

A LI-ION AKKUMULÁTOR CELLA GYÁRTÁS VÍZHASZNÁLATI ASPEKTUSAI

A lítium-ion akkumulátor cella gyártása rendkívül összetett folyamat, amely során a víz különböző technológiai szakaszokban kulcsszerepet játszik. Bár a víz közvetlenül nem kerül az akkumulátorokba (sőt rendkívül káros ha marad benne), számos lépéshez elengedhetetlen a megfelelő működés és minőség biztosítása érdekében. Nézzük meg a gyártási folyamat legfontosabb szakaszait, ahol a víz használata elengedhetetlen, valamint röviden vizsgáljuk meg, milyen fenntarthatósági megoldások alkalmazhatók a vízhasználat csökkentésére.

1. Tisztítási folyamatok

A lítium-ion akkumulátorok cella gyártása során szigorú tisztasági követelményeknek kell megfelelni. Az elektródák, gyártóberendezések, valamint a gyártósorok tisztántartása alapvető fontosságú a szennyeződések eltávolítása érdekében. A tisztítás során nagy tisztaságú vizet (pl. ioncserélt vagy ultratiszta (UPW) víz) használnak, amely alkalmas a szennyeződések, vegyi anyagok és oldószermaradványok eltávolítására. Ez elsősorban a periódikus tisztításhoz szükséges de ez is jelentős vízmennyiséggel jár.

2. Anód- és katód aktív anyagainak előállítása

Az elektródák gyártásához szükséges aktív anyagokat (pl. grafit, NMC [nikkel-mangán-kobalt], vagy LFP [lítium-vas-foszfát]) kémiai szintézissel állítják elő. A gyártás során:

- **Vízszükséglet:** A kémiai reakciók szabályozásához, a keverék homogenizálásához, valamint a maradványanyagok eltávolításához használnak vizet.
- **Szárítás:** Az aktív anyagokat vízalapú szuszpenzióként állítják elő, majd a keletkező bevonat szárítása során a víz elpárologtatása történik.

A víz elősegíti az aktív anyagok (pl. lítium-alapú vegyületek), vezető adalékok és kötőanyagok egyenletes keveredését.

3. Elektroda-bevonatok előkészítése és szárítása

Az aktív anyagokat vízalapú vagy oldószeres (pl. NMP-alapú) szuszpenzióként viszik fel az elektródák hordozófoliájára (réz vagy alumínium). Az elkészült bevonatok szárítása során jelentős mennyiségű hőt használnak fel, amelyet vízhűtéses rendszerekkel vezetnek el. Továbbá, a maradék oldószer (például NMP) eltávolítása során vízalapú rendszerek segítenek az oldószer visszanyerésében és tisztításában.

4. Hőcserélők és hűtési rendszerek működtetése

A gyártási folyamatok során felhasznált hő elvezetése kritikus a berendezések stabil működéséhez. A keverők, hengerlők és vákuumszárítók hőtermelését ipari méretű vízhűtő rendszerekkel szabályozzák, amelyek folyamatos vízutánpótlást igényelnek. A gyártási kapacitás növekedésével a hűtési rendszerek vízigénye is arányosan nő.

5. Hulladék- és oldószerkezelés

Ahogy a 3. pontban említettük, Az N-metil-2-pirrolidon (NMP) használata az elektródák gyártása során elengedhetetlen, mivel ez az oldószer kiváló tulajdonságokkal rendelkezik a PVDF (polivinilidén-fluorid) kötőanyag feloldására és az aktív anyagok szuszpenziójának homogenizálására. Ugyanakkor az NMP ismert toxikus hatásai miatt különösen fontos a kezelése, visszanyerése és ártalmatlanítása. A megfelelő technológiák alkalmazásával azonban csökkenthető az egészségre és a környezetre gyakorolt káros hatás.

5.1. Miért kockázatos az NMP?

- **Egészségügyi hatások:** Az NMP bőrön és légutakon keresztül felszívódhat, ami irritációt, légzőszervi problémákat és hosszabb távon potenciális idegrendszeri károsodást okozhat.
- **Környezeti hatások:** Az NMP vízben jól oldódik, és ha ellenőrizetlenül kerül a környezetbe, szennyezheti a talajvizet és az élővizeket, károsítva az ökoszisztémát.
- **Szabályozás:** Az NMP az Európai Unió REACH szabályozása alatt is áll, amely korlátozza a használatát, és szigorú kezelésére kötelezi a gyártókat.

5.2. Az NMP kezelési folyamatai

Az NMP kezelésének fő célja, hogy minimalizálják a környezetbe történő kibocsátását, biztosítsák az oldószer újrahasznosítását, és betartsák a szigorú szabályozási előírásokat. A kezelés lépései:

5.2.1. Szárítási és párologtatási szakasz

Az elektródák szárítási folyamatában az NMP oldószer elpárolog, miközben az elektródák bevonatának rétege megköt. Az elpárolgott NMP-t a szárítóberendezésből kilépő gázokkal együtt egy speciális kondenzációs rendszerbe vezetik. Az NMP-gőzöket nem engedik közvetlenül a légkörbe, mivel az súlyosan károsíthatná a helyi környezetet és veszélyt jelentene az emberi egészségre.

5.2.2. Gőzfázisú oldószermaradványok vízalapú leválasztása

Az elpárolgott NMP-gőzöket vízzel mosatják át egy gőzmosó rendszerben. Az NMP teljesen oldódik a vízben, így hatékonyan gyűjthető össze a gőzfázisból. Az NMP és víz keveréke koncentrált oldatot képez, amely alkalmas a további feldolgozásra.

5.2.3. Desztilláció és újrahasznosítás

A víz-NMP keveréket egy speciális desztillációs egységbe vezetik, ahol a keveréket magas hőmérsékleten melegítik. Az NMP alacsony forráspontjának köszönhetően elpárolog, majd egy kondenzációs rendszerben tiszta oldószerre alakul vissza. Az elválasztott és tiszta NMP-t újrahasznosítják az elektródagyártás során, csökkentve az új oldószer beszerzésének szükségességét. A desztilláció során szükséges hőt víz alapú hőcserélők segítségével biztosítják és vezetik el.

5.2.4. Hulladékvizek kezelése

A desztilláció után visszamaradó vízben nyomokban még mindig lehet NMP vagy egyéb szennyezőanyag. A hulladékvizet speciális vízkezelő rendszerekben (pl. membránszűrés, fordított ozmózis) tisztítják, hogy megfeleljen a környezetvédelmi előírásoknak. A megtisztított vizet újra felhasználják a gyártás különböző folyamataiban, minimalizálva a friss víz iránti igényt.

5.3. A fenntartható NMP-kezelés előnyei

1. **Környezetvédelem:** Az NMP kontrollált visszanyerésével elkerülhető a talaj- és vízszennyezés, valamint csökkenthető a kibocsátás a légkörbe.
2. **Költségcsökkentés:** Az NMP újrahasznosítása gazdaságosabb, mint új oldószer vásárlása. Ez jelentős költségmegtakarítást eredményez a nagy volumenű gyártásban.

3. **Törvényi megfelelés:** Az NMP kezelésére vonatkozó szigorú előírások (pl. EU-REACH) teljesítése a megfelelő technológiák alkalmazásával garantálható.
4. **Fenntarthatóság:** Az újrahasznosítás és vízkezelési technológiák hozzájárulnak a fenntartható gyártási folyamatokhoz, csökkentve az erőforrások fogyasztását.

5.4. Összefoglalás

Az NMP használata az elektródagyártásban jelenleg elkerülhetetlen, de a helytelen kezelés súlyos egészségügyi és környezeti kockázatokat jelent. A fejlett technológiák, mint például a desztilláció, kondenzáció, és vízalapú tisztítás, hatékonyan minimalizálják ezeket a kockázatokat. A modern gyártóüzemek zárt rendszereket alkalmaznak, amelyek biztosítják az NMP visszanyerését, újrahasznosítását, és a víz felhasználásának optimalizálását, így fenntarthatóbbá és biztonságosabbá teszik a lítium-ion akkumulátor cellák előállítását.

6. Léghőszabályozás és páratartalom-szabályozás

Az akkumulátor cellák összeszerelése szigorúan ellenőrzött környezetben zajlik, ahol a levegő páratartalmát minimalizálni kell. A szárazkamrákban alacsony páratartalmú környezetet tartanak fenn (harmatpont kb -50 °C), mivel a nedvesség károsíthatja az akkumulátorok belső kémiai stabilitását. A páratartalom-szabályozáshoz és a léghőszabályozó rendszerek hűtéséhez szintén vizet használnak.

Fenntarthatósági kihívások és megoldások

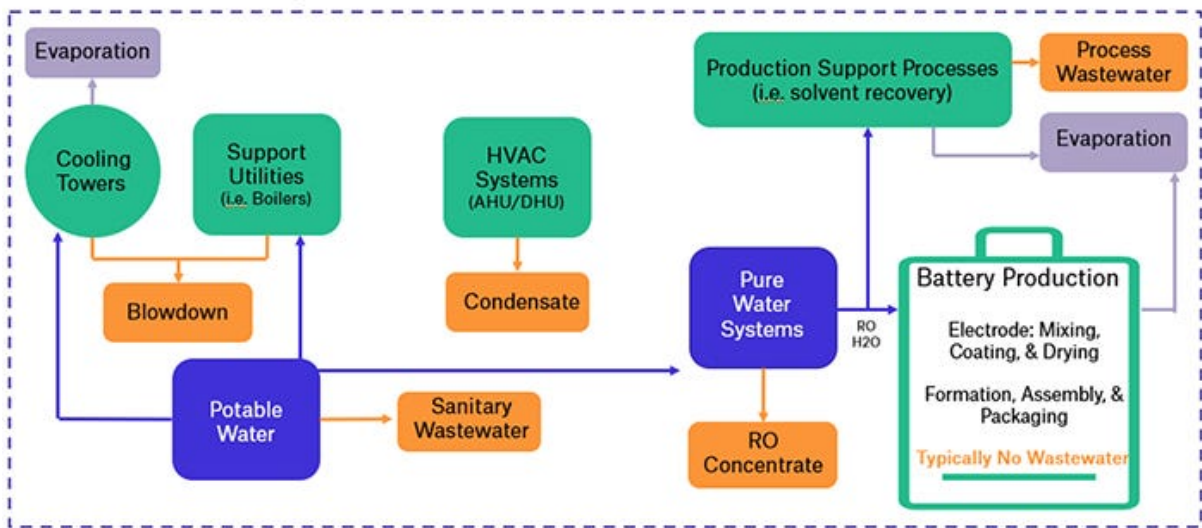
A vízfelhasználás jelentős környezeti terhelést okoz(hat), különösen vízhiányos régiókban. A modern akkumulátorgyártásban azonban fenntartható megoldásokat alkalmaznak, mint például a fentebb említett:

1. **Zárt körű vízrendszerek:** A gyárak egyre inkább olyan rendszereket vezetnek be, amelyek lehetővé teszik a víz újrahasznosítását, csökkentve a friss víz iránti igényt.
2. **Innovatív vízkezelési technológiák:** A hulladékvizek kezelésére és tisztítására fejlett technológiákat (pl. fordított ozmózis, membránszűrés) használnak.
3. **Energiahatékony hűtőrendszerek:** A modern hőcserélők és hűtőberendezések kevesebb vizet használnak a hagyományos rendszerekhez képest.

Megoldási javaslatok

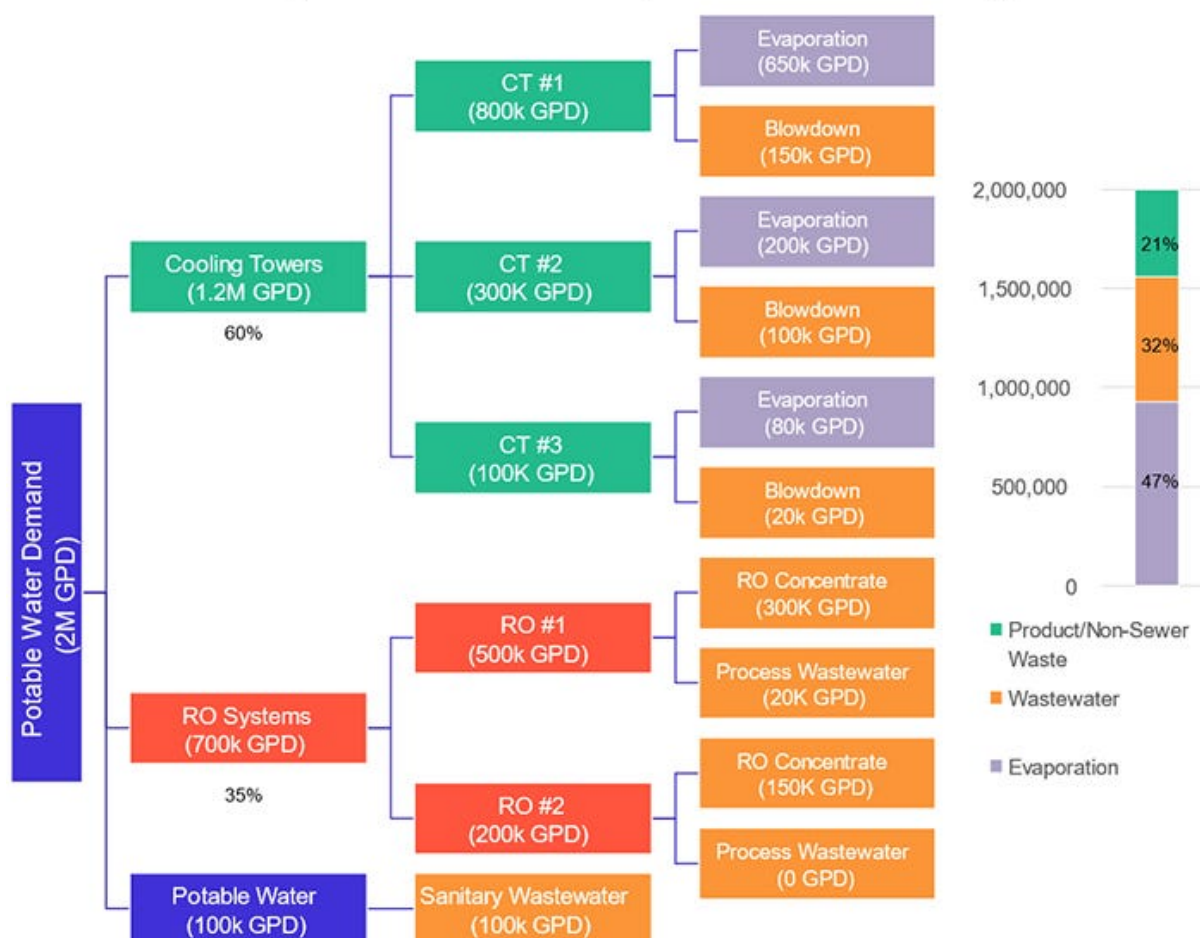
Az akkumulátorgyárakban a vízfelhasználás és újrahasznosítás fontos szerepet játszik a fenntarthatóság és a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése terén. Az elektromos járművek terjedésével egyre több akkumulátorgyár épül, melyek vízigénye naponta akár több millió gallon is lehet. Ez különösen megterheli a helyi vízellátó rendszereket, különösen kisebb, vidéki közösségekben. Egy tipikus gyárban a víz körülbelül fele elpárolog, harmada szennyvízként távozik, a maradékot pedig a gyártási folyamatok során használják fel. A hűtőtornyok jelentik a legnagyobb vízfelhasználási forrást.

EV Li-Ion Battery Production



A víz újrahasznosításának stratégiái, például a szennyvíz kezelésével és visszaforgatásával, vagy a csapadékvíz és a hűtőtornyok párologásának begyűjtésével jelentősen csökkenthetik a vízfogyasztást. Ezek a módszerek nemcsak a vízigényt mérséklik, hanem hatékonyabb hűtési folyamatokat is lehetővé tesznek. Az újrahasznosítás technológiáinak integrálása az építés korai szakaszában optimalizálhatja a költségeket és a megtérülést. Az ilyen megoldások hozzájárulhatnak a vállalatok fenntarthatósági céljaihoz és a helyi vízkészletek megóvásához is.

EV Battery Production Facility Process Flow Diagram



Az újrahasznosítás előnyei közé tartozik a vízfelhasználás akár 17%-os csökkentése, alacsonyabb üzemeltetési költségek és kisebb szénlábnyom, ami kulcsfontosságú az elektromos járművek szektorában.

Elérhetőség (Angol):

<https://www.batterytechonline.com/battery-manufacturing/the-opportunity-for-water-reuse-at-battery-gigafactories>

Összefoglalás

A lítium-ion akkumulátorok gyártása során a víz alapvető szerepet játszik a tisztításban, hűtésben, oldószerkezelésben és a gyártási környezet fenntartásában. A gyártók folyamatosan dolgoznak a vízfelhasználás csökkentésén, zárt vízrendszerek alkalmazásán és fenntartható technológiák bevezetésén. A vízhasználat optimalizálása nemcsak a gyártási költségek csökkentését, hanem a környezeti – főleg káros - hatások minimalizálását is elősegíti, ami kulcsfontosságú a jövő fenntartható energiatárolási technológiái számára.

Itt szeretném megemlíteni, hogy számos – különböző TRL (Technology Readiness Level) és IRL (Investment Readiness Level) szintű – fejlesztés zajlik a világban, aminek konkrét célja a jelenlegi gyártástechnológia kockázatainak csökkentése, illetve annak megszüntetése.

Felhasznált referenciák (teljesség igénye nélkül):

1. A lítiumion-akkumulátorok gyártásának vízfelhasználásáról és annak környezeti hatásairól részletes információkat találhat a következő tudományos cikkben:

Cím: "Water-based manufacturing of lithium ion battery for life cycle impact mitigation"

Szerzők: Chris Yuan, Huajun Cao, Kang Shen, Yelin Deng, Dan Zeng, Yan Dong, Michael Hauschild

Megjelenés éve: 2021

Forrás: CIRP Annals, Volume 70, Issue 1, Pages 25-28

DOI: 10.1016/j.cirp.2021.04.038

Elérhetőség:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850621000627>

Ez a tanulmány a vízalapú gyártási folyamatok alkalmazását vizsgálja a lítiumion-akkumulátorok előállításánál, és elemzi azok életciklusra gyakorolt környezeti hatásait. A szerzők bemutatják, hogyan csökkenthető a gyártás energiaigénye és vízfelhasználása, valamint a környezeti terhelés a hagyományos módszerekhez képest.

2. A lítium-ion akkumulátorok elektródáinak gyártása során a PVDF (polivinilidén-fluorid) kötőanyag és az NMP (N-metil-2-pirrolidon) oldószer használata elterjedt gyakorlat. A víz szerepe ebben a folyamatban elsősorban a berendezések tisztításához és a hűtési rendszerek működtetéséhez kapcsolódik. A következő szakmai dokumentum részletesen tárgyalja a PVDF és NMP alkalmazását az elektródagyártásban, valamint a vízhasználatot:

Cím: "Electrode manufacturing for lithium-ion batteries—Analysis of current and next generation processing"

Szerzők: William Hawley, Jianlin Li

Megjelenés éve: 2019

Forrás: Journal of Energy Storage, Volume 25, 2019, 100862

DOI: 10.1016/j.est.2019.100862

Elérhetőség: <https://www.osti.gov/pages/biblio/1546514>

Ez a tanulmány részletesen elemzi a lítium-ion akkumulátorok elektródáinak gyártási folyamatait, beleértve a PVDF és NMP használatát, valamint a víz szerepét a gyártás különböző szakaszaiban.

3. A lítium-ion akkumulátorok gyártása során a vízfelhasználás nemcsak az elektródagyártásban, hanem a teljes gyártási folyamatban jelentős szerepet játszik. A következő szakmai dokumentum részletesen tárgyalja a lítium-ion akkumulátorok gyártásának különböző lépéseit és azok vízhasználatát:

Cím: "Life Cycle Assessment of Lithium-Ion Battery Production and Recycling"

Szerzők: Dai, Qiang; Kelly, Jarod C.; Gaines, Linda; Wang, Michael

Megjelenés éve: 2019

Forrás: Environmental Research Letters, Volume 14, Number 9

DOI: 10.1088/1748-9326/ab3e5f

Elérhetőség: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab3e5f>

Ez a tanulmány átfogó életciklus-elemzést nyújt a lítium-ion akkumulátorok gyártásáról és újrahasznosításáról, különös tekintettel a vízfelhasználásra és a környezeti hatásokra a teljes gyártási folyamat során.