



## Mikor lesz áttörés az energiátárolásban? – Schenek Istvántól a modern akkumulátorgyártásig.

Schenek István tiszteletére 2015. március 5-én került megrendezésre az Energetikai Szakkollégium és a MEE Energetikai Informatika Szakosztályának közös előadása. Schenek István életének és munkásságának rövid ismertetője után, meghívott előadónk, Fülöp Zoltán, az EnerSys Hungária Kft. ügyvezető igazgatója beszélt az alapvető akkumulátor típusokról. Bemutatta a hallgatóságnak az akkumulátorok alkalmazási területeit. Röviden hallhattak működésü elvükről. Komplet összehasonlítást végzett az egyes típusok között, majd kitért korszerű technológiákra, extrém felhasználási területekre, végül említést tett a legújabb kísérletekről, modern fejlesztésekről.

### Schenek István – Élete és munkássága



1. ábra

Schenek István 1830. július 3-án született Esztergomban. Már gyermekkorában érdeklődött a természettudományok iránt, majd a gyógyszerészi pályát választva gyakornok lett. Katonai gyógyszerészként részt vett az 1848-as szabadságharcban. A szabadságharc leverése után tanulmányait a bécsi egyetemen folytatta, ahol 1856-ban doktori oklevelet szerzett. Az egyetemen volt tanársegéd, majd 1859-től a kassai főreáliskolában, 1867-től pedig a keszthelyi Országos Gazdasági Felsőintézetben tanított kémiát. Selmecebányán 1870-től a Bányászati és Erdészet Akadémián a vegytan tanszék tanára volt és 1892-es nyugdíjba vonulásáig az is maradt.

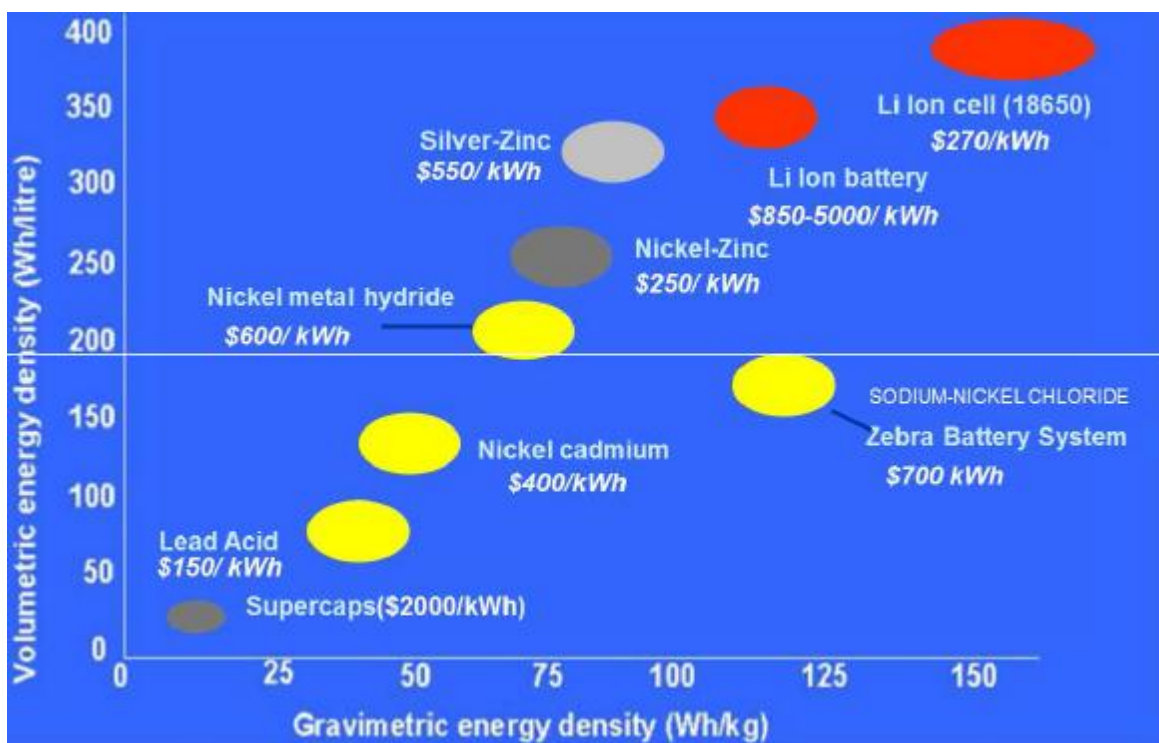
Schenek István nevét az a nagy teljesítményű akkumulátor tette híressé, melyet a selmeci akadémia géptan tanárával, Farbaky Istvánnal talált fel. Schenek és Farbaky tanulmányozták az addig előálított akkumulátor szerkezeteket és tisztázták az akkumulátor működésének elméletét. Az elvi kérdések tisztázása után, sok-sok kísérlet eredményeként sikerült egy jól bevált gyártási módszert, hosszú élettartamú, és kiváló mechanikai kivitelű kidolgozni. Olyan ólomakkumulátort hoztak létre, amely tartósan üzemelt.

Az új akkumulátort először az 1885 évi Budapesti Országos Kiállításon mutatták be, ahol a nagy szenzáció – a Ganz által kiállított transzformátor – mellett is nagy feltűnést keltett!

Az elektromos akkumulátorokról című tanulmányukat a Magyar Tudományos Akadémia Marczibányi-díjjal jutalmazta. Végül Schenek István kémikust a Magyar Tudományos Akadémia Matematikai és Természettudományok Osztálya 1889-ben levelező tagjának választotta.

## Fülöp Zoltán – Modern akkumulátorok

Az energiátárolás fontossága magától értetődővé vált a 21. század embere számára, kinek mindennapjait számos intelligens, mobilis eszközök (laptop, mobiltelefon, gépjármű stb.) használata segíti. Ezen gépek energiaforrásként a legelterjedtebb és legjobban használható megoldás az akkumulátor, mely a töltésszétválasztás elvén működik, vegyi úton képes a villamos energia tárolására. Osztályozható cellakivitel, elektróda kialakítás, rács ötvözet, akkumulátor kivitel, névleges feszültség, töltési karakterisztika alapján. Az akkumulátorok kémhatásukat tekintve lehetnek lúgosak vagy savasak, kialakításukat tekintve zártak vagy nyitottak. Karbantartás igényük szempontjából a karbantartásmentes akkumulátor az, amit nem kell vízzel utántölteni. Csökkentett karbantartás igényűnek nevezzük azokat az akkumulátorokat, amiket hosszú ideig nem szükséges újra vízzel feltölteni. Egyes akkumulátorokat csak szabályozott töltési karakterisztikával lehet tölteni, másokat szabályozatlannal is.



2. ábra: Kémiai áramforrások

Az első akkumulátorok merev lemezszerkezettel rendelkeztek, ezért a Schenek István által készített eszközök bár remekül működtek, hatalmasak voltak. A szállítási és helytakarékossági problémák miatt hosszú távon nem voltak életképesek, további fejlesztések váltak szükségessé a méret csökkentése és a hatásfok növelése érdekében. Később megjelentek a rácselektrodás akkumulátorok, majd a robosztus kialakítású ún. páncélelektrodás kivitelek. A fejlesztések ellenére a méret okozta korlát miatt, megtorpant a kapacitás további növekedése. A nagy tárolókapacitás érdekében, ma nagyméretű akkumulátorokat, párhuzamosan kapcsolt akkumulátorokat használnak, akkumulátortelepeket hoznak létre, melyeknek nagy helyigénye van.

Habár az akkumulátorok folyamatosan fejlődnek, a legmodernebb technológiával, legjobb alapanyagokból gyártott, úgynevezett „szuperkapacitásokat” magas áruk miatt csak katonai alkalmazásokban, illetve az űrkutatásban hasznosítják, ahol nagy energiasűrűségű, jó tűrőképességű, megbízható eszközökre van szükség.

Az akkumulátoroknak három fő alkalmazási területe létezik.

- **Készülék akkumulátorok**
  - mobil eszközök - telefonok, kommunikátorok
  - hordozható számítógépek – laptopok
  - hordozható elektronikai készülékek – fényképezőgép, kamera
  - kéziszerszámok
  
- **Autó akkumulátorok**
  - indító akkumulátorok
  - hibrid autó akkumulátorok
  - elektromos autók akkumulátorai
  
- **Ipari akkumulátorok**
  - helyhez kötött akkumulátorok
  - meghajtó akkumulátorok
  - speciális területek akkumulátorai – katonai, űrkutatási

## Ipari akkumulátorok

Az ipari akkumulátorok életünk számos területén jelen vannak. A mobil, illetve a villamos hálózatok segéd akkumulátortelepek nélkül nem működhetnének. A vegyipar, illetve az adatközpontok szünetmentes energiaellátást szintén akkumulátorokkal oldják meg. Hasznosítják még közlekedési lámpáknál, vészvilágító berendezéseknél, mozgó járműveknél (repülőknél, vonatoknál, hajóknál.)



3. ábra: Alkalmazási területek

Az ipari berendezéseket üzemállapot szempontjából feloszthatjuk stand-by, buffer, ciklus, és hibrid üzemre.

- A „stand-by” üzem esetén a hálózati betáplálás megszűnése után a rendszernek biztosítania kell a megfelelő energiát a kiesés idejére. Hálózati ingadozások hatásának kiküszöbölésére is nagyon jól használható. Felhasználási területei a telekommunikációs, energiaszolgáltatási, vészvilágítási, tűzjelző és riasztó rendszerek.
- A „buffer” üzem akkor használatos segédüzemi állapot, ha a fogyasztónak nagyobb az áramigénye, mint amennyit az egyenirányító leadni képes, ekkor az akkumulátorok azok, amik a hiányzó energiát biztosítani tudják. Például a közlekedésben használatos.
- Ciklikus üzem esetén valamilyen adott ciklusban egy megadott időn keresztül folyamatos feltöltés, majd ugyan annyi ideig történő folyamatos kisütés történik. Anyagmozgatásnál, takarító gépeknél használják.
- Hibrid üzemet főleg megújulóknál alkalmaznak, ezen akkumulátorok képesek a terhelés megváltozásának megfelelően energia felvételére vagy leadására.

Az iparban a három legfontosabb akkumulátor típus az ólom-savas, Ni alapú lúgos, és a Li-ion akkumulátor.

<b>Ólom - sav</b>	<b>NiCd - lúgos</b>	<b>Li-Ion</b>
<p><b>1. Cellakivitel</b>                      - nyitott, folyadék elektrolitú                      - szeleppel zárt, kötött elektrolitú                      VRLA (Gel, AGM)</p> <p><b>2. Elektroda kialakítás</b>                      - nagyfelületű                      - kentlemezes                      - páncélelektrodás                      - rúdelektrodás</p> <p><b>3. Rács ötvözet</b>                      - antimon tartalmú Sb                      - kalcium tartalmú Ca                      - szinólom</p> <p><b>4. Akkumulátor kivitel</b>                      - cellakialakítású                      - blokkos kialakítás</p> <p><b>5. Névleges feszültség</b>                      - 2V/cella</p> <p><b>6. Töltési karakterisztika</b>                      - W, IU, IUa vagy ezek változatai</p>	<p><b>1. Cellakivitel</b>                      - nyitott, folyadék elektrolitú                      a hígított kálium hidroxid (kállúg) kitölti a cellaedényt                      - akár légmentesen zárt, kötött elektrolitú</p> <p><b>2. Elektroda kialakítás</b>                      - táskás kialakítás (pocket plate)                      - szinter elektrodás                      - FNC technológiás – műanyag hordozós                      - PBE elektrodás (plastic bounded electrode)</p> <p><b>3. Rács ötvözet</b>                      - nincs ötvöző anyag</p> <p><b>4. Akkumulátor kivitel</b>                      - elsősorban csak cellakialakítású                      - blokkos kialakítás elvétve</p> <p><b>5. Névleges feszültség</b>                      - 1,2V/cella</p> <p><b>6. Töltési karakterisztika</b>                      - IU</p>	<p><b>1. Cellakivitel</b>                      - kizárólag zárt kialakítás</p> <p><b>2. Elektroda kialakítás</b>                      - sokféle lítium vegyület                      pl. <math>LiCoO_2</math>, <math>LiMn_2O_4</math>, <math>LiFePO_4</math>                      stb.                      - Elektrolit: szerves oldószer</p> <p><b>5. Névleges feszültség</b>                      - 3,2; 3,6 V/cella</p> <p><b>6. Töltési karakterisztika</b>                      - IU</p> 

4. ábra: Hétköznapok ipari akkumulátorai

## Modern akkumulátorok – Li-ion akkumulátorok

A Li-ion (lítiumion) alkalmazások rohamosan terjednek. A készüléktechnikában mára már nagyrészt ilyen akkumulátorokat alkalmaznak, de az iparban még mindig nem tudta kiszorítani az ólom-savas akkumulátorokat. Ennek okaira az energiatároló tulajdonságainak vizsgálata, a biztonságtechnikai okok és az előállítás költségei adnak magyarázatot.

A tárolók 5 féle tulajdonság alapján kellemezhetőek:

### 1. Villamos tulajdonságok

- névleges feszültség
- kapacitás – terhelés és hőmérséklet függő
- zárlati áram
- belső ellenállás

### 2. Mechanikai tulajdonságok

- méret, tömeg
- edényzet kialakítás – tűzálló, gázvezetéses

- kivezető kialakítás – felső kialakítású vagy „front” terminálos – szerelhetőség, ellenőrzés

### **3. Töltés – kisütés – üzemeltetési hőmérséklet**

- töltési karakterisztika, csepp-, gyorsöltési feszültség- és áramkorlát
- töltő áram hullámosság – melegedési problémák
- hőmérséklet kompenzált töltés – elsősorban zárt akkumulátor esetén
- terheléstől függő kisütési végfeszültség (Li-ion esetén biztonsági kérdés)
- biztonságos működési feltételek

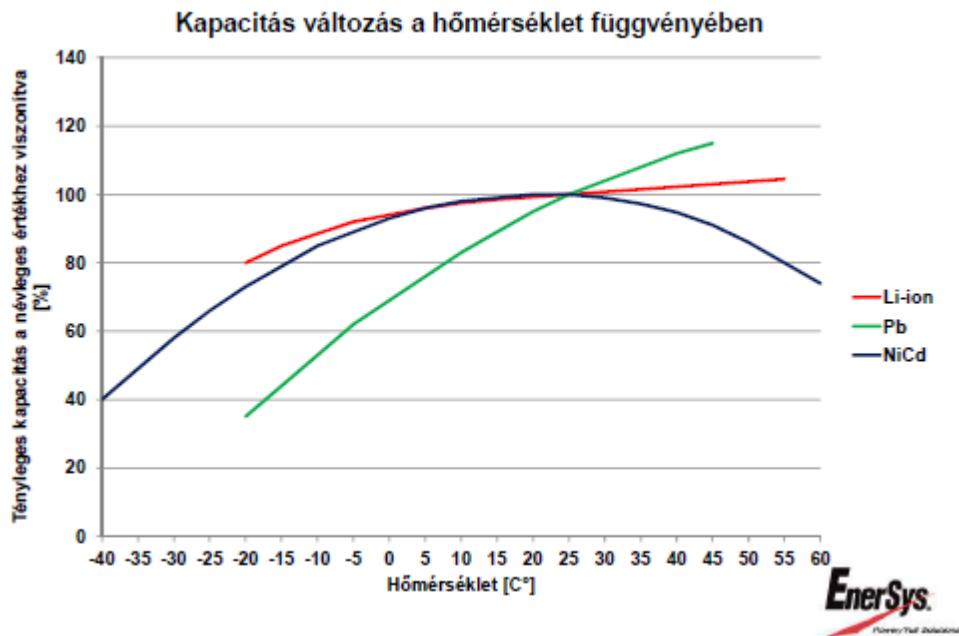
### **4. Karbantartás igény**

- zárt, nyitott – vízutántöltési lehetőség
- csökkentett karbantartás igény, karbantartás mentes

### **5. Élettartam**

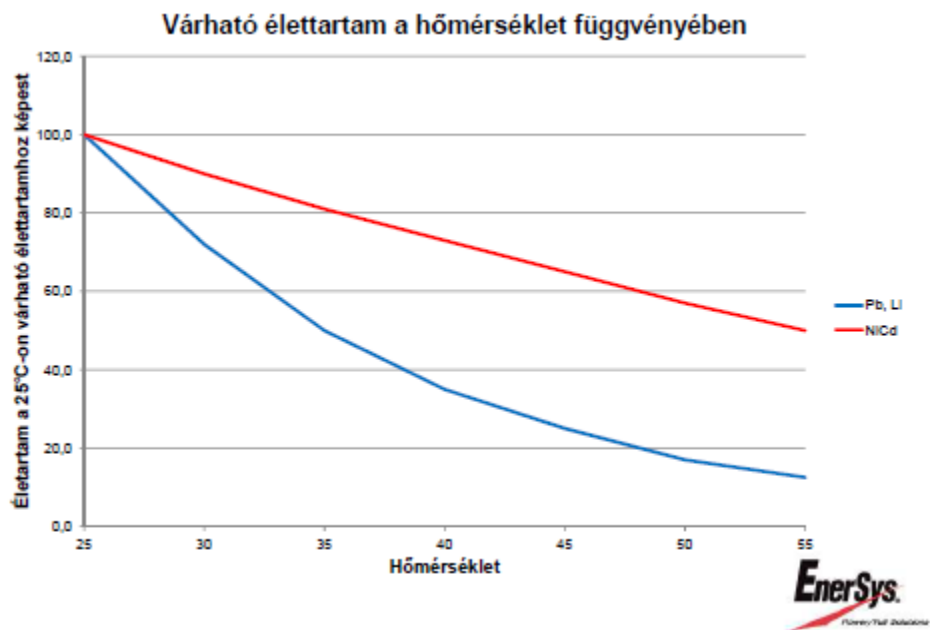
- élettartam években (pl. EuroBat szerinti) / vagy kisütési ciklusszám

A Li-ion család kiemelkedő tulajdonságai közé tartozik a magas energiatárolási képessége, továbbá azon előnyös tulajdonsága, hogy az adott üzemeltetési határok között „össze-vissza” töltve, tetszőleges szintig kisütve, élettartama kevéssé csökken, kapacitásának romlása minimális. Töltése teljes kisütésről akár egy-két óra alatt megoldható, jelentősebb károsodás nélkül. Karbantartást nem igényel, nem is lehetne, mert szerves oldószer az elektrolit. Ezen tulajdonságok miatt a készülék akkumulátorok között egyeduralmukodóvá vált, viszont ára és biztonságtechnikai problémái erősen korlátozzák az ipari akkumulátorként való felhasználhatóságát.

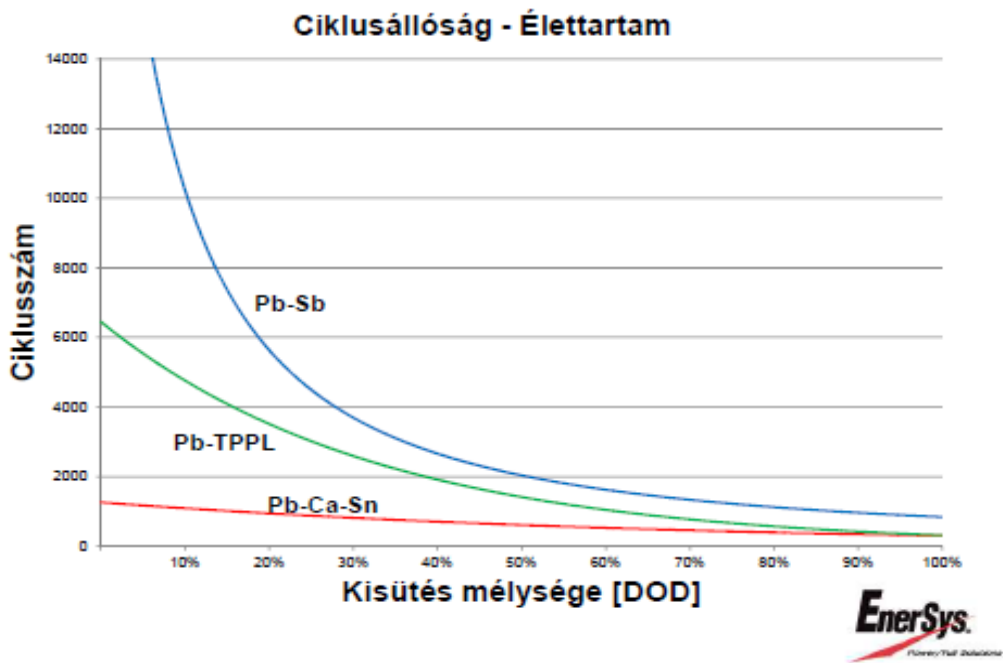


5. ábra: Hőfokfüggés

Előnytelen jellemzője a biztonságra kritikus alkalmazásokban, hogy az elemi lítium, mint fém a természetben nem létező anyag, rendkívül instabil, fémként földi körülmények között azonnal oxidálódik és fokozottan tűzveszélyes. További hátránya, hogy bár kapacitása csekély mértékben érzékeny az üzemeltetési hőmérsékletre, 0°C hőmérséklet alatt nem tölthető, élettartamát a teljes kisütés erőteljesen korlátozza, magas hőterhelés esetén a mai vegyületei instabillá válhatnak, válnak.

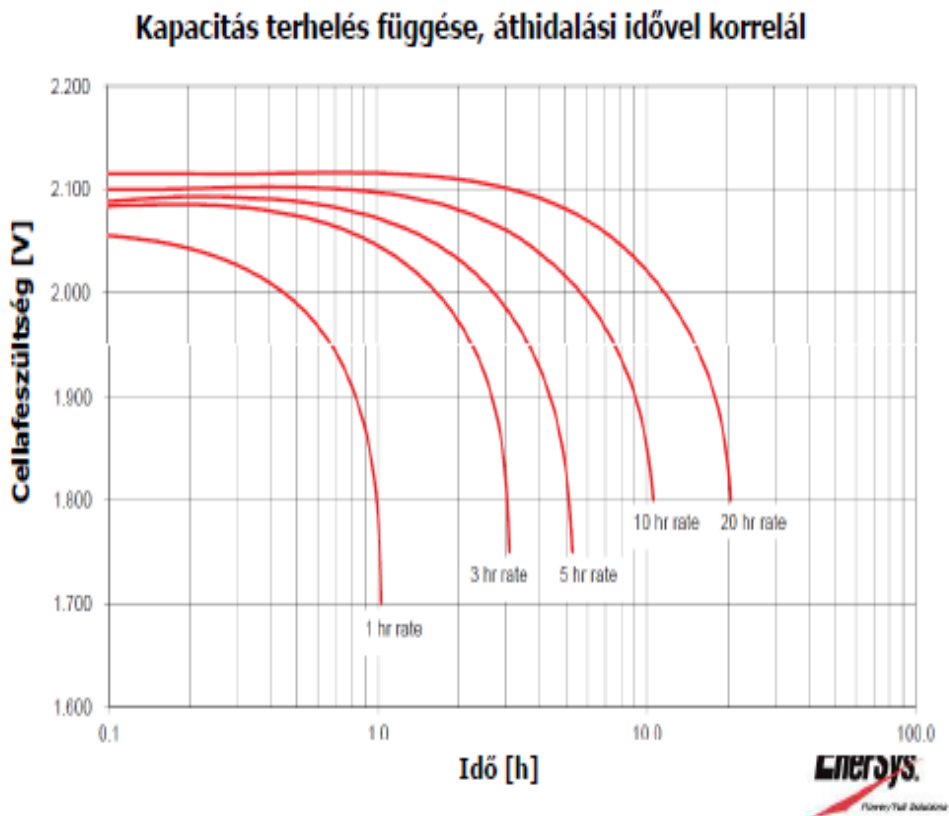


6. ábra: Időtállóság



7. ábra: Ciklusélettartam

A teljes kisütés közelében a Li-ion akkumulátorok belsejében mechanikai repedések jönnek létre, amely erőteljesen rombolja az elektródaszerkezetet. Csak szabályozott töltési karakterisztikával tölthető, minden más töltési mód biztonságtechnikai okokból tiltott.



8. ábra: Kapacitás terhelés függése



Mi kell az áttöréshez?

- **Jobb villamos paraméter(ek), mint a meglévőké**
  - magasabb cellafeszültség (kevesebb cellából lehet akkut építeni)
  - kisebb belső ellenállás – jobb hatásfok, gyorsabb kisütési és töltési képesség–  
elektroda anyaga meghatározó
  - kisebb önkisülés – alkalmazott kémiai technológia, korrózió
  - mérsékelt hőmérsékleti hatás a villamos paraméterekre
  - nagy energia sűrűség
- **Kedvezőbb mechanikai paramétere**
  - kisebb tömeg azonos kapacitás esetén (könnyebb)
  - kisebb méret azonos kapacitás esetén (kisebb)
  - kedvezőbb cellaforma, jobb helykihasználás (cilinderes, prizmatikus)
- **Biztonságosabb üzemeltetés**
  - tipikus veszélyforrások kiiktatása – durranógáz képződés, rövidzár kialakulás, korróziós jelenségek
  - környezetre veszélytelen anyagok használata (pl. Pb, Cd és nem semleges kémhatású elektrolitok „kiiktatása”), havária esetén sincs veszély
  - nem megengedett üzemállapotok kizárása pl. mélykisütés, túltöltés
  - karbantartás mentesség
- **Hosszabb élettartam (években és/vagy ciklusszámban)**
- **Kedvezőbb ár – beszerzési és üzemeltetési költség**

Miért Li-ion?

Tömeges elterjedését pár fontos hatás eredményezte. Egyrészt 2008-ban az ólom ára hirtelen a négyszeresére nőtt. Másrészt az úrkutatásban és a katonai alkalmazásokban rendkívül fontos szemponttá vált, hogy kisebb méretben és tömegben biztosítható vele az elvárt kapacitás.

Lítium bázison érhető el a tárolt energia mennyiségre vonatkozó legkisebb fajlagos térfogat és súly.

A Li-ion akkumulátorok rendelkeznek a legjobb töltési tulajdonságokkal, hiszen nem érzékenyek a részleges töltési állapotokra, nincs memória effektusuk. Rövid idejű, nagy energia igényű szünetmentes alkalmazásokhoz kiváló. Továbbá a megújuló energiaforrások energia átviteli hálózathoz csatlakozásánál a frekvencia szabályzás

követelményének kielégítése Li-ionos energiatárolós rendszerekkel egyszerűbben megoldhatónak látszik. Számos pilot projekt valósult meg szerte a világban ilyen megoldással.

#### Szükséges biztonsági intézkedések.

Közismertek balesetek, amelyek minden esetben a Li-ion telepek nem megfelelő kezeléséből illetve üzemeltetéséből eredeztethetők. Az általános mögöttes ok pedig ezen kémiai áramforrásoknak a hagyományosnak tekinthető akkumulátorokétól jelentősen eltérő tulajdonságaiban keresendő.



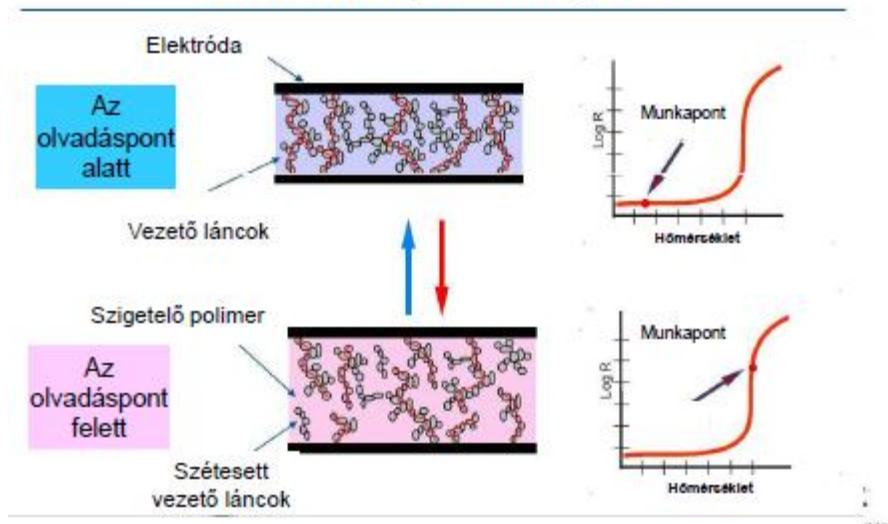
9. ábra: Akkumulátor balesetek

Csak megbízható gyártótól szabad venni, aki tudja garantálni a megfelelő minőséget.

A balesetek elkerülésére **cella szintű biztonsági intézkedéseket** és **akkumulátor felügyeleti rendszert** (BMS : Battery Management System) alkalmaznak.

**Cella szintű biztonsági intézkedésekre** kombinálható védelmi egységek állnak rendelkezésre: túlnyomás levezető szelep, speciális biztosító és elektronikus védelem. A túlnyomás szelep megakadályozza a túlnyomást és ezáltal a robbanás kialakulását. Az speciális biztosító a meg nem engedett túláramok kialakulását, a cella túlmelegedését hivatott megakadályozni. Az elektronikus védelem a cellafeszültség ellenőrzés (cella túltöltés és mélykisütés védelme).

## Hő hatására elbomló és újra felépülő, villamosan vezető láncok a polimer belsejében



10. ábra: A hő hatása

**Az akkumulátor felügyeleti rendszer** egy adatgyűjtő, adatfeldolgozó és beavatkozó elektronikus egység, amelynek feladata a telep üzemének ellenőrzése.

Három alapvető funkciója

- a biztonságos üzemelés
- az optimális működés
- a külső, belső kommunikáció biztosítása.

### Üzembiztonság

A BMS-nek biztosítania kell, hogy a nagyszámú, soros-párhuzamos cellából álló rendszerben az üzemelési körülmények mindenben megfeleljenek a cellák által támasztott követelményeknek:

- az egyes cellák feszültsége soha nem léphet ki a gyártó által megadott töltési és kisütési végfeszültségek által meghatározott sávból, azaz kell mélykisütés és túltöltés elleni védelem
- a töltési és kisütési áramok nem haladhatják meg a meghatározott időfüggő határértékeket, azaz szükség van túláram védelemre
- a cellák hőmérsékletét az üzemmódtól függő alsó és felső megengedett értékek által adott tartományban kell tartani, azaz kell alsó és felső hőmérsékleti védelem

A megfelelő rendszer megbízhatóság megkövetel bizonyos öndiagnosztikai funkciókat is.

### Optimális működés

A telep optimális működésének feltétele, hogy valamennyi sorba kapcsolt cella mindig azonos mértékben legyen feltöltve. Minthogy az egyes cellák között mindig vannak eltérések, amelyek ráadásul az öregedéssel növekednek, a felügyeleti rendszernek a cellák töltöttségi állapotát ki kell egyenlítenie. A cél a jelentős, tartós eltérések kiküszöbölése. Kiegyenlítésre sor kerülhet mind töltés, mind kisütés alatt, de gyakorlatilag könnyebb és elegendő is csak a töltési szakaszban alkalmazni. Az eljárást igen sokszor lehet cellafeszültség mérésre alapozni, de ez nem tehető meg tetszőleges cella elektrokémia esetén.

## Kommunikáció



11. ábra: Elektronikus védelem

Megkülönböztetünk rendszeren belüli és külső kommunikációt. A belső kommunikáció a rendszert alkotó egyes alegységek egymás közötti információ cseréjét jelenti, ami elengedhetetlen feltétele a BMS működésének. A külső kommunikáció egy szolgáltatás egy fölérendelt rendszer számára. A BMS minden, a rendszerben rendelkezésre álló adatot továbbítani tud, pl. SOC, SOH, hőmérsékletek, feszültségek, áramok, üzemállapotok, hibajelzések stb. A felügyeleti rendszer tud külső parancsokat fogadni és azoknak megfelelően módosítani az akkumulátor működését.

Az elektromos védelmek és vezérlések további problémákat vetnek fel. A nagyméretű akkumulátor szerkezetek csak vezérlőelektronikával működhetnek, viszont az elektronikus eszközök könnyen tönkremehetnek, tönkremenetelükkel pedig a védelmi elektronika nem lesz működőképes. Szükséges egy másodlagos rendszer.

## Másodlagos biztonsági rendszer

A BMS mellett létezik egy attól független, analóg, másodlagos biztonsági rendszer is, amely

- önállóan ellenőrzi a kritikus rendszeradatokat. (feszültségeket, hőmérsékleteket, áramot)
- redundáns módon ellenőrzi a cellafeszültségeket
- kritikus, meg nem engedett helyzetet érzékelve közvetlen rendszer lekapcsolást tud végrehajtani
- közvetlenül ellenőrzi a telepkapcsoló állapotát

## Telepkapcsoló

Nagyteljesítményű rendszerekben a telepkapcsolót 3 hierarchikusan egymásra épülő részegység alkothatja:

- félvezető kapcsoló

- kontaktor
- olvadó biztosító

Normál üzemben a lekapcsolásokat a félvezető egység végzi. Ennek hibája esetén a kontaktor veszi át a szerepét. E két elem együttes meghibásodásakor a lekapcsolás feladata a biztosítóra hárul.

## Összefoglaló

Mindent összevetve, kijelenthetjük, hogy Li-ion akkumulátorok, bár számos tulajdonságban felülmúlják hagyományos társaikat, használatuk korlátozottan terjed az energiatárolás területén, köszönhetően még mindig magas árúknak és a jelenleg fennálló biztonsági kockázatoknak. A kutatások, új technológiai fejlesztések és kísérletek az elmúlt két évtizedben intenzíven folytak és folytatódni is fognak a következő évtizedekben is, mivel a lehetőségeket még közel sem tárták fel. A Li-ion technológia számos meglepetést okozhat még a jövőben, de a már jól bevált "hagyományos" akkumulátorok a mai napig versenyképesebb megoldást jelentenek. A Li-ion akkumulátorok kiváló felhasználási lehetőségeket rejtenek magukban, eredményesen használják hordozható elektronikai készülékeknél, különleges alkalmazásokban a katonai jellegűektől a békésebb úrkutatási felhasználásig, de a jelentősebb energiatárolási alkalmazásoknál az igazi áttörést még nem érték el. Az eddigiekben nem oldották meg költséghatékonyan az energiatárolási problémákat és jelenlegi ismereteink szerint a következő évtizedben sem valószínű gyors előrelépés.

**Miakich András**

**Energetikai Szakkollégium**

**2015. március**