloučeniny LiCoO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nebo LiNiO<sub>2</sub>. Záporná elektroda (anoda) je z uhlíkové matrice, která je buďto z grafitizovaných částic koksu nebo z grafitu. Anoda se vyrábí i přímo z grafitu. Tyto články pak díky upravené technologii mají nabíjecí napětí 4,2 V a vybíjecí 2,5 V. V člancích musí docházet k velmi snadnému přijímání a uvolňování iontů lithia. [17]

Následující chemické rovnice představují princip činnosti článků na bázi lithia. Předpoklad: katoda LiCoO<sub>2</sub> a anoda uhlíková.

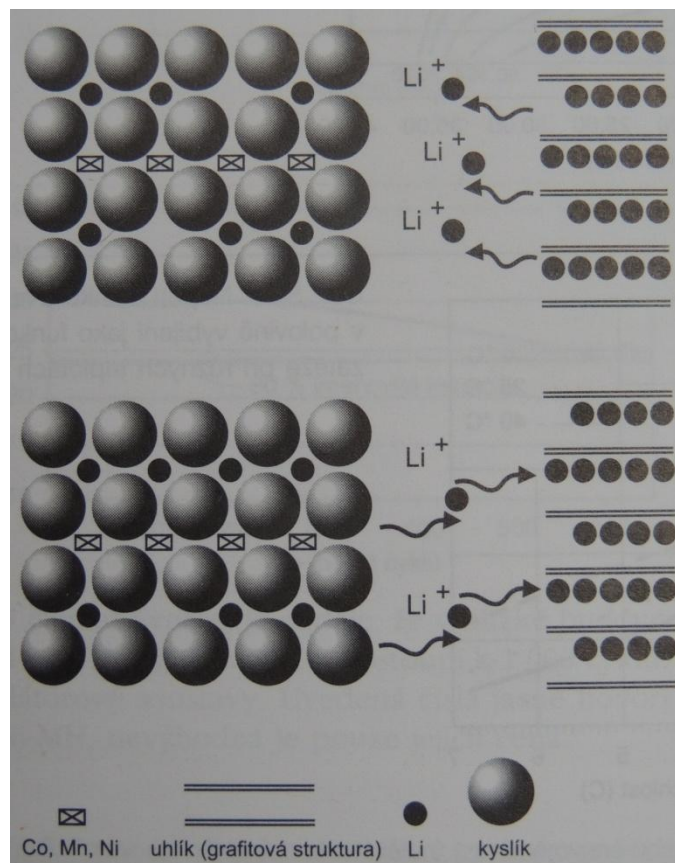
Reakce na katodě:



Reakce na anodě:



Princip činnosti vystihuje následující Obr. 2.1:



Obr. 2.1 Princip lithium-iontového článku [2]

### 2.1.3 Rozdělení lithiových článků

Stejně jako elektrochemické zdroje proudu lze rozdělit i lithiové články.

#### 2.1.3.1 Rozdělení podle tvaru

- válcový (cylindrický) tvar
- hranolovitý (prizmatický) tvar
- knoflíkový tvar

#### 2.1.3.2 Rozdělení podle složení elektrod

Dělení podle materiálu, který tvoří kladnou elektrodu:

- kobalt
- nikl
- mangan
- vanad

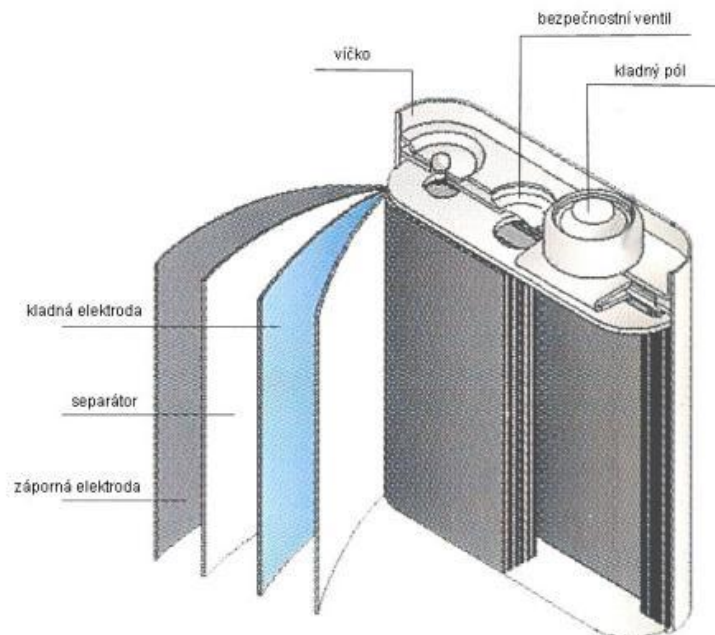
Podle materiálu kladné elektrody se liší finální nabíjecí napětí od 4 V do 4,3 V

### 2.1.3.3 Rozdělení podle elektrolytu

Elektrolyt tvoří vodivá sůl a rozpouštědlo. I zde záleží na výrobci, jaké složení elektrolytu použije. Hlavním úkolem elektrolytu je vést proud mezi kladnou a zápornou elektrodou. Vodivost elektrolytu, ovlivňuje poměr, v jakém je vodivá sůl a rozpouštědlo. Vodivá sůl je nejčastěji typu  $\text{LiPF}_6$ . Rozpouštědlo tvoří různé směsi karbonátu jako etylen-, propylen-, dimetyl-, diety- nebo metyletylkarbonát. [2]

Elektrolyt může být:

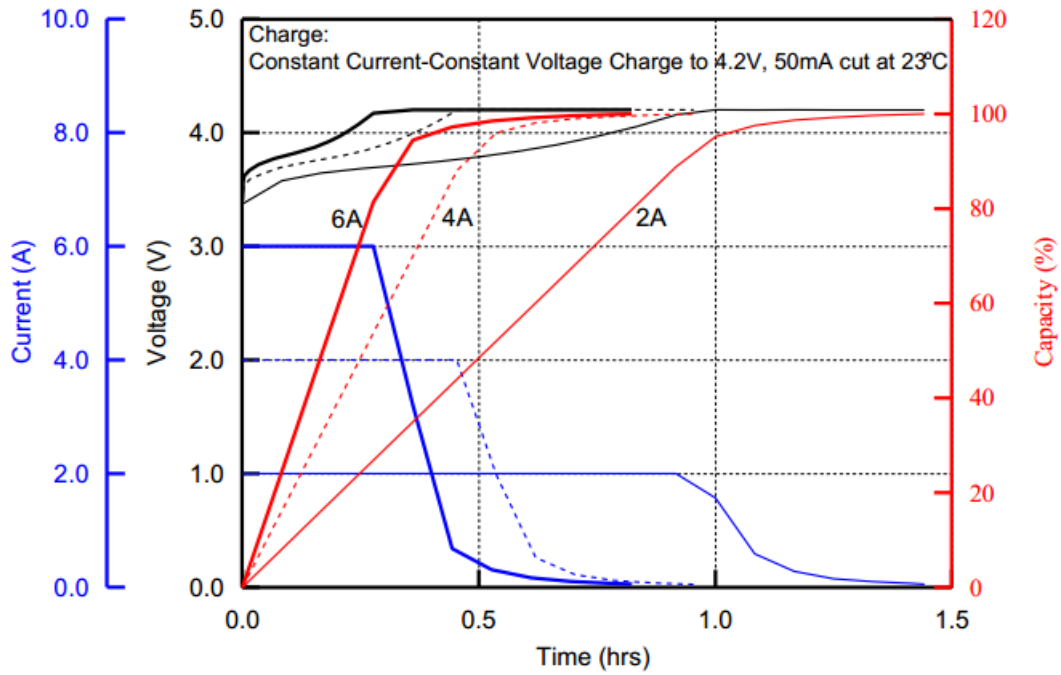
- kapalný
- gelový
- polymerový



Obr. 2.2. Průřez prizmatickým Li-ion akumulátorem firmy SAFT [1]

### 2.1.4 Systém nabíjení lithiových baterií

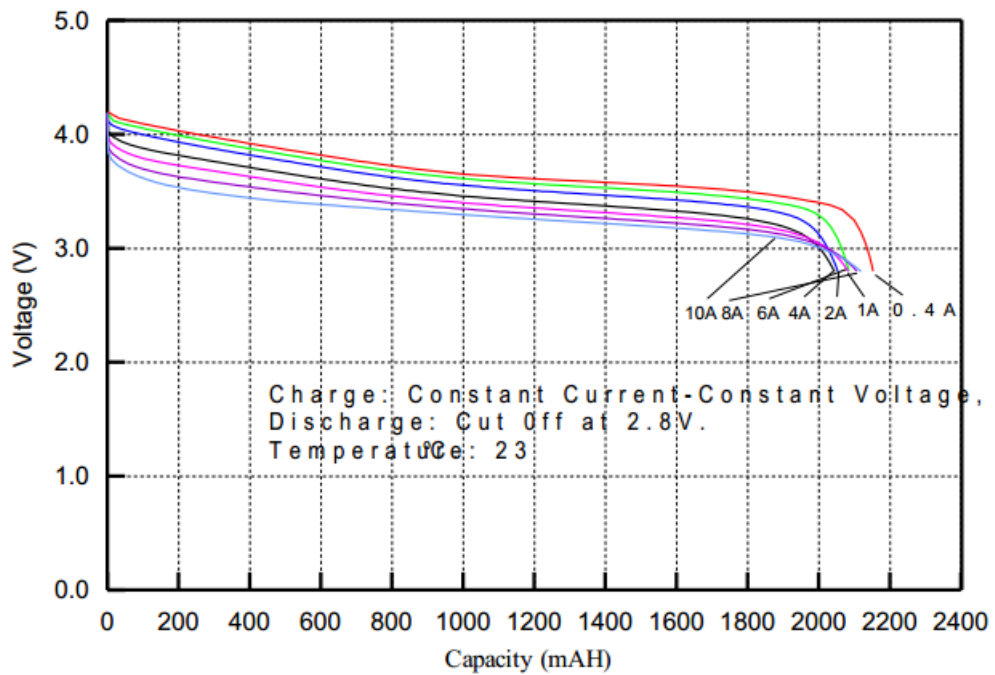
U lithiových baterií se používá metoda nabíjení CCCV. Zkratka znamená Constant Current followed by Constant Voltage. Ze zkratky vyplývá, že v první fázi se nabíjí konstantním proudem, a to do té doby, než článek dosáhne předem stanovené hodnoty napětí. Poté začne fáze nabíjení konstantním napětím, dokud proud nepoklesne na určitou hodnotu. Když proud dosáhne stanovené hodnoty, tak se proces nabíjení ukončí. Jak vypadá průběh nabíjení, ukazuje nabíjecí charakteristika IU [1] (Obr. 2.3).



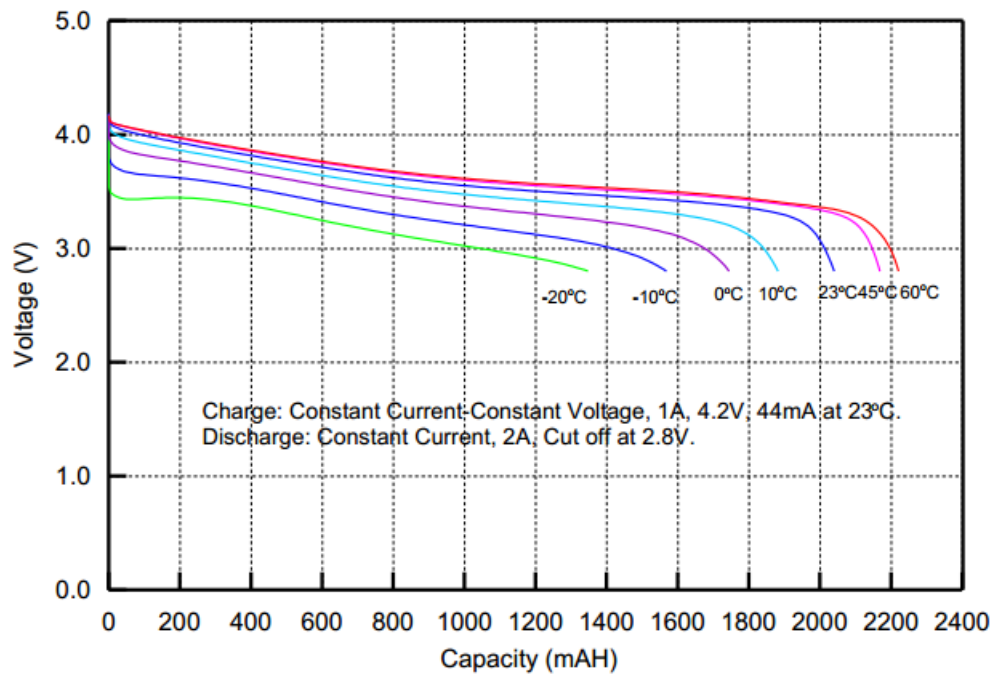
Obr. 2.3 Nabíjecí charakteristiky článku MOLI, typ IHR18650C pro různé proudy [3]

### 2.1.5 Vybíjecí charakteristiky článků

Vybíjecí charakteristiky jsou poměrně odlišné. Tvar křivek závisí na velikosti vybíjecího proudu a teplotě okolí článku. Vybíjení článku je většinou možné do hodnoty 2,5 V. Při nižším napětí by mohlo dojít k poškození článku. Charakteristiky jsou zobrazeny na Obr. 2.4 a Obr. 2.5.



Obr. 2.4 Vybíjecí charakteristika pro různé proudy článku MOLI, typ IHR18650BN [4]



Obr. 2.5 Vybíjecí charakteristika pro různé teploty článku MOLI, typ IHR18650BN [4]

### 2.1.6 Značení akumulátorových lithiových článků

Lithiové články jsou značeny třemi písmeny a pěti čísly v případě cylindrického článku a šesti čísly v případě prizmatického.

#### Písmenné označení

První písmeno udává systém záporné elektrody.

I - systém s interkalovanou neboli intruzivní elektrodou

L - systém elektrody lithium-kov nebo lithium-slitina

Druhé písmeno udává systém kladné elektrody článku.

C - elektroda s kobaltem

N - elektroda s niklem

M - elektroda s manganem

V - elektroda s vanadem

Třetím písmenem je označen tvar článku.

R - označuje válcový článek

P - označuje prizmatický článek

*Pozn.: Uvedené písmenné označení neplatí vždy, protože norma, která určuje označení, vyšla až v době, kdy již některé články byly v oběhu, a výrobci označení ponechali staré.*



## Číselné označení

### *Válcový článek*

Názorné označení 17500:

První dvě číslice značí průměr, tedy 17 mm.

Poslední trojčíslí značí výšku v desetinách milimetru, tedy 50 mm.

Obě hodnoty se zaokrouhlují nahoru na celá čísla.

### *Prizmatický článek*

Názorné označení 174865:

První dvě čísla značí tloušťku, zde 17 mm.

Druhé dvojčíslí značí šířku, zde 48 mm.

Třetí dvojčíslí značí výšku, zde 65 mm.

Pokud je jeden z rozměru větší než 100 mm oddělují se čísla lomítkem (ICP 17/48/650). Je-li jeden rozměr menší než 1 mm vloží se před číslici písmeno t (ICP t74865), kde je tloušťka 0,7 mm. [1]

## 2.1.7 Výhody lithium-iontových článků

Výhodami lithium iontový článků jsou zejména:

- Vysoké napětí - typicky 3,6 V na rozdíl od NiCd a NiMH, které disponují pouze 1,2 V.
- Vysoká energie - Li-ion 7200 mWh (3,6 V/2000 mAh) oproti NiCd 2400 mWh (1,2 V/2000 mAh) a NiMH 5400 mWh (1,2 V/4500 mAh). Vše je bráno pro stejnou velikost článku.
- Nízká hmotnost - Li-ion 40 g oproti NiCd 45 g a NiMH 60 g. Opět pro stejnou velikost článku.
- Nízká hodnota samovybití - přibližně 8% za měsíc. U článků typu NiCd a NiMH je to až 25%.
- Absence tzv. paměťového efektu - tento fakt je, ale velmi diskutovaný a některé zdroje tvrdí, že byl objeven už i u Li-ion baterií.
- Poměrně dobrá bezpečnost a navíc na rozdíl od primárních článků neobsahují lithium jako čistý kov.
- Šetrné k životnímu prostředí - nemá v sobě olovo, rtuť či kadmium.

### 2.1.8 Nevýhody lithium-iontových článků

Nevýhodami lithium iontový článků jsou zejména:

- Nízký nabíjecí proud většinou omezený na 1,5C a velmi dlouhé nabíjení 2-3 hodiny.
- V průběhu vybíjení klesá napětí. To je problém, pokud potřebujeme konstantní příkon, jelikož pokud klesne napětí, musí se zvýšit vybíjecí proud.
- Poměrně velký vnitřní odpor - až 10x větší než u NiCd - postupem vývoje se stále snižuje.
- Pracovní teplota Li-ion článku je přibližně do  $-20^{\circ}\text{C}$  krajní mez je  $-30^{\circ}\text{C}$ .
- Citlivost Li-ion článků na přebíjení a velké vybíjení, pokud vybijeme článek pod hodnotu 2,5 V, může dojít k úplnému zničení.
- Nekompatibilita nabíječe Li-ion akumulátorů pro NiCd a NiMH, ovšem nabíječi NiCd a NiMH lze nabíjet Li-ion akumulátory pokud jsou vybaveny elektronickými ochrannými obvody.

### 2.2 Lithium-polymerový článek

Li-pol nebo také Lipo článek je dalším vývojovým stupněm Li-ion článku. Spolu s výhodami Li-ion nabývá i mnoha dalších výhod. Složení Li-pol článků je velmi podobné lithium-iontovým. Kladná elektroda se většinou používá  $\text{LiCoO}_2$  nebo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ . Zápornou elektrodu tvoří lithium nebo sloučenina uhlíku s lithiem. Zásadním rozdílem ve složení je elektrolyt. Zatímco Li-ion má elektrolyt kapalný nebo gelový, u Li-pol se používá vodivý polymer.

Li-pol články se na trh dostávají roku 1996 (Li-ion 1991). Navzdory tomu, že mají Li-pol nesporné množství výhod nejsou příliš rozšířené. Na trhu zastupují asi 10% baterií. Důvodem tak malého rozšíření je hlavně cena. Příčinou vysoké ceny je technologicky náročná výroba. [18]

#### Základní parametry:

- rozsah pracovního napětí 2,7-4,2 V
- jmenovité napětí 3,6 V a 3,7 V
- pracovní teplotní rozsah  $-10^{\circ}\text{C}$  -  $50^{\circ}\text{C}$
- nabíjecí metoda CCCV, nabíjecí proud 0,5C-1C (výjimečně 2C)
- vybíjecí proud až 20C
- kapacita cca 10 mAh - 5000 mAh

**Výhody Li-pol článků:**

- vyšší hustota energie oproti Li-ion
- nízká hmotnost
- poměrně velký počet nabíjecích cyklů, střední hodnota 1000 cyklů, ale může být až 2000 cyklů
- velký vybíjecí proud, až 20C

Další výhody jsou shodné s články Li-ion tedy:

- jmenovité napětí 3,6 V (3,7 V)
- nízké samovybití
- absence paměťového efektu

**Nevýhody Li-pol článků:**

- nebezpečnost, zvláště při nabíjení a vybíjení, nutné vnitřní ochranné obvody
- postupná ztráta kapacity i v neaktivním stavu
- destrukce článku při napětí pod 2,7 V
- vyšší cena
- ztráta až poloviny kapacity v nízkých teplotách (pod bodem mrazu)

**Použití Li-pol akumulátorů**

Používají se především ve špičkových mobilních telefonech, noteboocích, fotoaparátech a ultraboocích. Firmy, které nejvíce používají Li-pol, jsou Apple a výrobce mobilních telefonů Sony Ericsson, který je používá i ve svých nejlevnějších zařízeních. Vzhledem k vysoké ceně je rozšíření Li-pol akumulátorů velmi omezené. Velké zastoupení Li-pol akumulátorů je u RC modelů. Hlavní výhoda použití je poměr výkon/váha. [18]

Elektromobil Audi A2, který využívá trakční baterii Li-pol, konkrétně lithium-metal-polymer, dosáhl dojezdu 605km. [19]

**2.3 Lithium-železo-fosfátový článek**

Značí se LiFePo/LiFeYPO, případně LFP/LFYP. Lithiový článek, u kterého se na kladné elektrodě používá železo-fosfát. Pokud jde o článek LFYP, tak je ještě příměsí prvek yttrium. LiFePo akumulátory zlepšují vlastnosti klasických lithiových akumulátorů a přináší další nové výhody. [22]

LiFePo články byly vyvinuty roku 1997 a jsou zajímavé velmi nízkými výrobními náklady. Na rozdíl od lithium-iontových jsou netoxické, železo nahrazuje problémové vzácné

kovy. Článek je dobře teplotně stabilní a disponuje velmi dobrou bezpečností. Nevýhodami jsou nižší jmenovité napětí a hustota energie. [22]

#### **Základní parametry LiFePo článků:**

- jmenovité napětí článků 3,1 - 3,3 V
- minimální vybíjecí a max. nabíjecí napětí 2,5 V - 4,25 V, bezpečné 2,8 V - 3,6 V
- teplotní rozsah -20°C - 70°C, záleží na daném typu
- životnost přibližně 2000 cyklů
- zanedbatelné samovybití
- absence paměťového efektu

#### **Výhody článků LiFePo, které Li-ion články nemají:**

- velký počet dobíjecích cyklů - více než 2000 cyklů (dokonce až 8000)
- **netrpí** samovybitím
- velká bezpečnost
- schopnost dodávat velké proudy

#### **LiFePo mají i své nevýhody:**

- nižší jmenovité napětí
- nižší energetická hustota
- minimální stav vybití 33%
- zkrácení životnosti při nabíjení velkými proudy
- při nabíjení je nutné použít regulační nabíječe a monitorovací jednotky

Používání LFP akumulátorů je především v elektromobilech. Velké využití LiFePo článků je také v modelářině. [21]

## **2.4 Články lithium-síra**

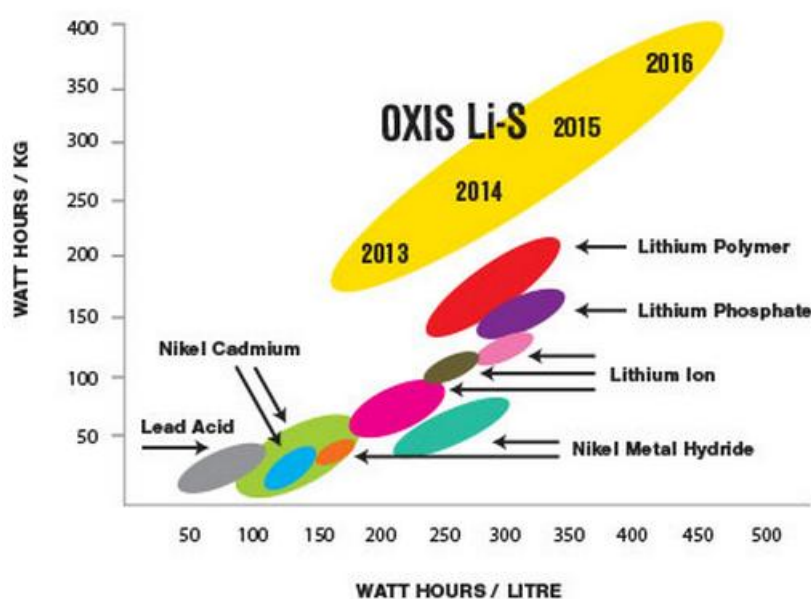
Nejnovější na úrovni výzkumu otestovaná technologie lithiových článků je technologie lithium-síra (Li-S). Společnost OXIS Energy, která má technologii Li-S patentovanou, má již první prototypy těchto článků. Prototypy článků je možné objednat jako balení 20 článků za cenu 20 000 liber. V srpnu tohoto roku by měly být k dostání první oficiální články, pro které zatím nebyla stanovena cena. Nespornou výhodou těchto článků je jejich vysoká hustota energie, teoreticky až 5x vyšší než u technologie Li-ion. [5]

Jak si stojí v porovnání s ostatními druhy energie je znázorněno v *Tab. 2.1* a porovnání s ostatními technologiemi baterií na *Obr. 2.6*.

Tab. 2.1 Porovnání různých druhů energie [5],[7],[11],[12],[14],[15]

Zdroj energie	Wh/kg	Wh/l	MJ/kg
Benzin	13350	10000	48,07
LPG	12780	7222	46,1
Methanol	5472	4333	19,7
NiCd	50	100	0,18
NiMH	80	210	0,288
Li-ion	240	700	0,864
Li-S	400/2700*	447*	9,72*
Li-O <sub>2</sub>	3458*	-	12,45*

Pozn.: Hodnoty označené \* jsou teoretické.



Obr. 2.6 Porovnání technologií baterií [5]

### Výhody Li-S oproti Li-ion:

- nízká hmotnost při uchování stejného množství energie
- vyšší bezpečnost
- možnost 100% vybití bez hrozby degradace
- šetrnost k životnímu prostředí, síra, která je použita místo těžkých kovů (nikl a kobalt), je recyklovatelná
- nemusí se pravidelně dobíjet na rozdíl od Li-ion, které by jinak selhaly

Li-S články pro EV jsou zahrnuty v rešerši v příloze A - Rešerše lithiových článků.

### 3. Rešerše lithiových článků

Předmětem rešerše byla podrobná analýza parametrů cylindrických a prizmatických článků. Výběr článků byl proveden podle základních parametrů, a to zejména s ohledem na kapacitu, nabíjecí/vybíjecí proud, rozměry a hmotnost. Rešerše byla provedena u sedmi výrobců bateriových článků.

#### **VARTA**

Firma VARTA nabízí cylindrické a prizmatické články Li-ion a prizmatické články Li-pol. Cylindrické články mají kapacity od 2150 mAh do 2600 mAh a jsou používány např.: v noteboocích, satelitních telefonech, přenosných DVD nebo medicíně. Prizmatické Li-ion články nabízí v kapacitách 720 mAh - 2030 mAh a jejich využití nalezneme v mobilních telefonech, PDA či navigacích. Li-pol články VARTA vyrábí v kapacitách 150 mAh až 1880 mAh. Uplatnění těchto článků je v mobilních telefonech, digitálních kamerách, nebo tabletech. Do rešerše byly vybrány tři články cylindrické, dva prizmatické Li-ion a čtyři Li-pol.

#### **Panasonic**

Panasonic má ve svém sortimentu 28 cylindrických článků a 80 prizmatických článků. Oba typy využívají technologii Li-ion. Cylindrické články disponují kapacitou od 700 mAh do 3350 mAh. Prizmatické články mají kapacitu řádově 650 mAh - 4170 mAh. Panasonic řadí své články do několika sérií a těmi jsou vysokokapacitní, vysokokapacitní s vysokým napětím (3,8 V) a univerzální. Využití článků Panasonic je v elektrickém nářadí, zahradním nářadí, elektrických kolech, noteboocích, GPS navigacích, lékařství, mobilních telefonech atd. Do rešerše bylo vybráno pět cylindrických a šest prizmatických článků. Bohužel Panasonic nenabízí ke všem svým článkům datasheety, tudíž nebylo možné zjistit podrobné informace některých článků.

#### **SAFT**

SAFT nabízí 5 cylindrických článků, z nichž dva jsou do vysokých teplot (120°C) a 4 prizmatické články. Všechny články se vyznačují vysokými vybíjecím proudy, ale také většími rozměry. Kapacita je také vyšší, a to v rozsahu 2,6 Ah - 7 Ah. Uplatnění článků SAFT je velmi široké např.: ve vojenství, lékařství, elektronice, měřicích přístrojích apod. V rešerši jsou analyzovány všechny články firmy SAFT mimo speciálních článků do vysokých teplot.

## **Valence**

Valence se specializuje na technologii LiFeMgPo<sub>4</sub> a nabízí jen dva prizmatické články, jeden energetický a druhý výkonový, který je schopen dodávat proud 25 A a špičkově až 100 A. Oba články mají jmenovité napětí 3,2 V a kapacitu 1,4 Ah a 2,5 Ah. Oba články jsou zahrnuty v rešerši. Technologie LiFeMgPo<sub>4</sub> se používá v průmyslových odvětvích (dopravní prostředky, lékařství) nebo jako UPS.

## **MOLI**

MOLI dělí své články do 3 kategorií a těmi jsou energetické články, výkonové články a tzv. high-rate články. Energetické články jsou ve verzi cylindrické i prizmatické. Cylindrické mají kapacitu 2200 mAh - 2800 mAh a do rešerše byl vybrán pouze jeden, protože výkonové a high-rate články nabízejí větší vybíjecí proudy. Prizmatické články mají rozsah kapacit 1800 mAh až 2200 mAh. Tři články ze čtyř jsou analyzovány v rešerši. Výkonové články jsou čtyři a hodnoty jejich vybíjecích proudů jsou 20, 25, 30 a 40 A. Kapacity 1500 mAh - 2800 mAh. Se všemi těmito články se dále pracuje v rešerši. Poslední skupinou jsou high-rate články, které jsou dva a do rešerše byl vybrán článek s kapacitou 2200 mAh a vybíjecím proudem 10 A. Aplikace, ve kterých se využívá energetických článků, jsou notebooky, mobilní telefony, přenosné DVD, digitální kamery apod. Výkonové a high-rate články se používají v elektrickém nářadí, elektrických vozidlech, skútrech a kolech, přenosných vysavačích nebo UPS.

## **KOKAM**

KOKAM nabízí prizmatické Li-pol články, které dělí na články s vysokou hustotou energie, výkonové články a ultra výkonové články. Všechny tyto kategorie se dále dělí na články s nízkou, střední a vysokou kapacitou. KOKAM vyrábí velké množství článků s kapacitou od 145 mAh do 240 Ah. Celkem bylo vybráno 12 článků pro kompletní analýzu v rešerši. Ty byly vybrány podle velikosti vybíjecího proudu, kapacity a rozměrů. KOKAM baterie se používají především v solárních systémech, solárních lodích, hybridních automobilech, elektrických kolech a skútrech.

## **OXIS Energy**

Do rešerše zahrnuté články, které disponují technologií Li-S. Li-S články jsou na úrovni výzkumu otestovanou technologií a jsou k dispozici první prototypy článků. Li-S články disponují napětím 2,05 V a OXIS Energy zatím uvádí 4 varianty článku. Prvními dvěma variantami jsou ultra lehké články, a to ve standardním a dlouhém provedení, dále je to článek

s dlouhou životností a články pro elektrická vozidla, které jsou zahrnuty do rešerše.

Rešerše, v příloze A - Rešerše lithiových článků, obsahuje nejprve výrobce, technologii článku a typové označení. V další části je uvedené jmenovité napětí a kapacita. Důležitým parametrem je nabíjecí a vybíjecí proud, který je ještě rozdělen na stálý a špičkový. Další sloupce obsahují údaje o rozměrech a hmotnosti. Poslední hodnoty jsou dopočítané a jsou jimi objem, energie článku, specifická energie [Wh/kg] a specifická hustota energie [Wh/l]. Každý článek je ještě doplněn o podrobné informace, pokud byly od výrobce k dispozici. Doplňujícími údaji jsou například teplota nabíjení a vybíjení, minimální napěťová hladina nebo životnost článku. Z této rešerše se podle přísnějších kritérií zvolily články pro samotný návrh baterie.

Tab. 3.1 Výtah z rešerše cylindrických článků

Výrobce	Technologie	Označení	Jm. Napětí [V]	Jm. Kapacita[mAh]
VARTA	Li-Ion	LIC 18650-22 FC	3,6	2200
VARTA	Li-Ion	LIC 18650-26 FC	3,7	2600
VARTA	Li-Ion	LIC 18650-22 PC	3,62	2150
Panasonic	Li-Ion	UR-16650ZTA	3,7	2500
Panasonic	Li-Ion	UR-18650ZT	3,7	2800
Panasonic	Li-Ion	NCR-18650A	3,6	3070
Panasonic	Li-Ion	NCR-18650B	3,6	3350
Panasonic	Li-Ion	NCR-18650	3,6	2900
SAFT	Li-Ion	VL 34480	3,7	4400
SAFT	Li-Ion	VL 34570	3,7	5400
SAFT	Li-Ion	VL 37570	3,7	7000
Valence	LiFeMgPO4	IFR18650EC	3,2	1400
Valence	LiFeMgPO4	IFR26650PC	3,2	2500
MOLI	Li-Ion	ICR18650M	3,7	2800
MOLI	Li-Ion	IBR18650B	3,6	1500
MOLI	Li-Ion	IBR26700A	3,7	2800
MOLI	Li-Ion	IHR18650C	3,6	2000
MOLI	Li-Ion	IBR18650BC	3,6	1500
MOLI	Li-Ion	IHR18650BN	3,6	2200



Nabíjení		Vybíjení		Průměr[mm]	Výška[mm]	Hmotnost[g]
Stálé [A]	Špičkové[A]	Stálé [A]	Špičkové[A]			
1,1	2,2	4,4	-	18,4	65	44,5
1,3	2,6	5,2	-	18,4	65	47
1,075	2,15	10	-	18,4	65	44,5
-	-	-	-	16,4	64,9	40,5
1,89	-	2,8	-	18,2	65,1	48
1,475	-	5,9	-	18,2	65,1	46,5
1,625	-	6,7	-	18,3	65,1	47,5
1,925	-	5,5	-	18,2	65,1	45,5
4,4	-	8,8	17	33,9	50,8	103
5,4	-	11	21	34,2	59,43	125
7	-	14	28	37,4	59,5	149
1,4	3,5(30s)	2,8	7(30s)	18,2	65	40
10	20(10s)	25	100(5s)	26,1	65,9	79
2,8	-	5	-	18,6	65,2	50
6,5	-	25	-	18,4	65,2	45
8,4	-	40	-	26,4	70,5	101
6	-	20	-	18,6	65,2	47
9	-	30	-	18,4	65,2	45
2	-	10	-	18,6	65,2	45

## 4. Parametry návrhu

Cílem bakalářské práce je navrhnout optimální článek pro sestavení baterie, která bude rozdělena na dva packy. Ty budou umístěny na stranách motokáry. Požadavkem je celkový výkon 70 kW s možností přetížení, kdy po dobu 10 sekund z jedné minuty lze odebírat až 100 kW. Dalším požadavkem je, aby celková váha obou packů nepřesáhla 150 kg a rozměry byly vhodné a optimální pro konstrukci podvozku. Výchozími parametry jsou jednotlivé cylindrické a prizmatické články, napětí a energie.

### 4.1 Napěťové hladiny

Baterie je navržena pro několik hodnot napětí, a to pro napětí 150 V, 200 V, 250 V, 300 V a 350 V. Těchto hodnot se dosáhne zapojením jednotlivých článků sériově do jedné větve. Nejvíce vyhovující jsou napětí 200 V a 250 V.

### 4.2 Energetické hladiny

Stejně jako u napětí i zde se nabízí několik variant. Jmenovitě 8 kWh, 10 kWh, 12 kWh, 14 kWh, 16 kWh, 18 kWh a 20 kWh. Z napětí a rovnice 4.1 je získána hodnota proudu, které se docílí zařazením jednotlivých sériových větví paralelně.

Vybíjecí proud je vypočítán jako

$$I = P/U. \quad (4.1)$$

V návrhu se nejvíce zohledňují kapacity energie 14 kWh a 16 kWh.

### 4.3 Cylindrické články

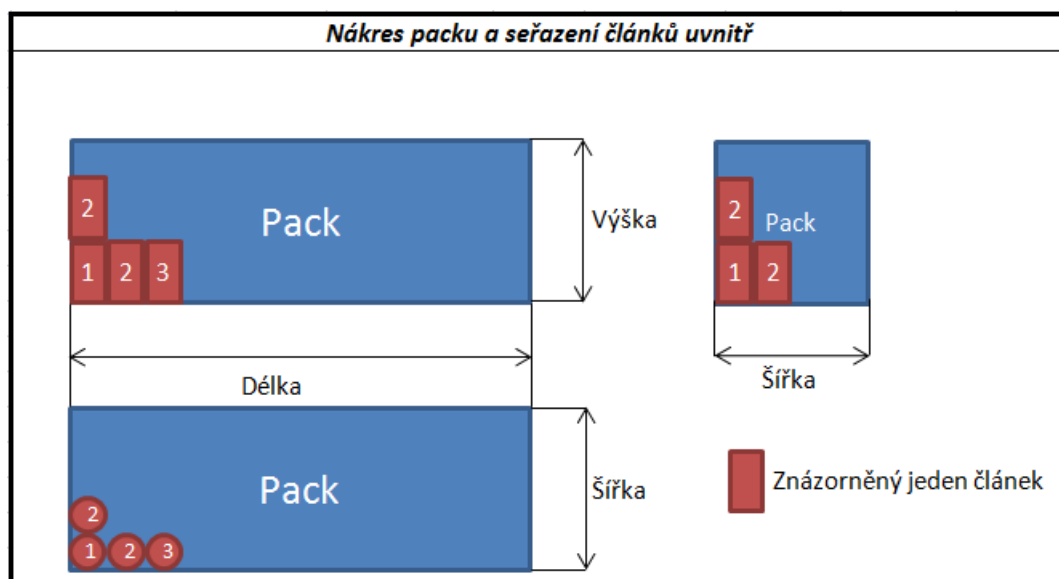
Z rešerše cylindrických baterií byly vybrány od každé firmy 3 články popřípadě dva, pokud výrobce nenabízel více článků. Články byly vybírány především s ohledem na velikost možného vybíjecího proudu a hustotu energie. Dalšími důležitými parametry jsou také rozměry, hmotnost a kapacita. Vhodné články pro návrh jsou shrnuty v následující *Tab. 4.1*.

*Tab. 4.1 Přehled vybraných cylindrických článků*

Výrobce	Označení	U [V]	C [mAh]	Nabíjení proudem		Vybíjení proudem		Hmotnost [g]
				Stálým [A]	Špičkovým [A]	Stálým [A]	Špičkovým [A]	
VARTA	LIC 18650-22 FC	3,6	2200	1,1	2,2	4,4	8,8	44,5
VARTA	LIC 18650-26 FC	3,7	2600	1,3	2,6	5,2	10,4	47
VARTA	LIC 18650-22 PC	3,62	2150	1,075	2,15	10	8,6	44,5
Panasonic	NCR-18650A	3,6	3070	1,475	3,07	5,9	12,28	46,5
Panasonic	NCR-18650B	3,6	3350	1,625	3,35	6,7	13,4	47,5
Panasonic	NCR-18650	3,6	2900	1,925	2,9	5,5	11,6	45,5
SAFT	VL 34480	3,7	4400	4,4	4,4	8,8	17	103
SAFT	VL 34570	3,7	5400	5,4	5,4	11	21	125
SAFT	VL 37570	3,7	7000	7	7	14	28	149
Valence	IFR18650EC	3,2	1400	1,4	3,5	2,8	7	40
Valence	IFR26650PC	3,2	2500	10	20	25	100	79
MOLI	IHR18650BN	3,6	2200	2	4,4	10	22	45
MOLI	IHR18650C	3,6	2000	6	8	20	30	47
MOLI	IBR18650B	3,6	1500	6,5	7,5	25	30	45

Kompletní rešerši cylindrických článků včetně těchto obsahuje *příloha A - Rešerše lithiových článků*. Podrobnější tabulka s kompletním návrhem je k nalezení v *příloze B - Návrh lithium-iontové baterie (CD)*.

Jak budou články poskládány v packu, znázorňuje *Obr. 4.1*.



Obr. 4.1 Nákres packu a seřazení jednotlivých cylindrických článků uvnitř

#### 4.4 Prizmatické články

U prizmatických článků je postup obdobný jako u cylindrických. Opět nejdůležitějšími parametry jsou velikost vybíjecího proudu, hustota energie, hmotnost a rozměry. Zvolené prizmatické články jsou v níže uvedené Tab. 4.2

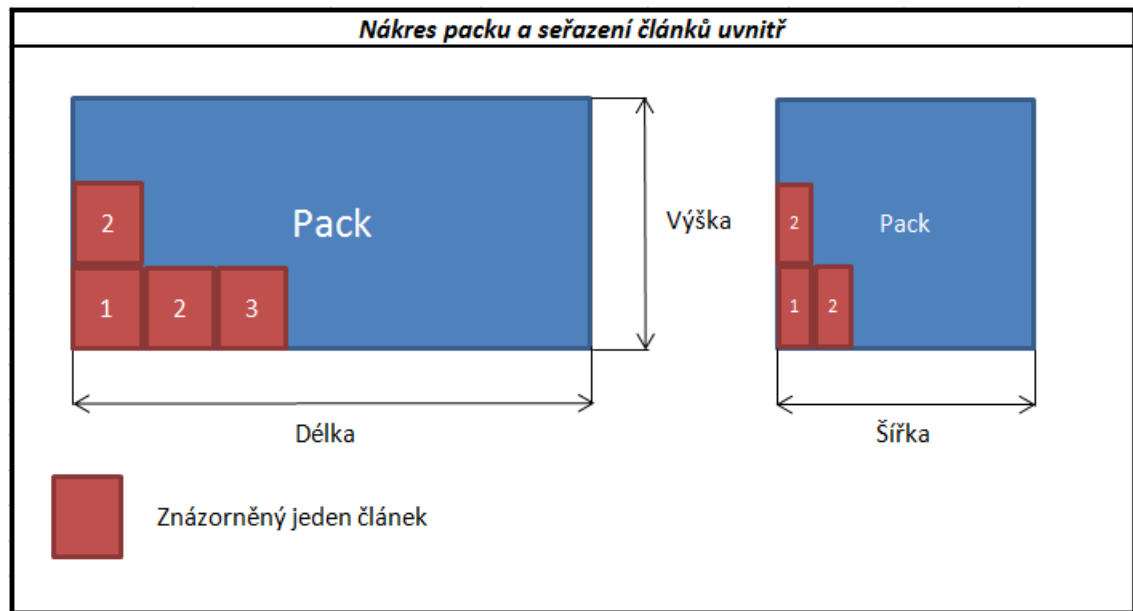
Tab. 4.2 Přehled vybraných prizmatických článků

Výrobce	Označení	U [V]	C [mAh]	Nabíjení proudem		Vybíjení proudem		Hmotnost [g]
				Stálým [A]	Špičkovým [A]	Stálým [A]	Špičkovým [A]	
VARTA	LIP 553450 WC	3,7	1130	0,565	1,13	2,26	4,52	23
VARTA	LPP 683566 BE	3,7	1880	0,91	1,82	3,64	7,52	40
VARTA	LPP 503562 DL	3,7	1300	0,625	1,25	2,5	5,2	21
Panasonic	NCA-596080	3,6	4170	2,085	4,17	8,34	16,68	67
Panasonic	UF-515761ST	3,8	2720	1,36	2,72	5,44	10,88	42
Panasonic	UF-604462SW	3,8	2480	1,24	2,48	4,96	9,92	39,2
SAFT	MP 144350	3,75	2600	2,6	5,2	5	10	68
SAFT	MP 176065 Integration	3,75	6800	7	13,6	14	30	143
SAFT	MP 174565 Integration	3,75	4800	5	9,6	10	20	103
MOLI	ICP1003450B	3,7	1800	1,8	3,6	3,6	7,2	46
MOLI	ICP103450CA	3,7	1960	1,9	3,92	2,5	7,84	41,5
MOLI	ICP103450DA	3,7	2200	2,2	4,4	2,5	8,8	41,5
KOKAM	SLPB 554374H	3,7	1250	2,5	5	18,75	37,5	32
KOKAM	SLB 603870H	3,7	1500	3	6	12	24	32
KOKAM	SLPB 486495	3,7	3000	3	6	6	15	60,5
OXIS Energy	EV cell	2,05	5000	0,5	1	15	20	51,25

Kompletní rešerši prizmatických článků včetně těchto obsahuje příloha A - Rešerše lithiových článků. Podrobnější tabulka s kompletním návrhem je k nalezení v příloze B -

Návrh lithium-iontové baterie (CD).

Uspořádání článků v packu je vyobrazeno na Obr. 4.2.



Obr. 4.2 Nákres packu a seřazení jednotlivých prizmatických článků uvnitř

## 5. Navržené parametry

V minulé kapitole byly představeny parametry pro návrh trakční baterie pro elektrickou motokáru. Pro návrh je k dispozici 14 článků cylindrických a 16 článků prizmatických. Po zhlédnutí návrhu v příloze B: *Návrh lithium-iontové baterie (CD)* jsou pro nás nejlepší volbou tyto parametry:

Zvolené napětí 200 V a 250 V, energie 14 kWh a 16 kWh. Cílem bylo navrhnout trakční baterii o výkonu 70 kW s maximální hmotností 150 kg. Tři články vyhovují požadovaným parametrům, z nichž dva jsou cylindrické a jeden prizmatický. Cylindrické články jsou od firmy MOLI, konkrétně typ IHR18650C a IHR18650BN. Prizmatický článek je od firmy KOKAM, typ SLB603870H. Články MOLI využívají Li-ion technologii a prizmatický článek KOKAM je na bázi technologie Li-pol. Tab. 5.1 ukazuje jednotlivé parametry těchto článků. Tab. 5.2 obsahuje návrh trakční baterie pro napětí 200 V, energii 16 kWh a kapacitu 80 Ah. Pro tyto parametry jsou v tabulce všechny tři články. Pro návrh trakční baterie s napětím 200 V, energií 14 kWh a kapacitou 70 Ah přísluší Tab. 5.3. Tato tabulka obsahuje články IHR18650C a SLB603870H. Článek IHR18650BN při těchto parametrech nesplňuje požadavky.

Tab. 5.1: Přehled vybraných článků pro návrh trakční baterie

			Nabíjení proudem		Vybíjení proudem	
Označení	U [V]	C [mAh]	Stálým [A]	Špičkovým [A]	Stálým [A]	Špičkovým [A]
IHR18650C	3,6	2000	6	8	20	30
IHR18650BN	3,6	2200	2	4,4	10	22
SLB 603870H	3,7	1500	3	6	12	24
Označení	Průměr[mm]	Tloušťka[mm]	Šířka[mm]	Výška[mm]	Hmotnost[g]	Objem [l]
IHR18650C	18,6	-	-	65,2	47	0,017716
IHR18650BN	18,6	-	-	65,2	45	0,017716
SLB 603870H	-	6,5	37,5	69,5	32	0,016941
Označení	Energie[Wh]	Sp. E [Wh/kg]	Sp. E [Wh/l]			
IHR18650C	7,2	153,19	406,41			
IHR18650BN	7,92	176,00	447,06			
SLB 603870H	5,55	173,44	327,61			

**Pozn.:** Špičkový vybíjecí proud je přepočítán v případě článku IHR18650BN jako 10C a u článku IHR18650BC jako 15C. U článku SLB 603870H je hodnota špičkového nabíjecího proudu 4C. Výrobce nejsou tyto hodnoty udávány.

Tab. 5.2: Návrh trakční baterie pro  $U = 200$  V,  $E = 16$  kWh,  $C = 80$  Ah

Zapojení								
Označení	Sériově [ks]	Paralelně [větvi]	Celkem [ks]	Výška [ks]	Šířka [ks]	Délka [ks]	Kap. Packu [ks]	
IHR18650C	56	40	2240	3	10	38	1140	
IHR18650BN	56	37	2072	3	10	35	1050	
SLB 603870H	55	54	2970	3	30	17	1530	
Rozměry a parametry 1 packu								
Označení	Výška [cm]	Šířka [cm]	Délka [cm]	Objem [l]	Hmotnost [kg]			
IHR18650C	19,56	18,60	70,68	25,715	52,64			
IHR18650BN	19,56	18,60	65,10	23,684	46,62			
SLB 603870H	20,85	19,50	63,75	25,915	47,52			
Celkový Výkon								
Označení	Celkový Výkon		Výkon 1 packu		Parametry nabíjení			
	P [kW]	Pmax [kW]	P [kW]	Pmax [kW]	I [A]	I <sub>max</sub> [A]	P [kW]	Pmax [kW]
IHR18650C	160,0	240,0	80,0	120,0	240,0	320,0	48,0	64,0
IHR18650BN	74,0	162,8	37,0	81,4	74,0	162,8	14,8	32,6
SLB 603870H	129,6	259,2	64,8	129,6	162,0	324,0	32,4	64,8

Pro návrh baterie o kapacitě energie 16 kWh byla zvolena hladina napětí 200 V a baterie tak disponuje kapacitou 80 Ah. Tento návrh zahrnuje všechny tři vybrané články. V případě

článek IHR18650C obsahuje pack 2240 článků, v případě IHR18650BN článků 2072 a u SLB603870H se baterie skládá z 2970 článků.

Baterie z článků IHR18650C disponuje těmito rozměry: výška 19,56 cm, šířka 18,6 cm a délka 70,68 cm. Hmotnost celé baterie vychází na 105,28 kg. Trakční baterie složená z IHR18650BN disponuje výškou 19,56 cm, šířkou 18,6 cm a délkou 65,1 cm. Hmotnost baterie z IHR18650BN článků je 93,24 kg. Poslední možnou variantou je baterie z článků SLB603870H, ta má výsledné rozměry na výšku 20,85 cm, na šířku 19,5 cm, na délku 63,75 cm a hmotnost 95,04 kg.

Důležitým parametrem v návrhu je výkon, který je požadovaný minimální 70 kW s krátkodobým přetížením na 100 kW. Celkový výkon, jaký je baterie schopna dodat, je v případě článku IHR18650C 160 kW a při krátkodobém přetížení až 240 kW. U baterie z článků IHR18650BN je celkový výkon 74 kW a při špičkovém zatížení 162,8 kW. Baterie z SLB603870H článků disponuje výkonem 129,6 kW a při krátkodobém zatížení 259,2 kW.

Parametry nabíjení jsou důležitými parametry s ohledem na možnost rekuperace. Trakční baterii (IHR18650C) je možné dobít stálým proudem 240 A, v případě baterie s články IHR18650BN proudem 74 A a v případě SLB603870H je hodnota nabíjecího proudu 162 A.

Tab. 5.3: Návrh trakční baterie pro  $U = 200 \text{ V}$ ,  $E = 14 \text{ kWh}$ ,  $C = 70 \text{ Ah}$

		Zapojení						
Označení	Sériově [ks]	Paralelně [větvi]	Celkem [ks]	Výška [ks]	Šířka [ks]	Délka [ks]	Kap. Packu [ks]	
IHR18650C	56	35	1960	3	10	33	990	
SLB 603870H	55	47	2585	3	30	15	1350	
Rozměry a parametry 1 packu								
Označení	Výška [cm]	Šířka [cm]	Délka [cm]	Objem [l]	Hmotnost [kg]			
IHR18650C	19,56	18,60	61,38	22,331	46,06			
SLB 603870H	20,85	19,50	56,25	22,870	41,36			
		Celkový Výkon		Výkon 1 packu		Parametry nabíjení		
Označení	$P$ [kW]	$P_{max}$ [kW]	$P$ [kW]	$P_{max}$ [kW]	$I$ [A]	$I_{max}$ [A]	$P$ [kw]	$P_{max}$ [kW]
IHR18650C	140,0	210,0	70,0	105,0	210,0	280,0	42,0	56,0
SLB 603870H	112,8	225,6	56,4	112,8	141,0	282,0	28,2	56,4

Pro návrh baterie o kapacitě energie 14 kWh byla zvolená hladina napětí 200 V a baterie tak disponuje kapacitou 70 Ah. Tento návrh zahrnuje dva vybrané články, a to články IHR18650C a SLB603870H. Článek IHR18650BN této konfiguraci nevyhovuje z důvodu nedostačujícího výkonu. V případě článku IHR18650C obsahuje pack 1960 článků, v případě SLB603870H se baterie skládá z 2585 článků.

Baterie z článků IHR18650C disponuje těmito rozměry: výška 19,56 cm, šířka 18,6 cm a délka 61,38 cm. Hmotnost celé baterie vychází na 92,12 kg. Trakční baterie složená z SLB603870H má výsledné rozměry na výšku 20,85 cm, na šířku 19,5 cm, na délku 56,25 cm a hmotnost 82,72 kg.

Celkový výkon, jaký je baterie schopna dodat je v případě článku IHR18650C 140 kW a při krátkodobém přetížení až 210kW. Baterie z SLB603870H článků disponuje výkonem 112,8 kW a při krátkodobém zatížení 225,6 kW.

Velikost nabíjecího proudu při této konfiguraci je u trakční baterie (IHR18650C) 210 A a v případě baterie s články SLB603870H je možný proud 141 A.

## 6. Závěr

Cílem bakalářské práce je návrh trakční baterie pro elektrickou motokáru v podobě dvou identických packů umístěných po obou stranách jezdce. Práce nejprve mapuje současné možnosti v bateriových technologiích Li-ion, LiFePo a Li-pol a představuje jejich základní vlastnosti. Práce také zmiňuje možné nastupující technologie (Li-ion II. generace, Li-S, Li-O<sub>2</sub>), které by do budoucna mohly vyřešit problém poměrně nízké energetické hustoty současných článků.

Druhá část práce obsahuje rešerši současných bateriových článků. V rešerši cylindrických článků byly vybrány tři články od firmy VARTA, pět článků firmy Panasonic, tři od společnosti SAFT, dva od Valence s technologií LiFeMgPo<sub>4</sub> a šest od výrobce MOLI. U prizmatických článků bylo zvoleno šest článků firmy VARTA (dva Li-ion, čtyři Li-pol), šest bylo i článků Panasonic, SAFT disponuje čtyřmi články, MOLI má v nabídce pouze tři články a od výrobce KOKAM bylo vybráno 12 článků na bázi Li-pol. Pro porovnání jsou v rešerši prizmatických článků zahrnuty i články technologie Li-S od OXIS Energy, které by podle výrobce měly být brzy dostupné. Články byly vybírány hlavně s ohledem na kapacitu, velikost vybíjecího proudu a hustotu energie. Rešerše obsahuje i další podrobné informace o článcích, pokud byly od výrobce k dispozici.

Po hlubší analýze byly do hlavního návrhu baterie vybrány články s nejlepšími parametry. Pro návrh byla uvažována napětí 150, 200, 250, 300 a 350 V. Dalším zadávajícím parametrem byla energie baterie (8, 10, 12, 14, 16, 18 a 20 kWh). Požadavkem bylo jmenovitý výkon 70 kW a špičkově až 100 kW s maximální hmotností 150 kg.

Po provedení širšího návrhu pro kombinace vybraných variací parametrů, byl finální návrh zúžen na dvě nejvíce vyhovující varianty napětí 200 a 250 V a energie 14 a 16 kWh. Do finálního návrhu tak vstupují dva cylindrické články MOLI, typ IHR18650C a IHR18650BN a jeden prizmatický článek SLB603870H od firmy KOKAM. Tyto články splňují požadavky pro energetickou hladinu 16 kWh a pro 14 kWh vyhovují požadovaným parametrům články IHR18650C a SLB603870H.

Finální návrh, který doporučuji, je článek od společnosti KOKAM, typ SLB603870H s napětíovou hladinou 200 V, energií 16 kWh a kapacitou 80Ah. Finální návrh baterie disponuje parametry uvedenými v *Tab. 6.1*.



Tab. 6.1 Výsledné parametry baterie z článků MOLI, typ IHR18650BN

<b>U[V]</b>	<b>E [kWh]</b>	<b>C[Ah]</b>				
200	16	80				
<b>Sériově [ks]</b>	<b>Paralelně [větve]</b>	<b>Celkem [ks]</b>	<b>Výška [ks]</b>	<b>Šířka [ks]</b>	<b>Délka [ks]</b>	<b>Kap. Packu [ks]</b>
55	54	2970	3	30	17	1530
<b>Rozměry a parametry 1 packu</b>						
<b>Výška [cm]</b>	<b>Šířka [cm]</b>	<b>Délka [cm]</b>	<b>Objem [l]</b>	<b>Hmotnost [kg]</b>		
20,85	19,50	63,75	25,915	47,52		
<b>Celkový Výkon</b>		<b>Výkon 1 packu</b>				
<b>P [kW]</b>	<b>Pmax [kW]</b>	<b>P [kW]</b>	<b>Pmax [kW]</b>			
129,6	259,2	64,8	129,6			
<b>Parametry nabíjení</b>						
<b>I [A]</b>	<b>I<sub>max</sub> [A]</b>	<b>P [kW]</b>	<b>Pmax [kW]</b>			
162,0	324,0	32,4	64,8			

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MAREK, Jiří a Luděk STEHLÍK. *Hermetické akumulátory v praxi*. Praha: IN-EL, 2004, 141 s. ISBN 80-862-3034-1.
- [2] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003, 248 s. ISBN 80-865-3403-0.
- [3] MOLICEL. *PRODUCT DATA SHEET: MODEL IHR18650C*. [2011]. Dostupné z: [http://www.molicel.com/tw/product/DM\\_IHR18650C-V1-80073.pdf](http://www.molicel.com/tw/product/DM_IHR18650C-V1-80073.pdf)
- [4] MOLICEL. *PRODUCT DATA SHEET: MODEL IHR18650BN*. [2011]. Dostupné z: [http://www.molicel.com/hq/product/DM\\_IHR18650BN-V2-80068.pdf](http://www.molicel.com/hq/product/DM_IHR18650BN-V2-80068.pdf)
- [5] Technology. *OXIS Energy* [online]. 2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://oxisenergy.com/technology/>
- [6] *Rechargeable Cells*. VARTA [online]. ©2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.varta-microbattery.com/products/batteries-cells-configurations/technology.html>
- [7] *Batteries & Energy Products-Lithium Ion Batteries (For Europe)*. Panasonic Global Home [online]. ©2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: [http://industrial.panasonic.com/www-ctlg/ctlg/qACI4000\\_EU.html](http://industrial.panasonic.com/www-ctlg/ctlg/qACI4000_EU.html)
- [8] *Valence Cells. Lithium Phosphate Battery Suppliers | Valence Technology* [online]. ©2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.valence.com/products/cells>
- [9] *Cells. E-One Moli Eenergy Corp-Molicel is the most reliable rechargeable lithium-ion battery* [online]. ©2011 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.molicel.com/hq/product/product1.html>
- [10] *Kokam Lithium Polymer Batteries*. Cleancarb.com [online]. [2013] [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: [http://www.cleancarb.com/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=38&Itemid=57](http://www.cleancarb.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=38&Itemid=57)
- [11] MINDL, CSC., Doc. Ing. Pavel. ČVUT FEL PRAHA. *Hybridní automobily: 1. část*. Dostupné z: [http://www.inovace-dmt.fs.cvut.cz/studijni\\_materialy/Microsoft\\_PowerPoint\\_Prednaska\\_1.pdf](http://www.inovace-dmt.fs.cvut.cz/studijni_materialy/Microsoft_PowerPoint_Prednaska_1.pdf)
- [12] *Energy density - Wikipedia, the free encyclopedia*. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 22 May 2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_density](http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density)
- [13] OXIS ENERGY. *EV cell: Electric Vehicle Lithium Sulfur Pouch Cell*. 2014. Dostupné

- z: [http://oxisenergy.com/uploads/OXIS\\_Li-S\\_EV\\_Cell\\_v1.2.pdf](http://oxisenergy.com/uploads/OXIS_Li-S_EV_Cell_v1.2.pdf)
- [14] Sodium-air battery offers rechargeable advantages compared to Li-air batteries. *Phys.org - News and Articles on Science and Technology* [online]. Jan 02, 2013 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://phys.org/news/2013-01-sodium-air-battery-rechargeable-advantages-li-air.html>
- [15] Nickel–cadmium battery - Wikipedia, the free encyclopedia. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 10 May 2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93cadmium\\_battery](http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93cadmium_battery)
- [16] Co jste nevěděli o historii baterií. *Baterie, nabíječky a informace o nich - Nabíjíme.cz* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.nabijime.cz/latest/co-jste-nevedeli-o-historii-baterii>
- [17] Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení. *BELZA, Jaroslav. Elektronika Jaroslav Belza* [online]. 24. 3. 2001 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.belza.cz/charge/liion1.htm>
- [18] Li-Pol akumulátory - proč se nejpokročilejší technologie neprosazuje?. *PAVLIS, Jakub. NOTEBOOK.cz - notebooky, testy, recenze* [online]. 22. 6. 2011 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://notebook.cz/clanky/technologie/2011/Li-Pol-akumulatory>
- [19] Elektrické Audi A2 ujelo 605 km na jedno nabití, díky revolučním bateriím. *HORČÍK, Jan. Hybrid.cz | elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auto na plyn CNG, LPG, testy* [online]. 29. Říjen 2010 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/elektricke-audi-a2-ujelo-605-km-na-jedno-nabiti-diky-revolucnim-bateriim>
- [20] Lithium-polymerový akumulátor. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 12. 1. 2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-polymerov%C3%BD\\_akumul%C3%A1tor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-polymerov%C3%BD_akumul%C3%A1tor)
- [21] Lithium-železo-fosfátový akumulátor. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 26. 3. 2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-%C5%BEelezo-fosf%C3%A1tov%C3%BD\\_akumul%C3%A1tor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-%C5%BEelezo-fosf%C3%A1tov%C3%BD_akumul%C3%A1tor)
- [22] LiFePO4 akumulátory. *Elektromobily* [online]. © 2010 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/lifepo4-akumulatory>
- [23] MP & Small VL | Saft. *Saft | World leader in high technology batteries* [online]. ©2014 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.saftbatteries.com/battery-search/mp-small-vl>

# Přílohy

## Příloha A - Rešerše lithiových článků

Výrobce	Technologie	Označení	Nabíjení		Vybíjení		Průměr [mm]	Výška [mm]	Hmotnost [g]	Objem [l]	Energie [Wh]	Sp. Energie [Wh/kg]	Sp. Hustota energie [Wh/l]	
			Jm. Napětí [V]	Jm. Kapacita [mAh]	Stálé [A]	Špičkové [A]								Stálé [A]
VARTA	Li-Ion	LIC 18650-22 FC	3,6	2200	1,1	2,2	4,4	-	65	18,4	0,01728	7,92	177,98	458,23
VARTA	Li-Ion	LIC 18650-26 FC	3,7	2600	1,3	2,6	5,2	-	65	18,4	0,01728	9,62	204,68	556,59
VARTA	Li-Ion	LIC 18650-22 PC	3,62	2150	1,075	2,15	4,3	-	65	18,4	0,01728	7,78	174,90	450,31
Panasonic	Li-Ion	UR-16650ZTA	3,7	2500	-	-	-	-	64,9	16,4	0,01371	9,25	228,40	674,71
Panasonic	Li-Ion	UR-18650ZT	3,7	2800	1,89	-	2,8	-	65,1	18,2	0,01694	10,36	215,83	611,71
Panasonic	Li-Ion	NCR-18650A	3,6	3070	1,475	-	5,9	-	65,1	18,2	0,01694	11,05	237,68	652,57
Panasonic	Li-Ion	NCR-18650B	3,6	3350	1,625	-	6,7	-	65,1	18,3	0,01712	12,06	253,89	704,33
Panasonic	Li-Ion	NCR-18650D	3,6	2900	1,925	-	5,5	-	65,1	18,2	0,01694	10,44	229,45	616,43
SAFT	Li-Ion	VI 34480	3,7	4400	4,4	-	8,8	-	50,8	33,9	0,04585	16,28	158,06	355,06
SAFT	Li-Ion	VI 34570	3,7	5400	5,4	-	11	-	59,43	34,2	0,05459	19,98	159,84	365,97
SAFT	Li-Ion	VI 37570	3,7	7000	7	-	14	-	59,5	37,4	0,06537	25,90	173,83	396,23
Valence	LiFeMgPO4	IFR18650DEC	3,2	1400	1,4	3,5(30s)	2,8	7(30s)	65	18,2	0,01691	4,48	112,00	264,93
Valence	LiFeMgPO4	IFR26650PC	3,2	2500	1,0	20(10s)	25	100(5s)	65,9	26,1	0,03526	8,00	101,27	226,90
MOLI	Li-Ion	ICR18650M	3,7	2800	2,8	-	5	-	65,2	18,6	0,01772	10,36	207,20	584,79
MOLI	Li-Ion	IBR18650B	3,6	1500	6,5	-	25	-	65,2	18,4	0,01734	5,40	120,00	311,47
MOLI	Li-Ion	IBR26700A	3,7	2800	8,4	-	40	-	70,5	26,4	0,03859	10,36	102,57	268,46
MOLI	Li-Ion	IHR18650C	3,6	2000	6	-	20	-	65,2	18,6	0,01772	7,20	153,19	406,41
MOLI	Li-Ion	IBR18650BC	3,6	1500	9	-	30	-	65,2	18,4	0,01734	5,40	120,00	311,47
MOLI	Li-Ion	IHR18650BN	3,6	2200	2	-	10	-	65,2	18,6	0,01772	7,92	176,00	447,06

### Poznámky:

- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,75V, skladování: 1rok/-20-25°C >80%, životnost 300cyklů pro C=1505mAh
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,75V, skladování: 1rok/-20-25°C >80%, životnost 300cyklů pro C=1785mAh
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,75V, skladování: 1rok/-20-25°C >80%, životnost 700cyklů pro C=1400mAh
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjecí napětí: 3V, skladování: -20-50°C, životnost 500cyklů C=1850mAh, Rozměry bez trubice
- teplota nabíjení -10-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,5V, životnost 500cyklů C=2300mAh, Rozměry bez trubice
- teplota nabíjení 10-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,5V, skladování: -20-50°C, Rozměry bez trubice
- teplota nabíjení -10-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,5V, životnost 500cyklů C=2100mAh, Rozměry bez trubice
- teplota nabíjení -20-60°C, vybíjení -50-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,5V, skladování: do 30°C, životnost 500cyklů při 20°C 100% DoD 70%, Rozměry bez trubice
- teplota nabíjení -20-60°C, vybíjení -50-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,5V, skladování: do 30°C, životnost 500cyklů při 20°C 100% DoD 70%, Rozměry bez trubice
- teplota nabíjení -20-60°C, vybíjení -50-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,5V, skladování: do 30°C, životnost 500cyklů při 20°C 100% DoD 70%, Rozměry bez trubice
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-55°C, konečné vybíjecí napětí: 2V, skladování: -40-55°C, životnost 7000cyklů C=70% pro 23°C 100%DOD, Rozměry bez trubice
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-55°C, konečné vybíjecí napětí: 2V, skladování: -40-55°C, životnost 900cyklů C=100% pro 23°C 100%DOD, Rozměry bez trubice
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -30-60°C, konečné vybíjecí napětí: 3V, skladování: do 35°C, životnost 300cyklů C=92% pro 23°C
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -30-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2V, skladování: do 35°C, životnost 300cyklů pro 23°C 10A C=92%, 15A C=88%
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2V, skladování: do 35°C, životnost 1000cyklů C=2500mAh pro 23°C 2,8A, 18A
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -30-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2V, skladování: do 35°C, životnost 500cyklů pro 23°C a 10A C=95%, 15A C=85%, 20A C=70%
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -30-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2V, skladování: do 35°C, životnost 1000cyklů pro 23°C a 20A C=78%, 30A C=75%
- teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjecí napětí: 2,8V, skladování: do 35°C, životnost 500cyklů C=80% pro 23°C a 4A

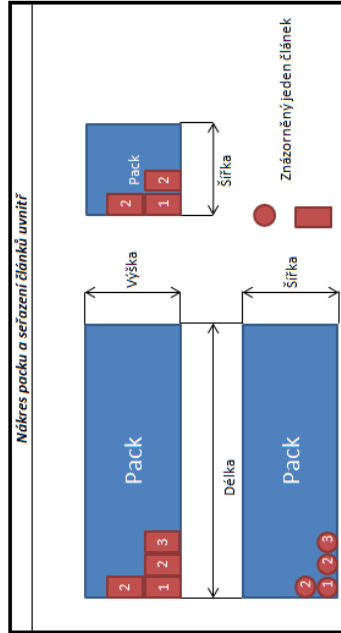
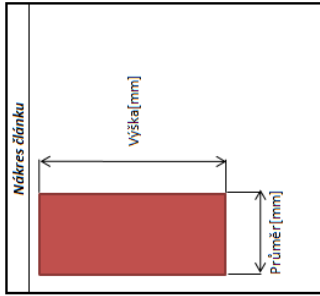
Výrobce	Technologie	Označení	Jm. Napětí [V]	Jm. Kapacita [mAh]	Nabití		Vybíjení		Tloušťka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Hmotnost [g]	Objem [l]	Energie [Wh]	Sp. Energie [Wh/kg]	Sp. Hustota energie [Wh/l]
					Stalé [A]	Špičkové [A]	Stalé [A]	Špičkové [A]								
VARTA	Li-Ion	LIP 103450 SC	3,7	2030	1,7	-	2	-	10,5	33,9	48,7	42	0,01733	7,51	178,83	433,29
VARTA	Li-Ion	LIP 553450 WC	3,7	1130	0,565	1,13	2,26	-	5,5	34	50	23	0,00935	4,18	181,78	447,17
VARTA	Li-Pol	LPP 454261 8TH	3,7	1590	0,765	1,53	1,53	-	4,6	42	61	27,3	0,01179	5,88	215,49	499,19
VARTA	Li-Pol	LPP 503759 8HH	3,7	1400	0,66	1,32	1,32	-	5	37	59	23,6	0,01092	5,18	219,49	474,58
VARTA	Li-Pol	LPP 683566 BE	3,7	1880	0,91	1,82	3,64	-	7,1	35	65,4	40	0,01625	6,96	173,90	428,01
VARTA	Li-Pol	LPP 503562 DL	3,7	1300	0,625	1,25	2,5	-	5,2	35,5	62,5	21	0,01154	4,81	229,05	416,90
Panasonic	Li-Ion	NCA-596080	3,6	4170	-	-	8,34	-	5,85	60	80	67	0,02808	15,01	224,06	534,62
Panasonic	Li-Ion	UF-515155SX	3,8	2040	-	-	4,08	-	5,05	50,9	55	33,6	0,01414	7,75	230,71	548,33
Panasonic	Li-Ion	UF-515761ST	3,8	2720	-	-	5,44	-	5,1	56,95	60,5	42	0,01757	10,34	246,10	588,21
Panasonic	Li-Ion	UF-544965SW	3,8	2550	-	-	5,1	-	5,4	48,4	65	41,5	0,01699	9,69	233,49	570,39
Panasonic	Li-Ion	UF-604462SW	3,8	2480	-	-	4,96	-	6	43,9	61,7	39,2	0,01625	9,42	240,41	579,87
Panasonic	Li-Ion	UF-555148SX	3,8	1870	-	-	3,74	-	5,45	50,9	47,5	31,2	0,01318	7,11	227,76	539,28
SAFT	Li-Ion	MP 144350	3,75	2600	2,6	-	5	10	14,9	43,9	54,5	68	0,03565	9,75	143,38	273,50
SAFT	Li-Ion	MP 176065 HD Integration	3,6	3600	3,6	-	45	65	19,8	60	68,35	132	0,08120	12,96	98,18	159,61
SAFT	Li-Ion	MP 176065 Integration	3,75	6800	7	-	14	30	20,3	60,5	70	143	0,08597	25,50	178,32	296,61
SAFT	Li-Ion	MP 176065 HD Integration	3,75	4800	5	-	10	20	19,7	45,5	70	103	0,06274	18,00	174,76	286,88
MOLI	Li-Ion	ICP1003450B	3,7	1800	1,8	-	3,6	-	11	33,9	49,4	46	0,01842	6,66	144,78	361,54
MOLI	Li-Ion	ICP103450CA	3,7	1960	1,9	-	2,5	-	11,5	34	50	41,5	0,01955	7,25	174,75	370,95
MOLI	Li-Ion	ICP103450DA	3,7	2200	2,2	-	2,5	-	11,5	34	50	41,5	0,01955	8,14	196,14	416,37
KOKAM	Li-Pol	SLPB 723870H4	3,7	1500	3	-	30	60	7,2	37,5	70	37	0,01890	5,55	150,00	293,65
KOKAM	Li-Pol	SLPB 5043128H3	3,7	2400	4,8	-	36	72	5	42,5	127,5	59	0,02709	8,88	150,51	327,75
KOKAM	Li-Pol	SLPB 8043128H	3,7	3200	6,4	-	64	128	7,6	42,7	127,5	84	0,04138	11,84	140,95	286,15
KOKAM	Li-Pol	SLPB 11043140H	3,7	4800	9,6	-	96	192	11	42,5	140	115	0,06545	17,76	154,43	271,35
KOKAM	Li-Pol	SLPB 554374H	3,7	1250	2,5	-	18,75	37,5	5,4	42,5	73,5	32	0,01687	4,63	144,53	274,18
KOKAM	Li-Pol	SLPB 834374H	3,7	2000	4	-	30	60	8,3	42,5	73,5	49	0,02593	7,40	151,02	285,42
KOKAM	Li-Pol	SLB 603870H	3,7	1500	3	-	12	24	6,5	37,5	69,5	32	0,01694	5,55	173,44	327,61
KOKAM	Li-Pol	SLPB 523459	3,7	1040	1,04	-	2,08	5,2	5,25	33,5	58,5	20	0,01029	3,85	192,40	374,00
KOKAM	Li-Pol	SLPB 456495	3,7	2700	2,7	-	5,4	13,5	4,35	64	95	54,5	0,02645	9,99	183,30	377,72
KOKAM	Li-Pol	SLPB 486495	3,7	3000	3	-	6	15	4,8	64	95	60,5	0,02918	11,10	183,47	380,35
KOKAM	Li-Pol	SLPB 50106100	3,7	5000	5	-	10	25	5	106	100	115	0,05300	18,50	160,87	349,06
KOKAM	Li-Pol	SLPB 75106100	3,7	7500	7,5	-	15	37,5	7,5	106	100	155	0,07950	27,75	179,03	349,06
OXIS energy	Li-S	EV Cell	2,05	5000	0,5	-	15	-	4,1	75	142	51,25	0,04367	10,25	200,00	234,74
OXIS energy	Li-S	EV Cell	2,05	5000	0,5	-	15	-	3,3	75	142	43,62	0,03515	10,25	235,00	291,65
OXIS energy	Li-S	EV Cell	2,05	10000	0,5	-	30	-	6	75	142	82,00	0,06390	20,50	250,00	320,81
OXIS energy	Li-S	EV Cell	2,05	10000	0,5	-	40	-	4,8	75	142	68,33	0,05112	20,50	300,00	401,02
OXIS energy	Li-S	EV Cell	2,05	10000	0,5	-	40	-	4,3	75	142	51,25	0,04580	20,50	400,00	447,65

<b>Poznámky:</b>	
teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,75V, skladování: 1rok/-20-20°C >80%, životnost: (20°C cykl 0,5C/0,5C) 300cyklů pro C>70%	
teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,75V, skladování: 1rok/-20-25°C >80%, životnost: 100cyklů pro C=930mAh, 300cyklů pro C=880mAh	
teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 3V, skladování: 1rok/-20-25°C, životnost: 500cyklů pro C>75% <sub>C<sub>0</sub></sub>	
teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 3V, skladování: 1rok/-20-25°C, životnost: 400cyklů pro C=80% <sub>C<sub>0</sub></sub>	
teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 3V, skladování: 6měsíců/-20-35°C, životnost: 400cyklů pro C>75% <sub>C<sub>0</sub></sub>	
teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 3V, skladování: 1rok/-20-35°C >80%, životnost: 300cyklů pro C=80% <sub>C<sub>0</sub></sub> , 500cyklů pro C=70% <sub>C<sub>0</sub></sub>	
teplota nabíjení -20-60°C, vybíjení -50-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,5V, skladování: do 30°C, životnost 500cyklů při 20°C 100% DoD, 80% C	
teplota nabíjení 0-60°C, vybíjení -10-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,5V, skladování: do 30°C, životnost 1500cyklů při 20°C 100W	
teplota nabíjení -20-60°C, vybíjení -50-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,5V, skladování: do 30°C životnost 600cyklů při 20°C 100% DoD 70% C	
teplota nabíjení -20-60°C, vybíjení -50-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,5V, skladování: do 30°C životnost 600cyklů při 20°C 100% DoD 70% C	
teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 3V, skladování: do 35°C, životnost 500cyklů C=78% C pro 23°C a 1,8A	
teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 3V, skladování: do 35°C, životnost 300cyklů C=88% C pro 23°C a 1,9A	
teplota nabíjení 0-45°C, vybíjení -30-60°C, konečné vybíjení napětí: 3V, skladování: do 35°C, životnost 500cyklů C=85% C pro 23°C a 4,07W	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >500cyklů	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >500cyklů	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >500cyklů	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >500cyklů	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >500cyklů	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >500cyklů	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >500cyklů	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >500cyklů	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >800cyklů - DOD80% rozsah 4,15V - 3,4V pod 1C/1C	
teplota nabíjení 0-40°C, vybíjení -20-60°C, konečné vybíjení napětí: 2,7V, životnost >800cyklů - DOD80% rozsah 4,15V - 3,4V pod 1C/1C	
teplota vybíjení -10-80°C, konečné vybíjení napětí: 1,5V, životnost 700cyklů - DOD80%, 80%Bol a pro 30°C, Špičková hmotnostní energie 750W/kg, Špičková objemová energie 875Wh/l- výroba srpen 2014	
teplota vybíjení -20-80°C, konečné vybíjení napětí: 1,5V, životnost 800cyklů - DOD80%, 80%Bol a pro 30°C, Špičková hmotnostní energie 890W/kg, Špičková objemová energie 1100Wh/l- výroba září 2014	
teplota vybíjení -20-80°C, konečné vybíjení napětí: 1,5V, životnost 1000cyklů - DOD80%, 80%Bol a pro 30°C, Špičková hmotnostní energie 1015W/kg, Špičková objemová energie 1300Wh/l- výroba březen 2015	
teplota vybíjení -20-80°C, konečné vybíjení napětí: 1,5V, životnost 1100cyklů - DOD80%, 80%Bol a pro 30°C, Špičková hmotnostní energie 1275W/kg, Špičková objemová energie 1700Wh/l- výroba březen 2016	
teplota vybíjení -20-80°C, konečné vybíjení napětí: 1,5V, životnost 1200cyklů - DOD80%, 80%Bol a pro 30°C, Špičková hmotnostní energie 2000W/kg, Špičková objemová energie 2250Wh/l- výroba březen 2017	
DoD - stav vybíjení	
Bol - od počátku výroby	

**Příloha B - Návrh lithium-iontové baterie - Kompletní příloha na CD**

Příklad návrhu trakční Li-ion baterie (Cylindrické články, U = 200 V, E = 16 kWh)

Cylindrické články	Výrobce	Označení	U [V]	C [mAh]	Nabíjení proudem		Vybití proudem		Průměr [mm]	Výška [mm]	Hmotnost [g]
					Stálý [A]	Špičkový [A]	Stálý [A]	Špičkový [A]			
1	VARTA	LIC18650-22 FC	3,6	2200	1,1	2,2	4,4	8,8	18,4	65	44,5
2	VARTA	LIC18650-26 FC	3,7	2600	1,3	2,6	5,2	10,4	18,4	65	47
3	VARTA	LIC18650-22 PC	3,62	2150	1,075	2,15	10	12,9	18,4	65	44,5
4	Panasonic	NCR-18650A	3,6	3070	1,475	3,07	5,9	12,28	18,2	65,1	46,5
5	Panasonic	NCR-18650B	3,6	3350	1,625	3,35	6,7	13,4	18,3	65,1	47,5
6	Panasonic	NCR-18650	3,6	2900	1,925	2,9	5,5	11,6	18,2	65,1	45,5
7	SAFT	VL34480	3,7	4400	4,4	4,4	8,8	17	33,9	50,8	103
8	SAFT	VL34570	3,7	5400	5,4	5,4	11	21	34,2	59,43	125
9	SAFT	VL37570	3,7	7000	7	7	14	28	37,4	59,5	149
10	Valence	IFR18650FC	3,2	1400	1,4	3,5	2,8	7	18,2	65	40
11	Valence	IFR26650PC	3,2	2500	10	20	25	100	26,1	65,9	79
12	MOLI	IHR18650BN	3,6	2200	2	4,4	10	22	18,6	65,2	45
13	MOLI	IHR18650C	3,6	2000	6	8	20	30	18,6	65,2	47
14	MOLI	IBR18650B	3,6	1500	6,5	7,5	25	30	18,4	65,2	45



Zapojení	Sériově 1 větev				Paralelně x větví				Celkem	Výška	Šířka	Délka	Kap. packu
	Sériově 1 větev	Paralelně x větví	Sériově 1 větev	Paralelně x větví	Sériově 1 větev	Paralelně x větví	Sériově 1 větev	Paralelně x větví					
1	56	37	2072	3	10	35	1050						
2	55	31	1705	3	10	29	870						
3	56	38	2128	3	10	36	1080						
4	56	27	1512	3	10	26	780						
5	56	24	1344	3	10	23	690						
6	56	28	1568	3	10	27	810						
7	55	19	1045	3	5	35	525						
8	55	15	825	3	5	28	420						
9	55	12	660	3	5	22	330						
10	63	58	3654	3	10	61	1830						
11	63	32	2016	3	7	48	1008						
12	56	37	2072	3	10	35	1050						
13	56	40	2240	3	10	38	1140						
14	56	54	3024	3	10	51	1530						

Výkon 1 packu	Rozměry a parametry 1 packu		Celkový výkon		Výkon 1 packu		Parametry nabíjení				
	Výška [cm]	Šířka [cm]	Délka [cm]	Objem [l]	Hmotnost [kg]	P [kW]	Pmax [kW]	I [A]	Inax [A]	P [kW]	Pmax [kW]
1	19,50	18,40	64,40	23,107	46,10	32,6	65,1	16,3	40,7	81,4	16,3
2	19,50	18,40	53,36	19,146	40,07	32,2	64,5	16,1	32,2	40,3	80,6
3	19,50	18,40	66,24	23,767	47,35	32,2	64,5	16,1	40,9	81,7	16,3
4	19,53	18,20	47,32	16,820	35,15	31,9	66,3	15,9	35,2	39,8	82,9
5	19,53	18,30	42,09	15,043	32,2	32,2	64,3	16,1	32,2	39,0	80,4
6	19,53	18,20	49,14	17,467	35,67	30,8	65,0	15,4	32,5	39,9	81,2
7	15,24	16,95	118,65	30,649	55,82	35,4	64,6	16,7	32,3	38,6	16,7
8	17,83	17,10	95,76	29,195	51,56	33,0	63,0	16,5	31,5	38,0	16,2
9	17,85	18,70	82,28	27,465	49,17	33,6	67,2	16,8	35,6	40,0	16,8
10	19,50	18,20	111,02	39,401	75,08	32,5	81,2	16,2	40,6	81,2	205,0
11	19,77	18,27	125,28	45,251	79,63	160,0	320,0	320,0	320,0	640,0	64,0
12	19,56	18,60	65,10	23,684	46,62	74,0	162,8	37,0	81,4	74,0	14,8
13	19,56	18,60	70,68	25,715	52,64	160,0	240,0	80,0	120,0	240,0	48,0
14	19,56	18,40	93,84	33,773	68,04	270,0	324,0	135,0	162,0	351,0	70,2

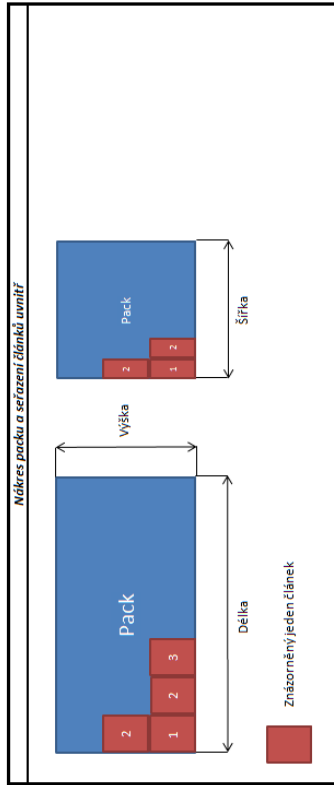
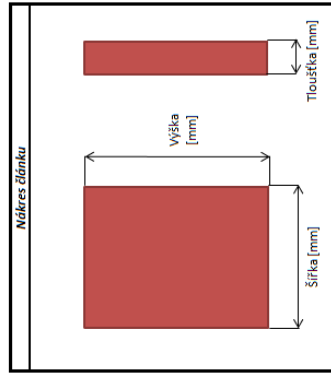
**Parametry packu**  
 U 200V  
 E 16 kWh  
 C 80 Ah  
**Pevné rozměry packu:**  
 Výška 20 cm  
 Šířka 20 cm

**Vysvětlivky:**  
 Hodnoty označené červeným rámečkem nejsou udány výrobcem a jsou odvozeny z našeho přepočítání násobkem kapacity.

**Sériově 1 větev** - Počet článků zapojených sériově v jedné větvi.  
**Paralelně x větví** - Počet sériových větví zapojených paralelně.  
**Celkem** - Celkový počet článků, Výška - Počet článků, které jsou poskládány na sebe viz obrázek.  
**Šířka** - Počet článků zarazených vedle sebe na šířku viz obrázek.  
**Délka** - Počet seřazených článků na délku viz obrázek.  
**Kap. packu** - Maximální počet článků v jednom packu.

**Hmotnost [kg]** - Hodnota je plná hodnota je v každém packu stejný počet článků.  
**Výkon 1 packu** - Hodnoty jsou plné hodnoty je v každém packu stejný počet paralelních větví.

Prříklad návrhu trakční Li-ion baterie (Prizmatické články, U = 200 V, E = 16 kWh)



Prizmatické články	Nabíjecí proudem		Vybíjecí proudem		Hmotnost [g]	
	U [V]	C [mAh]	Stálým [A]	Špičkovým [A]	Šířka [mm]	Výška [mm]
1	3,7	1130	0,565	1,13	4,52	34
2	3,7	1880	0,91	1,82	7,52	55
3	3,7	1300	0,625	1,25	5,2	35
4	3,6	4170	2,083	4,17	8,34	58,5
5	3,8	2720	1,36	2,72	5,44	40
6	3,8	2480	1,24	2,48	4,96	39,2
7	3,75	2600	2,6	5,2	10	43,9
8	3,75	6800	7	13,6	14	149
9	3,75	4800	5	9,6	10	103
10	3,7	1800	1,8	3,6	7,2	45,5
11	3,7	1960	1,9	3,92	7,84	49,4
12	3,7	1250	2,2	4,4	8,8	34
13	3,7	1250	2,2	4,4	8,8	34
14	3,7	1500	3	6	12	24
15	3,7	3000	3	6	15	64
16	2,05	5000	0,5	1	15	4,1

Parametry packu	
U	200 V
E	16 kWh
C	80 Ah
<b>Pevné rozměry packu:</b>	
Výška	25 cm
Šířka	20 cm

**Vysvětlivky:**  
 Hodnoty označené červeným náhem nebily udány výrobcem a jsou odpovídajícím způsobem přepracovány násobkem kapacity.

Zapojení	Sériové 1 větví		Paralelně x větví		Celkem		Výška	Šířka	Délka	Kap. packu
	Paralelně x větví	Paralelně x větví	Paralelně x větví	Paralelně x větví	Paralelně x větví	Paralelně x větví				
1	55	71	36	11	3905	5	36	11	1980	
2	55	43	2365	3	28	15	1260			
3	55	62	3410	4	38	12	1824			
4	56	20	1120	3	34	6	612			
5	53	30	1590	4	39	6	936			
6	54	33	1749	4	33	7	924			
7	54	31	1674	4	13	17	884			
8	54	12	648	3	9	12	324			
9	54	17	918	3	10	16	480			
10	55	45	2475	5	18	14	1260			
11	55	41	2255	5	17	14	1190			
12	55	37	2035	5	17	12	1020			
13	55	64	3520	3	37	16	1776			
14	55	54	2970	3	30	17	1530			
15	55	27	1485	2	41	10	820			
16	98	16	1568	1	48	17	816			

**Sériové 1 větví - Počet článků zapojených sériově v každé větvi. Paralelně x větví - Počet sériových větví zapojených paralelně. Celkem - Celkový počet článků. Výška - Počet článků, které jsou postřídány na sebe viz obrázek. Šířka - Počet článků vzájemně vedle sebe na šířku viz obrázek. Délka - Počet serizovaných článků na délku viz obrázek. Kap. packu - Maximální počet článků v jednom packu.**

Výška [cm]	Rozměry a parametry 1 packu		Celkový výkon		Výkon 1 packu		Parametry nabíjení	
	Šířka [cm]	Délka [cm]	Hmotnost [kg]	P [kW]	Pmax [kW]	I [A]	Imax [A]	P [kW]
1	25,00	19,80	37,40	18,513	44,91	32,1	64,2	80,2
2	19,62	19,88	52,50	20,477	47,80	31,3	64,7	78,3
3	25,00	19,76	42,60	21,044	35,81	31,0	64,5	77,5
4	24,00	19,89	36,00	17,185	37,52	33,4	66,7	83,4
5	24,20	19,89	34,17	16,447	33,39	32,6	65,3	81,6
6	24,68	19,80	30,73	15,017	34,28	32,7	65,4	81,8
7	21,80	19,37	74,63	31,514	56,92	31,0	62,0	161,2
8	21,00	18,27	72,60	27,854	46,33	33,6	72,0	168
9	21,00	19,70	72,80	30,117	47,28	34,0	68,0	163,2
10	24,70	19,80	47,46	23,211	56,93	32,4	64,8	162,0
11	25,00	19,55	47,60	23,265	46,79	20,5	64,3	160,7
12	25,00	19,55	40,80	19,941	42,23	18,5	65,1	162,8
13	22,05	19,98	68,00	29,958	46,32	24,0	48,0	320,0
14	20,85	19,50	63,75	25,919	47,52	12,96	25,92	324,0
15	19,00	19,68	64,00	23,951	44,92	32,4	81,0	162,0
16	14,20	19,68	127,50	56,631	40,18	48,0	64,0	160,0

**Hmotnost [kg] - Hmotnost je platná pokud je v každém packu stejný počet článků.**  
**Výkon 1 packu - Hmotný jsou platné pokud je v každém packu stejný počet paralelních větví.**