

Elektrokémiai energiatárolók

D. Bernclt

1. Az energiatárolás problémája

Villamos energiát közvetlenül csak kondenzátorban tudunk tárolni, és csak olyan mennyiségben, amely az általános energiaszükséglet mellett jelentéktelen. Nagyobb mennyiségben való tároláshoz más energiafajtába kell átalakítani (például: fosszilis fűtőanyagok felhasználása során a kémiai kötési energiát előbb hővé, majd a hőerőgépekben villamos energiává alakítják).

Az elektrokémiai energiatárolók szintén a kémiai kötések használják mint tárolóközeget, és ezért kémiai reakciókkal jellemezhetők. Eltérően a hőerőgépektől, az elektrokémiai energiatárolóknál a kémiai energia közvetlenül villamos energiává alakul. Az újratölthető elemeknél (a továbbiakban csak ezekkel a szekunder elemekkel foglalkozunk) ez a folyamat megfordítható, ami az jelenti, hogy a villamos energia az akkumulátor töltésénél ismét kémiai energiává alakul, és ilyen formában tároljuk.

2. Az elektrokémiai cella

A kémiai reakciók az ionok töltéscseréjéhez — a villamos töltések cseréjéhez — kapcsolódnak. A közben fellépő energia-változást csak akkor tudjuk közvetlenül villamos energiává alakítani, ha az áttöltési áram külső áramkörön folyik keresztül. Ha az ólom (Pb) és ólomoxid (PbO₂) reakciója ólomszulfáttá (PbSCU), az ólomakkumulátor kisütési reakciója



ólom (Pb) és ólomoxid (PbO₂) kénsavas kevert oldatában játszódna le, úgy a folyamat során csak hő keletkezne. Ezzel szemben az ólomakkumulátornál a reakcióban felszabaduló energiát mint villamos energiát tudjuk kivenni, mert a reakciót két részreakcióra bontjuk fel, ahogyan az 1. ábrán látható.

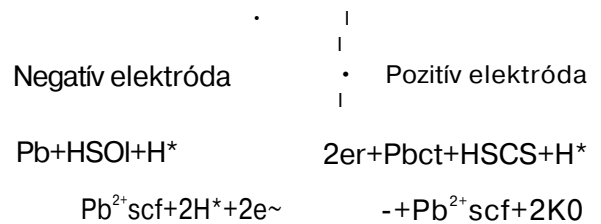
A kisütési reakció lényege, a negatív elektródánál az ólom (Pb) oxidálódik kétértékű ólomná (Pb⁺), miközben két elektron szabadul fel. A pozitív elektródánál a négyértékű ólom (Pb⁴⁺) [ami nem fordul elő szabadon csak mint ólom-dioxid (PbO₂)] redukálódik kétértékűvé (Pb²⁺), és felvesz közben két elektront. Ezt az elektroncserét mint áramot átvezetjük egy cellán kívüli fogyasztón, és így a reakcióenergiát (legalábbis részben) mint villamos energiát hasznosítjuk.

Ez a felosztás az elektrokémiai cellában valósítható meg, ami minden elektrokémiai energiatároló alapvető építőköve. (A

D. Bernclt,

1994-ben a VÁRTA szimpózium keretében Gálósán elhangzott előadás

Elektronáram a fogyasztón keresztül



Ionáram az elektrolitban

/. ábra, A kisütési reakció felbontása a két elektródareakcióra.

A negatív elektródánál lejátszódó reakciónál Pb => Pb²⁺ +2e" felszabaduló elektronokat mint áramot átvezetjük a fogyasztón, és a pozitív elektródánál lejátszódó reakciónál Pb⁴⁺ + 2e~ => Pb²⁺ használjuk fel.

hétköznapi beszédben természetesen egyes cellákat is gyakran akkumulátornak nevezünk; vo. DIN 40719 — Fogalmak).

A 2. ábrán látható az elektrokémiai cella elve. Egy pozitív és egy negatív elektróda merül az elektrolitba. Az egyikén zajlik

Cellafeszültség
Elektronáram

— Kivezető —

Negatív
elektróda

•
Pozitív
elektróda

2. ábra. Az elektrokémiai cella felépítése az elektródareakciókkal. A cella energiatartalmát az elektródák „aktív anyaga” tárolja. Az aktív anyag mellett egy sor passzív komponensre is szükség van, amelyek az aktív anyagot mechanikailag támasztják, az áramot elvezetik, és a két elektródát elválasztják egymásról (szeparátor), hogy a kisülés ne belső rövidzárként történjen.

Újratölthető elektrokémiai tároló rendszerek

Jellemzők		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Hagyományos akkumulátorok			Nagy hőmérsékletű akkumulátorok)			Különleges rendszerek		új
1	Rendszer	Ólom/sav	Nikkel-kadmium	Nikkel-fém-hidrid	Nátrium-kén	Na/NiCh „Zebra”	Li/FeS „Lais”	Zn/Br ⁰)	Cink/levegő ⁰⁰)	Li-C/Mn ₂ O ₄ „Swing”
2	Pozitív elektróda	PbO ₂	NiOOH ^{**})	NiOO ₂ O	S	NiCh	FeS	Br (oldott)	levegő	Li ₂ MnO ₄
3	Negatív elektróda	Pb	Cd	H ₂)	Na	Na	Li(Al)	Zn	Zn	Li ₂ C
4	Elektrolit	hígított H ₂ SO ₄	hígított KOH ízes elektrolit	hígított KOH	P-Al ₂ O ₃ szilárd elektrolit	P-Al ₂ O ₃ NaAlCl ₄	LiF, LiCl LiBr, KX ⁺) MgO sólvadék	ZnBr ⁺ polybrom komplex vizes elektrolit	KOH	Li- ionok szerves oldószerben polimer
5	Üzemi hőmérséklet, °C	-10...55	-40...50	-40...50	= 300	= 300	= 450	30...70	60	szoba-hőmérséklet
6	Nyugalmi feszültség, V	2 ⁺)	- 1-3 [*])	* 1.3 [*])	2,1	2,6	1,35	1,82	1,4	3,5
7a 7b	Faji energia, Wh/kg elméletben: gyakorlatban:	161 20...40	240 [*]) 20...55	= 300 [*]) 50... 60	795 90... 120	719 90... 100	560 90... 100 ^{**})	438 65...70	<500 • 170	>450 = 100
8	Energiasűrűség, Wh/l gyakorlatban	60...100	40...60	100.150	max. 180	max. 150	max. 200 ^{**})	max. 70	= 200	= 200

⁺) a nyugalmi feszültség a savsűrűségtől függ

^{*}) a KX kálium/halogen kötést jelent

^{**}) valóságban a Ni²⁺ és Ni⁺ ionok bonyolult összetétele

⁰) csak közelítő érték, a nikkeldioxid változó összetétele miatt

) alkalmas ötvözetben abszorbeálva

) laborminták alapján becslés

) aktív anyag részben külön tartályban tárolva

⁰¹) "mechanikus feltöltés,, a Zn elektróda cseréjével

)A nagy hőmérsékletű akkumulátoroknál megadott fajlagos energiák és energiasűrűségek a komplett akkumulátorra vonatkoznak, azaz az adatok tartalmazzák a termikus szigetelés, a fűtő- és hűtőberendezés többlet tömegét is

az a részreakció, amelynél elektronok szabadulnak fel (az ábrán balra), a másikon az a részreakció, amelynél az elektronok felhasználódnak (az ábrán jobbra). A két elektróda reakció alkotja együtt a cellareakciót.

Az elektrokémiai cella paraméterei

A befolyásoló tényezők, amelyek minden elektrokémiai energiatárolóban hatnak, két csoportba oszthatók:

— *Termodinamikai* vagy *egyensúlyi paraméterek* a rendszert egyensúlyi állapotában írják le, azaz, amikor a reakciók egyensúlyban vannak. Az elektrokémiai cellában ez, legalábbis közelítőleg, akkor áll fenn, ha nem folyik áram. Az egyensúlyi paraméterek az elérhető értékek felső határértékét jelentik.

— *Kinetikai paraméterek* a kémiai reakció lefutásához kapcsolódnak. Akkor jelentkeznek, mikor áram folyik (és lerontják az értékeket az egyensúlyi értékekhez képest). A kinetikai paraméterek befolyásolják az elektróda reakciókat, de a transzport folyamatokat is, a diffúzion és a migráción keresztül. A kinetikai paramétereket az akkumulátor szerkezeti felépítése is befolyásolja, pl. elektróda vastagság, elektródatávolság.

[1] A (2) egyenlet előjelét a konvekció határozza meg, mivel az *i*/o potenciálkülönbség, amelyet különböző irányokban tudunk létrehozni (bal elektróda mínusz a jobb elektróda, vagy fordítva). Legtöbbször a negatív előjelet használjuk, és a reakcióegyenletet úgy írjuk fel, hogy magától lejátszódjék, azaz energiát lead (AG negatív), mint az (1) egyenletben.

3. Termodinamikai paraméterek

A termodinamikai paraméterek írják le a reakciókhoz kötődő maximális energialeadást vagy energia felvételt. Három paraméter létezik:

— *AH, a reakcióentalpia*, a felszabaduló vagy elhasználandó energiamennyiség. *AH* egyenlő a hőtermeléssel, ha a kémiai energiát 100%-ban hővé alakítjuk.

— *AG, a szabad reakcióentalpia*, a kémiai energiának az a része, amely egyensúlyi körülmények között villamos energiává alakítható. *AG* meghatározza azt a maximális energiát, amelyet mint kapacitást a cellából kisülésnél kivehetünk vagy töltésnél betáplálhatunk.

— *AS, a reakcióentrópia*, jellemzi a reverzibilis hőhatást. Ez a kémiai vagy elektrokémiai reakciónál elkerülhetetlenül fellépő hőcsere (a hőtan 2. törvénye).

A következő egyenlet írja le a kémiai és a villamos energia kapcsolatát az áttöltési folyamatban [1]:

$$\frac{AG}{n \cdot F} \tag{2}$$

ahol:

n a kicserélt villamos töltések száma (az (1) egyenletben: 2)

F FARADAY, szám, *F* = 96,485 As,

n *F* az a töltésmennyiség, amely kicserélésre kerül,

(1 $F = 26,802 \text{ Ah}$; 2 $F = 53,604 \text{ Ah}$) (elektrokémiai egyenérték),

i /o a cella egyensúlyi, ül. nyugalmi feszültsége,

$n \cdot F \cdot C/Q$ a termelt villamos energia.

Ilyen egyensúlyi feszültségek pl. az 1. táblázat 6. sorában található különféle rendszerek nyugalmi feszültségei.

A három termodinamikai paraméter közötti fontos kapcsolat:

$$AG = AH - T \Delta S, \text{ vagy } AH - AG = TAS, \quad (3)$$

ahol T hőmérséklet, K

TAS a reverzibilis hőhatás, aminek pozitív és negatív előjele is lehet. Mint elkerülhetetlen hőfejlődés jelentkezik az akkumulátor töltésénél vagy kisülésénél, előjelétől függően, melegedésként vagy lehülésként. Az ólomakkumulátornál, kisütésnél gyenge hűtésként, töltésnél járulékos melegedésként jelentkezik, de olyan csekély mértékben, hogy az áram által okozott melegedés elfedi (vö. pl. [1]).

4. Kinetikai paraméterek

Ha áram folyik át a cellán, a kinetikai paraméterek érvényesülnek, tehát azok a jellemzők, amelyek a reakció lefolyásával függnek össze. Az $S_{ed} \Rightarrow S_{ox} + e^- \rightarrow S_{red} + e^-$ átöltési folyamat a kivett árammennyiség minden ampermásodpercére vonatkozóan $6,24 \cdot 10^{-10}$ -szór (hányados: 1/elemi töltés) kell, hogy végbemenjen, tehát a reakciónak egy meghatározott sebességet el kell érnie. Az áram megzavarja az egyensúlyi állapotot; mivel az átlépési reakciókat egy meghatározott irányba kell kényszeríteni, és ez csak további potenciálkülönbséggel lehetséges (túlfeszültség) (vö. 6. ábra).

A túlfeszültségek irreverzibilis energiaveszteségek (mint $T \cdot \Delta S_{ir}$ is jelölve). Ehhez jönnek még a diffúzió és a migráció transzportjelenség okozta koncentrációkülönbségek, amelyek a Nernst egyenlet szerint szintén túlfeszültséghez vezetnek.

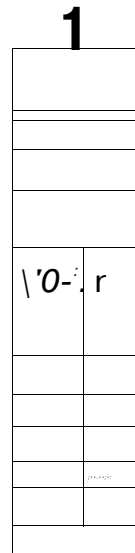
4.1. A kinetikai gátló hatások

A 3. ábra mutatja a reakció vázlatos lefolyását. Az ionok tényleges áttöltődése mint töltésátvitel, csak egy lépés a részreakciók sorában, és csak ott jöhet létre, ahol a reakciópartner és az elektronok rendelkezésre állnak. Ha megfelelő kiegyenlítés nem jönne létre a transzportfolyamatokkal, a reakció igen hamar leállna, mivel a reakciópartnerek elfogyának, vagy a reakciótermékek gátolnák a további folyamatot.

Példaként a 4. és 5. ábrán látható a reakció lefutása az ólomakkumulátorban és a nikkelt hidroxid elektródákon.

Anikkel/kadmium akkumulátor negatív elektródája, a kadmium elektróda, ennek megfelelő minta szerint reagál, az oldódási mechanizmus szerint. A pozitív elektródánál, a nikkelt hidroxid-elektrodnál, másképp történik a reakció. Itt a nikkelt-ionok a kristályrácsban alakulnak át, ahogyan az 5. ábrán látható.

Az ólomakkumulátorban mindkét elektródánál a reakció az oldódási fázison keresztül történik, ami azt jelenti, hogy kisütésnél az ólom mint kétértékű pozitívan töltött ion (Pb^{2+}) megy az oldatba. Pb^{2+} -ionok a kénsavas elektrolitban csak igen kis mennyiségben fordulhatnak elő, mivel a feloldott ólom döntő többsége azonnal ólom-szulfátot ($PbSO_4$) képez. A SO_4^{2-} -ionok elhasználódása a kisülési folyamatban az ilyen ionok elegendően gyors szállítását követeli meg. A SO_4^{2-} -ionok diffúziós sebessége mint kinetikus paraméter, igen nagy jelentőségű.



Transzportfolyamatok (+ kémiai reakciók)

Adszorpció/deszorpció

Elektronátmenet (átlépési reakciók)

$S(N) \cdot \% + S(N) + n ar$

Adszorpció/deszorpció

Transzportfolyamatok (+ kémiai reakciók)

3. ábra. Az elektródareakciók lefolyása

Az átalakulásra, pl. $S(N)_d \Rightarrow S(N)_m + n \cdot e^-$, gyakran csak akkor kerül sor, ha az érintett ionok egy speciális adszorpciós állapotot elértek. Ilyenkor az adszorpciós és a deszorpciós folyamatok játszanak szerepet.

A transzportfolyamatok sebessége döntő lehet a reakció lefolyására, mivel a leglassabb részfolyamat határozza meg az egész reakciósorozat lefolyásának a sebességét.

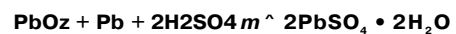
A tényleges transzportfolyamat mellett az átalakulást kémiai reakciók is megelőzhetik vagy követhetik.

Negatív elektróda

Pozitív elektróda

PbO_2

Ólomakkumulátor: kisütési és töltési reakciók lefutása

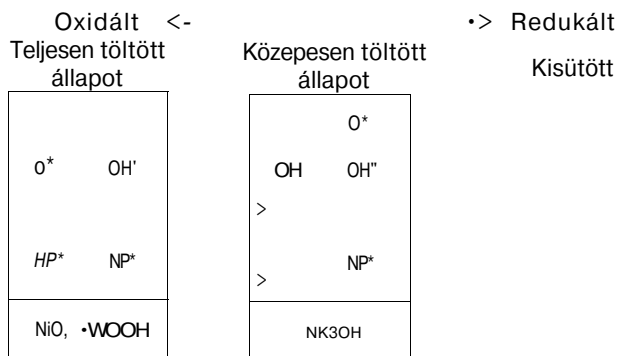


4. ábra. A töltési és kisütési reakciók lefolyása ólomakkumulátornál

Mindkét elektródánál a reakcióban részt vevő anyagok oldatba mennek, majd mint új kötések kicsapódnak. Töltött vagy kisütött Ah-ként összesen kb. 8 g anyag megy oldatba, majd csapódik ki ismét.

A transzportfolyamatoknak még nagyobb hatásuk van töltés során. Az átlépési reakciók csak ott zajlanak le, ahol elektronok is rendelkezésre állnak. Ez a villamosán nem vezető ólom-szulfát-felületen ($PbSO_4$) nem lehetséges. Ezért a tényleges töltési reakció előtt az ólom-szulfátnak fel kell oldódnia, és a Pb^{2+} -ionoknak a szabad elektródafelületre kell diffundálniuk, ahogyan ezt a 4. ábrán a nyilak mutatják.

A pozitív elektródánál hasonló reakciók zajlanak le, a Pb^{2+} -ionok oldatba mennek, és ólom-szulfátot képeznek. Mint ahogy a 4. ábra mutatja, a folyamat kissé komplexebb, mint a negatív



5. ábra. Anikkdhidroxid elektróda töltési és kisülési folyamatói
A nikkel-ionok a kristályrácsban alakulnak át.
A kristály villamos semleges égének fenntartása miatt megfelelő számú / H^+ -ionnak (proton) kell diffúzióval bevándorolnia, ill. kilépnie.

elektródánál, mivel kisülésnél víz keletkezik, töltésnél pedig elhasználódik.

Nikkel/kadmium akkumulátor negatív elektródája, a kadmium elektróda, ennek megfelelő minta szerint reagál, az oldódási mechanizmus szerint. A pozitív elektródánál, a nikkel-hidroxid-elektrodnál, másképp történik a reakció. Itt a nikkel-ionok a kristályrácsban alakulnak át, ahogyan az 5. ábrán látható.

Azért, hogy az elektródanyag villamos semlegessége megmaradjon (a tértöltések ellenkező esetben rögtön megszüntetnék a folyamatot), a redukció alatt annyi protonnak (H^+ -ionnak) kell a kristályba bevándorolnia, amennyi negatív töltés érkezett. A töltés folyamán ezek a protonok ismét elhagyják a kristályrácsot. A ifMonok transzportsebessége a döntő kinetikai paraméter ennél az elektródánál. Az aktív anyagnak igen nagy felülettel kell rendelkeznie (20–60 m²/g), mivel a protonok korlátozott behatolási mélysége a reakció idő előtti leállását okozná.

Ennek a reakciólefutásnak a következménye, hogy a nikkel-hidroxid-elektrodnál nincs pontosan definiált „kisütött” és „feltöltött” állapot, mint az ólomakkumulátornál a PbO₂, ill. Pb és PbSO₄ állapotok, itt a töltési állapot (= oxidációs fok) jelentősebb mértékben tetszőlegesen eltolódhat. Hogy melyik töltési állapot alakul ki, az az elektródák potenciáljától függ. A teljes feltöltést csak relatív magas potenciálnál érthetjük el, és részben ismét veszendőbe megy, ha az elektródákat alacsonyabb potenciállal (cseptöltés) töltjük tovább.

A gyakorlati felhasználásnál ennek, mindenekelőtt a szünetmentes energiaellátó berendezések akkumulátorainál, fontos következményei vannak:

- A nikkel/kadmium-akkumulátorok teljes feltöltése csak megfelelően nagy cellafeszültséggel érhető el, a cseptöltéssel nem.
- A cseptöltéses üzemben a nikkel/kadmium akkumulátor kapacitásának egy részét (10%-tól 20%-ig) lassan elveszti. A teljes kapacitás megtartásához, ill. visszaállításához kiegyenlítő töltések szükségesek, vagy az akkumulátort ennek megfelelően túl kell méretezni (kb. 30%-kal).

Az ólomakkumulátor ezzel szemben teljesen feltöltött állapotban marad, mielőtt a feszültsége a nyugalmi feszültség fölé emelkedne, és kisebb töltőfeszültség, pl. cseptöltés, mellett is elérhető a teljesen feltöltött állapot. Ez nagyon kedvező feltétel az ún. *standby* alkalmazás esetén.

4.2. A kinetikai paraméterek hatása

A 6. ábra szemlélteti a kinetikai paraméterek hatását, példaként az ólomakkumulátor kisülési görbéjén.

2,1

Nyugalmi feszültség, melyet a sav koncentráció határoz meg

50 100 150 200 250 300 350 400 450
Kivett árammennyiség, Ah

6. ábra. Ólomakkumulátor kisülési görbéje
Hajtás célú akkumulátor páncelelektroddával (5 PzS 350);
névleges kapacitás (5 h) 350 Ah.

A szaggatott görbe az egyensúlyi feszültség csökkentését mutatja, amit kisülés közbeni savfogyás okoz az (1) egyenlet szerint. Ez megfelel az egyensúlyi állapotnak.

Ha nem léteznének kinetikai gátlások, akkor a 6. ábrán minden terhelésnél az eredmény a szaggatott görbe lenne, amelyik az egyensúlyi viselkedést tükrözi. Valóságban a növekvő terheléssel növekvő feszültség letörések lépnek fel, amelyeket részben az ohmikus ellenállások, részben a kinetikai gátló hatások által keltett feszültségkülönbségek (túlfeszültségek) okoznak. Felismerhető a görbék rövidülése is, azaz a növekvő terheléssel csökken a kivethető áram, mivel a reakció lefutását a transzportfolyamatok akadályozzák, fedőréteggépződés kezdődik el, vagy a reakciópartnerek nem elég gyorsan érik el az elektróda felületét.

5. Kiválasztási szempontok a lehetséges akkumulátorrendszerekhez

Gyakran felteszik azt a kérdést, hogy léteznek-e, jobb" elektrokémiai tárolórendszerek, mivel a folyékony tüzelőanyagokkal összehasonlítva — amelyek kb. 10 000 Wh-t tárolnak kg-ként — az ólomakkumulátor fajlagos energiája kb. 30 Wh/kg, ami igen kicsi. Mivel az ólomakkumulátornak van a legnagyobb jelentősége mint elektrokémiai energiatároló rendszernek, világossá teszi, hogy új rendszerek esetén a kiválasztási lehetőségek igen korlátozottak.

A 7. ábra azoknak a kémiai elemeknek a kombinációit mutatja, amelyek termodinamikai szempontból különösen nagy teljesítményű akkumulátorrendszerek lennének, ha mint akkumulátorok megépíthetők lennének. A következőkben megemlítenk néhány határfeltételt, amelyek a kiválasztást korlátozzák. Végül az 1. táblázatban láthatjuk a már létező, és a fejlesztés-

ben lévő akkumulátorrendszerek összefoglalt adatait, azt, hogy napjainkban milyen lehetőségek vannak az elektrokémiai energiatárolásban, és közben világossá válik, mennyire korlátozottak ezek a lehetőségek.

5.1. Termodinamikai paraméterek alapján történő kiválasztás

Az „ideális” nagy tárolóképeségű elektrokémiai tárolórendszer kiválasztásánál a termodinamikai jellemzők alapján a következő kiválasztási feltételek adódnak:

– A reakciópartnerek kémiai kötési energiája, azaz kémiai affinitása a *AG* értéke miatt lehetőleg nagy legyen, hogy nagy cellafeszültség álljon rendelkezésre.

– Ha a fajlagos tárolóképeségnek (Wh/kg) nagyok kell lennie, akkor a reakciópartnerek kis súlyúak kell, hogy legyenek. Ez azáltal is adódhat, hogy atomonként több elektron kicserélésére van lehetőség.

A 7. ábrán látható mátrix a kémiai elemek olyan kombinációját mutatja, amelyeket ilyen feltételekkel választottunk ki. A legfelső sorban a hidrogén és a könnyű fémek találhatóak, mint negatív elektródák [a 2. ábrán *S(N)*], a bal oszlopban, mint pozitív elektródák [a 2. ábrán *S(P)*] halogének találhatóak, amelyek nagy affinitással rendelkeznek az első sorban található elemekhez.

^•s^Negatív pozitívN.	Hí	Ü	Na	Mg
Fi	4100 13.06 VI	6270 16.07 VI	35 88 15.62V)	4690 (5.45V!
	1000 (1.36 V (2520 1 3.99V 1	1830 13S9V)	1732 (3.08VI
Br ₂	354 M.07VI	1116 13.62V1	941 13.61 VI	755 1259V)

7. ábra. TciiiKidinaimka] adatokból számolt **tárolási képesség** [Wh/kg) néhány (hipotetikus) **elektrodakombinációnál**
Alatla zárójelben ugyanazokból az adatokból **számolt** egyensúlyi feszültségek.

Fluor (F₂) a legkönnyebb halogén elem (mólsúly 38 g, ellentétben az *ólom 207 g-jával*), a lítium (Li) pedig a legkönnyebb alkáli fém (mólsúly 6,9 g). A kettőjük kombinációjából adódna, ha ilyen tárolórendszer **megvalósítható** lenne, a legnagyobb tároló képeségű **elektrokémiai** rendszer 6,3 kWh/kg-mal, és termodinamikai paramétereivel a folyékony tüzelőanyagok nagyságrendjébe esnének, mint pl. a benzin, ami kb. 10 kWh/kg-ol tárol.

A mólsúly hatását a 7. ábra harmadik és negyedik sorának összehasonlítása mutatja. A kémiai **affinitás** értéke a klórral (Cl₂) vagy a brómmal (Br₂) képezett kombinációk esetén hasonló, amit a majdnem azonos nagyságú egyensúlyi feszültségek mutatnak. A Cb és a Br₂ mólsúlya azonban 70,9 és 159,8 g, ezért a Wh/kg érték a brómos kombinációnál csak kb. fele olyan nagy.

5.2. Peremfeltételek: oldhatóság, passzivitás

Ha az elektródareakció oldódási fázison keresztül zajlik, akkor a reakciótermékek oldhatósága fontos szerepet játszik.

Ha pl. a kisütés végterméke oldható, akkor a kisülés folyamán az elektróda feloldódik és elveszti szerkezetét. Ez problémához vezet a feltöltésnél, mert a kiválás (pl. a fémmé) ott fog megtörténni, ahol legnagyobb a koncentrációja, azaz általában a gravitáció miatt az elektróda alsó részén, ahogy azt a 8. ábra felső sora vázlatosan mutatja.

Kiindulási állapot	Kisütési reakció	Kisütés után	Újratöltés után
	A reakciótermék oldatba megy	1 Az elektróda f nagyfokú oldódása M	/ \ A külső alak / \ teljes meg- / \ változása
1	A reakciótermék egy sűrű és villamos szigetelő fedőréteget képez (passzív réteg)	1 További kisütés és újratöltés nem lehetséges	1 Elektróda passzívává marad

8. ábra. A reakciótermékek oldulási órájának hűtése

Példa oldható elektródához a cink elektróda, amit ezen okokból csak olyan akkumulátorhoz használnak fel, amelyei nem, vagy csak igen korlátozott számban töltenek fel újra. A cink/bróm akkumulátornál (1. táblázat 7. oszlopa és 13. ábra) ez a probléma nem lép fel, mert a cink a relatív gyorsan áramló oldatból kiválik, ezért a gravitációnak nincs jelentősége. A cink/levegő akkumulátornál (1. táblázat 8. oszlopa) a cinket mint primerelektrodát használják, azaz nem töltik fel az akkumulátorban.

A lítium mint szilárd fém hasonló problémát okoz. A „LAIS”-akkumulátorban (1. táblázat 6. oszlopa) a nagy üzemi hőmérséklet miatt folyékony állapotban van, így a kérdés nem érdekes. A Li-C/Mn₂O₄-akkumulátorban (1. táblázat 9. oszlopa) töltésnél nem fém lítium kerül beépítésre, hanem a lítium-ionokat grafitban raktározzák el, amely a töltésnél és a kisülésnél megőrzi szerkezetét, és így ciklusálló lesz az elektróda (14. ábra).

A reakciótermék csekély oldása esetén az elektróda felületén fedőréteg keletkezik, mivel a koncentráció gyorsan túllépi az oldhatósági határt. Szélsőséges esetben, ha ez a réteg nagyon **tömör**, és nem vezeti a villamos áramot, teljesen leállhat az elektródareakció. Az elektróda passzíválódott, ahogyan az a 8. ábra alsó sorában látható. Ilyen rétegeket használnak a felületek korrózió elleni védelmére (pl. eloxál, mint az alumínium oxidrétege). Az **elektróda** ilyen passzíválása az elektrokémiai reakció végét jelenti.

Az ólomakkumulátor kisütésénél **mindkét** elektródán ólom-szulfát (PbSO₄) keletkezik, amely csak csekély mértékben oldható a 10⁻³ g/l koncentráció esetén. Mindkét elektródánál passzíválódási jelenségek lépnek fel, ha igen nagy felületi nem állna rendelkezésre a **nagyporozitású** aktív anyag (ólom-oxidnál = 5 m²/g, „aktív” ólomnál = 0,5 m²/g). Csekély oldódása **miatt az ólom-szulfát** kiválása lényegében az **elektróda pórusai** -

ban zajlik le, amelynek külső formája ezért csak kis mértékben változik az áttöltődésnél. Ismételt áttöltésnél már szükség van a szeparátor támasztó funkciójára, hogy az elektródát a „formában” tartasuk.

A pozitív rácson ólomdioxidból (PbO₂) keletkező passzív réteg megvédi az alatta fekvő ólmot a gyors korróziótól, vezeti az elektronokat, és így nem akadályozza az elektrokémiai reakciót.

5.3. Nemkívánatos mellékreakciók

Az elektrokémiai reakciók végbemennek, amint azokat a termodinamikai paraméterek lehetővé teszik. Ha például az egyik elektróda potenciálja magasabb, mint az elektródában lévő egyik fém egyensúlyi potenciálja, akkor nem lehet megakadályozni a fém feloldódását, hacsak a folyamat passzív réteg keletkezése miatt le nem áll, ahogy a 8. ábra mutatja.

Nemkívánatos mellékreakciók a legtöbb elektrokémiai energiatárolónál gondot okoznak, mivel a cellában levő anyagok, vagy a beható levegő is reagál a rendszerrel, és zavaró hatások léphetnek fel. Ha az ilyen zavaró hatásokat nem lehet kizárni, akkor a sebességüknek kell olyan kicsinek lenni, hogy normális üzemi körülmények között elhanyagolhatók legyenek, és ne befolyásolják az akkumulátor funkcióját.

Két példa ilyen mellékreakcióra az ólomakkumulátorban a rácskorrozó és a vízbontás. Egyik sem szüntethető meg, de a rácskorrozó és a hidrogénfejlődés az ötvözetek kiválasztásával, és megfelelő töltési folyamattal alacsony szinten tartható. A szeleppel zárt kivételnek az oxigén fejlődését a belső oxigén-körfolyamattal szüntetik meg, összekapcsolva persze bizonyos korlátozásokkal.

6. Létező és új akkumulátorrendszerek

Az akkumulátorrendszereket az I. táblázatban négy részre osztottuk. A „Hagyományos akkumulátorok” az ólomakkumulátor, a nikkel/kadmium- és a nikkel/fém-hidrid-akkumulátor. A „Különleges rendszerek” (7. és 8. oszlop) eltérnek a 2. ábra szerinti „klasszikus” építési módtól, hiszen bennük az aktív anyagot az elektródán kívül helyezik el, vagy kisüléshez kívülről vezetik hozzá. A „Nagy hőmérsékletű akkumulátorok” (4-től 6-ig terjedő oszlopok) megfelelnek a 2. ábra szerinti felépítésnek, de 300–400 °C-os üzemi hőmérsékleten működnek. Az „Új” a lítium-ion rendszer, amelyen napjainkban világszerte nagy intenzitással dolgoznak.

Az 1. táblázat az mutatja, hogy az összes rendszernél az elméleti érték (termodinamikai érték), és a gyakorlatban elért érték (7. sor) között jelentős eltérés van, mivel az akkumulátor mint műszaki termék már viszonylag messze esik a reakció-egyenletektől, amelyekből a termodinamikai teljesítményadatok származnak. Ez a diszkrépancia különösen nagy a nagy hőmérsékletű akkumulátoroknál, mivel az akkumulátor szokásos építőelemein kívül, még a termikus szigetelés és a hőmérséklet-szabályozó egység is megjelenik addicionális egységként.

6.1. Hagományos rendszerek

Az ólom/savas- vagy ólomakkumulátorokat és a nikkel/kadmium-akkumulátorokat (1. táblázat 1. és 2. oszlopa) több, mint 100 éve használják műszaki terméként, és most is a legfontosabb tölthető akkumulátorok.

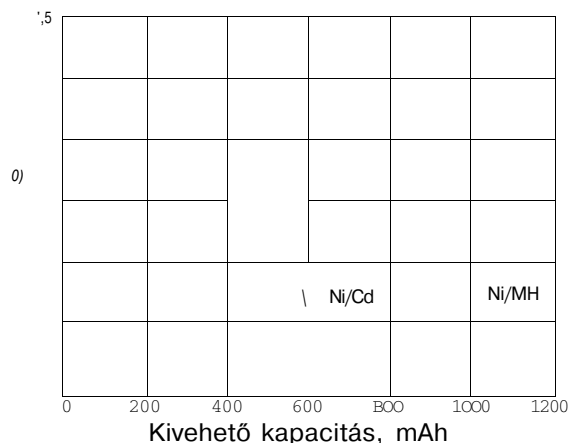
A nikkel/fém-hidrid- vagy nikkel/hidrid-akkumulátorok (1. táblázat 3. oszlopa) a kadmium helyett hidrogént használnak a negatív elektródában, amit speciális ötvözetben abszorbeálnak, amely több gázt képes felvenni, mint amennyit azonos térfogatban folyékony állapotban tárolni lehetne. A negatív elektróda tárolja a hidrogént, és a felülete egyben katalizálja az átalakulást:



Ilyen fajta tárolókat nikkel/titán-alapon fejlesztettek ki belsőégésű motoros járművek számára. Akkumulátorokban általában komplex ötvözeteket alkalmaznak, amelyek LaNi₅ alapötvozetben nyugszanak (AB₅ ötvözetként jelölve) ahol a lanán (La) helyett ritka földfém keveréket használnak, és részben kobalttal helyettesítik a nikkelt (Ni). Különleges gyártási eljárások szükségesek.

A nikkel/fém-hidrid akkumulátorokai azért fejlesztették ki, hogy kiküszöböljék a kadmiumot, mivel a kis akkumulátorok ellenőrizetlen megsemmisítése nem kerülhető el, és a kadmium (amely toxikus anyag), pl. a házi szemét elégetésével nem kívánt módon szétszóródhat.

A nikkel/fém-hidrid akkumulátor a gáztömör nikkel/kadmium akkumulátor konkurenciájaként gyorsan stabil piaci részesedést szerzett, mivel fajlagos energiája lübb, mint az azonos nikkel/kadmium akkumulátorénak, ahogy azt a 9. ábra mutatja:



9. ábra. Azonos nagyságú nikkel/fém-hidrid- (Ni/MH) és nikkel/kadmium akkumulátor kisütési feszültségének és kivehető kapacitásának összehasonlítása (12)

A kisülés feszültség és a töltési viselkedés annyira hasonló, hogy a két rendszer akkumulátorai kölcsönösen kicserélhetők egymásra.

6.2. Nagy hőmérsékletű rendszerek

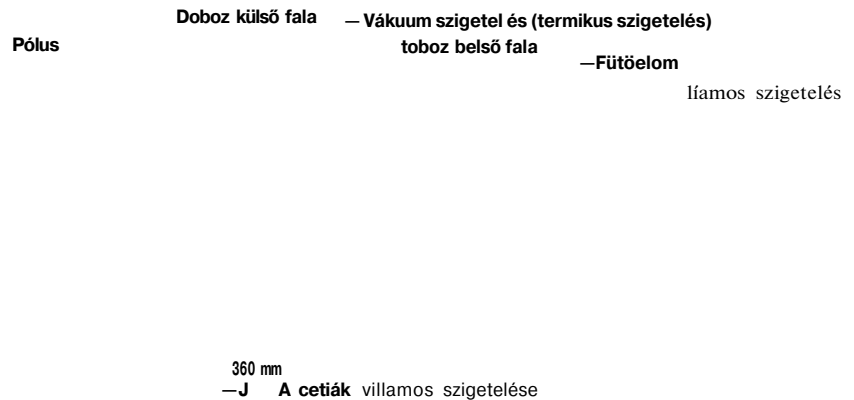
Könnyű elemeket, mint nátrium és lítium, amelyek termodinamikai paramétereik miatt ideális elektródaanyagok (7. ábra), nem lehet vizes elektrolittal kombinálni, mivel az alkáli fémek azonnal hevesen reakcióba lépnek a vízzel. Vízmentes elektrolitot kell használni. Lehet szerves oldószereket használni, azzal a hátránnyal, hogy nagy az ellenállásuk, amit a lítium-ion akkumulátornál vékony elektródákkal és kisebb elektódatárolással kompenzálnak. Szerves elektrolitot használnak a lítium-elektrodás primerakkumulátoroknál, amelyeket relatív kis töltőárammal terhelnek. Alternatívaként szóba jöhetnek szilárd

testek vagy sóoldadékok, de ezeknek nagy üzemi hőmérsékletre van szükségük, mert különben kicsi a vezetőképességük. Ez érvényes az 1. táblázat 4., 5. és 6. oszlopában található rendszerekre, a *nátrium/kén-* (Na/S-), a *nátrium/nikkelklorid-* (Na/NiCl₂-) és a *lítium/vasszulfid-akkumulátorra*, amelyek 300 °C, vagy ezt meghaladó hőmérsékleten üzemelnek.

A nátrium/kén és a nátrium/nikkelklorid akkumulátorok szilárd elektrolitot használnak, amely egyben a szeparátor szerepét is ellátja az elektródák között. Ez alumíniumoxid, amely az oxidrétegen áthatolni képes, és ezáltal nagy hőmérsékleten kielégítő vezetőképességet biztosító nátrium-ion okát (Na⁺) tartalmaz. A nagy üzemi hőmérséklet miatt nagy költségeket okoz a termikus szigetelés, és az akkumulátor megfelelő hőmérséklettartása. Az üzem közben (elkerülhetetlenül) keletkező veszteségi hő az akkumulátor hőmérsékletének szabályozására használják, üzemszünetben ugyanis az akkumulátort járulékosan fűteni kell. Ezeknek az akkumulátoroknak a hővesztesége csekély a kitűnő termikus szigetelés következtében: szobahőmérsékleten az üzemi hőmérséklet fenntartásához 10–20 kW/h energia-tartalmú akkumulátornál csak 100–200 W fűtési teljesítmény szükséges.

A nátrium/kén akkumulátor műszaki fejlesztését a 70-es évek közepén az amerikai Ford kezdte el, válaszul az első olajválságra, hogy olyan tárolóval rendelkezzen a villamos járművek részére, amely nagyobb hatótávolságot tesz lehetővé. Európában még a 70-es években a Chloride (Angliában) és a BBC (Németországban) kezdte meg a fejlesztést nagy intenzitással (az ABB, korábban BBC, 1994-ben leállította a fejlesztést). Az akkumulátor azonos cellákból felépített párhuzamos ágakból áll, a cellák 40 Ah [3], ill. 10 Ah [4] kapacitásúak.

A 10. ábrán nátrium/kén cella felépítése látható. A szeparátor p-aluminát, amely a mázatlan kerámiához hasonlít, cylinderformájú pohár alakja van, és a belső részében található az — üzemi hőmérsékleten folyékony — nátrium. A szeparátor külső terében, a kerámia-cilinder és a külső fémköpeny között van a pozitív elektróda aktív anyaga, a — szintén folyékony — kén, a vezetést segítő szénfilccel. A pozitív pólus a biztonsági csövön keresztül van a belső térrel összekötve, míg a külső edény a negatív pólus.



II. ábra. Nátrium/nikkelklorid akkumulátor termikus szigeteléssel
Energiatartalom 30 kWh (AEG, vö. [6], 155 o.).
A nátrium/kén akkumulátor felépítése hasonló.

Kisütésnél a nátrium ionok (Na⁺) átvándorolnak a belső térből a külsőbe, és nátrium/kén kötést hoznak létre, amelyek a kisütés előrehaladtával egyre több nátriumot tartalmaznak (Na₂S₅ => Na₂S₄ => Na₂S₃). Ezzel összhangban a nyugalmi feszültség is csökken kis mértékben (2,08 1,97 1,81 V), de ez nem vezet lépcsőkhöz a kisütési görbében (72. ábra).

A nátrium/nikkelklorid akkumulátorban [6] [11. ábra], hasonlóan a nátrium/kén akkumulátorhoz, (3-aluminátból készült cylinderformájú poharat használnak mint szeparátort, és szilárd elektrolitot a cella ezért hasonlít a nátrium/kén akkumulátorra). Az újabb típusoknál a külső burkolatot — a jobb helykihasználás miatt — prizma alakúra készítik. A negatív elektróda anyaga szintén nátrium, amelyet itt a külső térben helyeznek el, tehát a ház képezi a nátrium/nikkelklorid akkumulátor negatív pólusát. A pozitív elektróda aktív anyaga a szeparátor belsejében található (feltöltött állapotban nikkelklorid (NiCl₂), kisütött állapotban nikkel (Ni)). Mindkét anyag az üzemi hőmérsékleten szilárd állapotú. A pozitív elektróda és a szeparátor között vezető összeköttetés létrehozására olvasztott nátrium-alumíniumkloridot (NaAlCl₄) használnak, mint közbelső elektrolitot. Kisütésnél a Na⁺-ionok a szeparátoron keresztül vándorolnak a első térbe. A reakcióegyenlet:



Ezen az akkumulátorrendszeren is intenzíven dolgoznak a 70-es évek óta. „Zebra-akkumulátor” név alatt ismert, dél-afrikai laboratóriumok projektnevezése alapján.

A nátrium/kén és a nátrium/nikkelklorid akkumulátorban nincsenek mellékreakciók, mint a vizes elektrolitú akkumulátorokban a hidrogén- és az oxigénfejlődés. Az Ah-hatásfoka ezeknek az akkumulátoroknak ezért 100%, azaz árammennyi-

	Tömítés
Nátrium	
Kenés szénfröcc	Edény, egyben áramkivezető (pozitív pólus)
Nemesacél biztonsági kamra, egyben áramki vezető (negatív pólus)	
Szárított elektrolit (Alumínát)	Nyílása % nátrium kilépéséhez

W. ábr. Egy nátrium/kén cella felépítése (ABB, vö. [5], 165 u.)

A nemes acélból készült biztonsági csövön alul található nyílást úgy méretezték, hogy a nátrium elegendően gyorsan távozzon a belső térből a kerámia szeparátor törésekor (belső rövidzár), a nátrium kiáramlása viszont annyira korlátozott, hogy a keletkező hő normális úton el lehet vezetni (nincs termikus megfűtés).

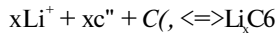
Az akkumulátor teljesítményadatai igen kedvezők, mivel a pozitív elektróda aktív anyagának a súlya nem jelentkezik /legalábbis feltöltött állapotban), és az adatokat legtöbbször erre vonatkoztatják. Kisütött állapotban az akkumulátor súlya a felvett oxigén súlyával nehezebb. A negatív elektródának mint „fogyó elektródának”, szüksége van támasztóelemre és néhány passzív komponensre is.

Az elv nem új, hasonló akkumulátorokat (pl. negatív elektródaaként alumíniumot) katonai területen már átmenetileg használtak. Arra, hogy a most kidolgozott koncepció mennyire válik be a gyakorlatban, még várni kell.

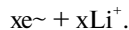
6.4. A lítium-ion-akkumulátor, egy ígéretes új rendszer

A tölthető lítium-akkumulátorok fejlesztését a 70-es évek végén az a felfedezés tette lehetővé, hogy néhány oxid kis térfogatváltozás mellett képes a rétegrácsában lítium-ionokat raktározni anélkül, hogy valódi kémiai kötés jönne létre. Ilyen „raktározási”- vagy „Intercalations”-kötések pl. $LiXC_2O_5$; Li_xMnO_2 , Li_xCrO_2 (összefoglalva pl. [11]-ben). Ilyen pozitív elektródás akkumulátorok napjainkban már forgalomban vannak, de majdnem kizárólag csak mint primer elemek [12]. Elektrolitként szerves oldószert használnak, vezetőképes javító adalékkal.

A lítium-akkumulátorokat csak korlátozottan lehetett feltölteni addig, ameddig negatív elektródaaként fém lítiumot kellett használni, ami a H. ábrán látható ion (Li^+) oldódási problémát vont maga után. Döntő felfedezés volt a tölthető lítium-elektrodás akkumulátornál, hogy a lítium bizonyos szénvegyületekkel vagy grafitfajtákkal beágyazódási vagy Intercalation-kötéseket képez [13]. A lítium-ionok (Li) felvétele és leadása:

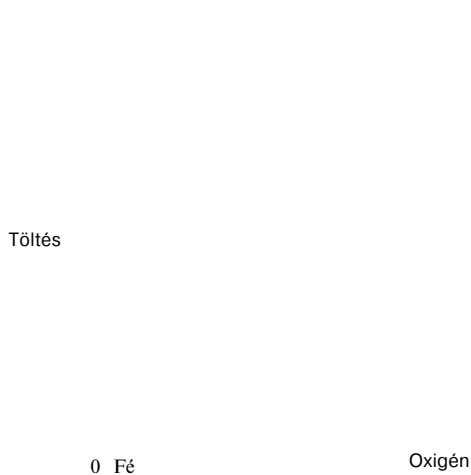


megfelel a lítiumnak a lent említett oxidokba történő beágyazódásának. Pl. mangánoxid esetén:



Újratölthető Li-C/fémoxid rendszer

Kisütés



14. ábr. Ujraliíllhető lítium-ion akkumulátor

A pozitív elektródánál a Li^+ -ionok egy oxid (Spinell-típus) rétegrácsában raktározódnak, a negatív elektródánál pedig speciális grafitban vagy szénvegyületben.

Ha ilyen elektródákat töltünk és kisütünk, akkor csak a lítium-ionokat építjük be és ki, a „gazdarács”, és így az elektródaanyag szerkezete lényegében változatlan marad. A 14. ábrán látható sematikusan a folyamat. A lítium-ionok felvételekor kis térfogatnövekedés lép fel (< 10%).

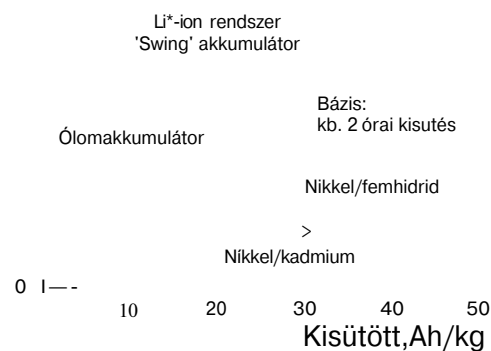
Csak a lítium-ionok ingáznak bizonyos tekintetben töltésnél a negatív, és kisütésnél a pozitív elektródához. Ez az oka a „Swing-akkumulátor” névnek, amellyel ezt a rendszert elnevezték [14]. Nemzetközileg a „lítium-ion akkumulátor” név terjedt el.

A rendszer — ahogyan azt az 1. táblázat 9. oszlopa mutatja —, nagy teljesítőképességű, és nagy előnye, hogy szobahőmérsékleten üzemel. Az intenzív fejlesztés néhány év alatt ígéretes eredményekhez vezetett (vö. pl. [15]). Ha az elvárások teljesülnek, és a gyakorlatban használható akkumulátort sikerül kifejleszteni, akkor ez a rendszer igen nagy jelentőségre fog szert tenni.

7. A rendszerek összehasonlítása

Befejezésül két kép segítségével hasonlítsuk össze a különböző akkumulátorrendszereket. Ilyen összehasonlítási lehetőségek azonban mindig korlátozottak. Az akkumulátorok hosszú fejlesztések eredményei, és így minden akkumulátort bizonyos felhasználási területhez hoznak létre. Az előnyeik és hátrányaik miatt a különböző rendszereket gyakran különböző méretekben alkalmazzák. Az összehasonlításoknál ezért a paramétereket gyakran más vonatkoztatási méretekre kell átszámítani. Ez behatárolja az összehasonlíthatóságot. További hiányossága az ilyen összehasonlításoknak, hogy csak egy paramétert lehet összehasonlítani, amelynek némely felhasználásnál talán alárendelt szerepe van.

Cellafeszültség, V



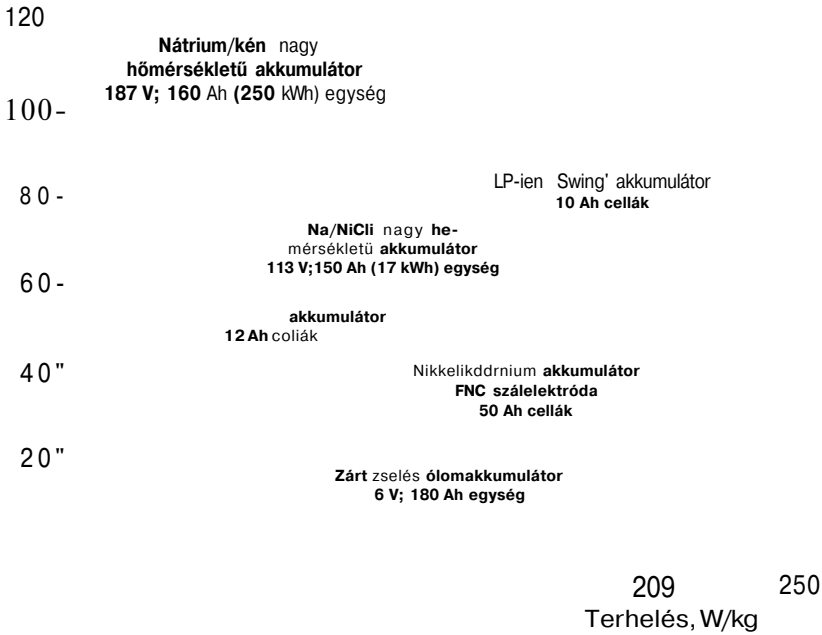
15. ábra. A különböző rendszerek kisülési görbéi a kivehető Ah/kg-ra (akkumulátortömegre) vonatkoztatva. Az alap kb. 2 órás kisülés, mialatt az ólomakkumulátornál már letörések keletkeznek, míg a Ni/Cd- és Ni/Me-hidrid-akkumulátorok a kis belső ellenállásuk miatt még teljes kapacitásukat adják.

laszámmal érhető el, ezenkívül egyszerűsödik a karbantartás és a felügyelet.

További összehasonlítás a 16. ábrán látható ún. *Ragone diagram*, ahol a kivehető kapacitást a terhelés függvényében ábrázolják. Az összehasonlítást természetesen itt is a szükséges korlátozások figyelembevételével kell kezelni.

A 75. ábrán látható összehasonlítás világossá teszi, hogy a Li-ion akkumulátor nagy fajlagos energiája (Wh/kg) nagy részben a közeli 4 V-os cellafeszültségnek köszönhető. Ez a felhasználás szempontjából előnyös, mivel a kívánt üzemi feszültség összehasonlíthatóan kevesebb cellaszámmal érhető el, ezenkívül egyszerűsödik a karbantartás és a felügyelet.

Fajlagos energia, Wh/kg



10. ábra. „Ragone diagram” a különböző rendszerek összehasonlításához. Alapadatok kb. 5 órai kisülésnél. Források: Li⁺-ion-, nikkel/fémhidrid- és ólomakkumulátor [16], nikkel/kadmium-akkumulátor(FNC)[17]. nátrium/kén- és Na/NiCh-akku mulat or [18]

A 16. ábrán\ látható az a teljesítménynövekedés, amelyet az új rendszerek tesznek lehetővé. Egyébként a teljesítményadat nem az egyedüli, és gyakran nem is a legfontosabb paraméter bizonyos felhasználásoknál. Töltési viselkedés, ciklusállóság olyan jellemzők, amelyeket a 16. ábra nem vesz figyelembe, és nem utolsó sorban, az árnak van nagy szerepe abban, hogy a piac mennyire fogad el egy-egy akkumulátort.

A hagyományos ólomakkumulátorokat — mindenekelőtt az ár miatt — az új rendszerek feltehetőleg nem fogják kiszorítani a szokásos felhasználási területekről. A nikkel/kadmium akkumulátornál más a helyzet, itt már a nikkel/fém-hidrid akkumulátor jelentős piaci részt szerzett a gáztömör nikkel/kadmium akkumulátortól. Ezt részben a kadmium ártalmatlanítási problémája okozza, ahol nem a feldolgozás okoz nehézséget, hanem a kis akkumulátorok használat utáni összegyűjtése. Másik ok: hordozható felhasználásoknál nagyon fontos jellemző a nagy fajlagos energia, amit a szükséges akkumulátorsúly jellemez.

Az új rendszerek talán lehetővé teszik, hogy az elektrokémiai energiátárolókat olyan felhasználási területen is használják, amelyek eddig nem kielégítő eredményre vezettek, pl. helyettesíthető hatótávolságú villamos járművek.

Irodalom

[1] H. Kahlen: Haus der Technik Fachbuchreihe, © Vulkan-Verlag, Essen, 1992, S.93 f
 [2] VÁRTA: Gasdichte Ni/MH-Zellen, Lieferprogramm und Technisches Handbuch (1994). VÁRTA Batterie AG, Daimlerstr. 1, D-7349 Ellwangen/Jagst
 [3] C. H. Dustmwig: „Entwicklungsstand und Einsatzfelder der ABB Hochenergiebatterie” in „Batterien”, herausgegeben von H. Kahlen, Haus der Technik Fachbuchreihe, ©Vulkan-Verlag, Essen. 1992,(1. c. [1]), S.161
 [4] F. H. Klein (RWE): „Ein neues Na/S-System, zugeschnitten auf mobile Anwendungen ind "Batterien., herausgegeben von H. Kahlen, Haus der Technik Fichbuchreihe, © Vulkan-Veiglag, Essen, 1992, (I. c. [1]), S.183

[5] K. Jager (Herausgeber): Geschichte der Elektrotechnik, Bd 13, Gespreicherte Energie, © vde-Verlag, Berlin-Of-fenbach(1994,S.181)
 [6] H. B(>/im."DieNatrium/Metallchlorid-Balterie,eineuene Hochenergiebatterie., in "Batterien.,, herausgegeben von H. Kahlen. Haus der Technik Fachbuchreihe. © Vulkan-Verlag, Essen, 1992,(1. c. [1]), S. 153
 [7] H. Fischer: "Hochenergie Batterien., in H. A. Kiehne (Herausgeber) "Batterien.,, 2 Auflage, © expert verlag, Grafenau, 1980, S. 190
 [8] W. Miller: Performance of a LiAs/FeS Ballery and Cells, 30th Power Sources Symposium, Atlantic City, 1982
 [9] G. Tamazic: Erprobung der Zink-Brom-Batterie, in H. Kahlen (Herausgeber), Batterien, © Vulkán-Verlag, Es-sen, 1992, (I.c. [1]), S. 131 f.
 [10] Electric Fuel Limited: Vortrag im Rahmen "The Second Annual International Zinc Conference.,, ScoHsdale, Ari-zona, Február 1993
 [11] J. Desilvestro and O. Haas: J. Electrochcm. Soc, 137 (1990)5C
 [12] Übersichtliche Zusammenstellung: H. D. Jaksch "Batte-rie Lexikon.,, © Pflaum-Verlag, München, 1993, S.222-315
 [13] F. Beck, T. Boinowitz, U. Tormin: Kohlenstoffhaltige aktive Materialien in wiederaufladbaren Batlerien, in DECHEMA-Monographien, Vol 128, VCH Verlagsgesellschaft, © DECHEMA, Frankfurt 1993, S.287
 [14] VÁRTA Batterie AG: "Neue Konzepte 1991", VÁRTA Batterie AG, Postfach 5 40, 30405 Hannover, S.29
 K. Brandt, R. HerrundD. fingé, „Von Lithium/ellen zum SWING-System, Dechema Monographien Bánd 128, © VCH-Verlagsgesellschaft 1993.S.279
 [15] K. Brandt: Solid State Ionics 69(1994) 173, Historical development of secondary lithium batteries
 [16] K- Brandt, U. Köhler and F. J. Kruger: Advanced Battery Systems, in The Tenth International Seminar on Primary and Secondary Battery Techno-logy an Application, Deerfield Beach, Florida, 1993, <D Florida Educatio-nal Seminars, Inc.
 [17] W. Warthmann: FNC Fibre Technology for Nickel/Cadmium in Various Applications, in The Tenth International Seminar on Primarry and Secondary Battery Technology an Application, Deerfield Beach, Florida, 1993. © Florida Educational Seminars, Inc.
 [18] P. Catchpole, A. Pras.iek and U. Wagner: Neue Batteriesysteme für ElektrostraPenfahrzeuge, Energiewirtschaftliche Tagcsfragen, 43 (1993) S.540

Helyreigazítás

ELEKTROTECHNIKA 5/96. szám 236. oldalán, a Világi-tástechnikai hírek rovatban EMIKA tudósítás első bekezdése helyesen „Magyarországi lámpatestgyártók közül elsők kö-zött az EMIKA Rt szerezte meg az ISO 9001 minősítést,...”

OTIS

OTIS FELVONÓ Kft.
 1033 Budapest, Huszti út 34.
 Tel.: 250-4945, 250-4950
 Fax: 250-4946, 250-4947

A világ egyik legnagyobb felvonógyártó, karbantartó és szervizelő vállalata, az **OTIS Elevátor Company (USA)** tapasztalatait és gyakorlatát felhasználva, vállalkozunk tetszés szerinti igényekhez alkalmazkodó felvonók és mozgólépcsők

- tervezésére, • gyártására, • szerelésére,
- valamint karbantartására és szervizelésére;

átalánydíjas, teljes körű karbantartás,
csökkentett körű karbantartás,
alapkabartartás rendszerben;

a megbízói igényekhez rugalmasan alkalmazkodva, valamennyi felvonó- és mozgólépcsőtípusra, gyártótól függetlenül.