



Batterilagring
- En jämförelse av flödesbatterier och
litiumjonbatterier
Delrapport

16 maj 2024

Vendela Hallgren

Innehåll

1	Inledning	2
1.1	Syfte	2
2	Litiumjon batterier	2
2.1	Funktion	2
2.2	För- och nackdelar	3
2.3	Kostnader	4
2.4	Förslag på batteri	4
2.5	Relevanta ekvationer	5
2.5.1	State of Charge (SoC)	5
2.5.2	State of Energy (SoE)	5
3	Flödesbatterier	6
3.1	Funktion	6
3.2	För- och nackdelar	6
3.3	Kostnader	7
4	Förslag på batteri	7
5	Diskussion och slutsats	8

1 Inledning

Batterier är en välkänd och beprövad metod att lagra energi på och används på daglig basis i bland annat mobiltelefoner, datorer och elbilar. Det finns även en allmän ambition att börja lagra energi i mer storskaliga batterilager, även om det i dagsläget inte finns lika mycket erfarenheter i den skalan jämfört med mindre batterilager. Det finns flera olika typer av batterier men denna rapport avgränsas till att undersöka litium-jon batterier och flödesbatterier. Båda dessa är sekundära batterier vilket innebär att de är återuppladdningsbara. Gruppen litium-jon (Li-jon) batterier kan också delas in i undergrupper beroende på vilka joner som används, denna rapport avser att undersöka ett generellt litium-järn-fosfat batteri, LiFePO_4 . Flödesbatterierna som tas upp i rapporten är av typen vanadium redox flödesbatterier (VRFB).

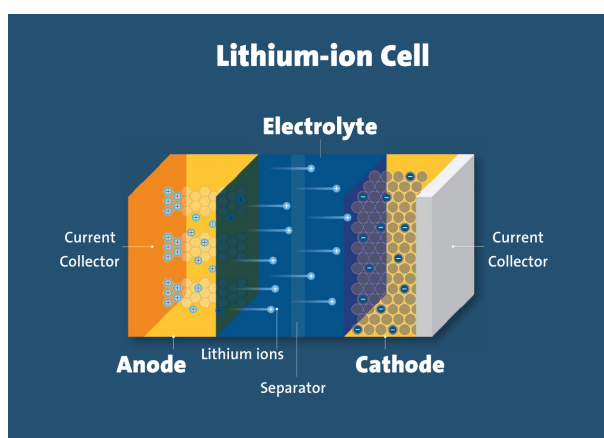
1.1 Syfte

Syftet med delrapporten är att lyfta och jämföra relevant fakta kring litiumjon- respektive flödesbatterier. Detta för att skapa en djupare förståelse för vilket typ av batteri som lämpar sig bäst i arbetet med Mälsta gård.

2 Litiumjon batterier

2.1 Funktion

Litium-jon batterier fungerar genom att Li^+ joner rör sig mellan katoden (positiv elektrod) och anoden (negativ elektrod) i en inre krets. Samtidigt rör sig elektroner i motsatt riktning genom en yttre krets vilket skapar en elektrisk krets med ström. Under urladdning släpper katoden ifrån sig Li^+ vilket skapar elektronflödet som skapar ström. Då alla litiumjoner är på anodsidan stoppas elektronflödet och den elektriska kretsen bryts, batteriet är då urladdat. Vid uppladdning sker motsatt process, anodsidan släpper litiumjoner till katodsidan och processen kan därefter börja om (UL Research Institutes 2021).



Figur 1: En modell av ett litium-jon batteri. (UL Research Institutes 2021).

Energidensiteten hos batterier är beroende av kapacitet av lagrad effekt i förhållande till vikt och volym (Svenska kraftnät 2023).

2.2 För- och nackdelar

Verkningsgraden för ett Li-jon batteri är ca 90 procent och därav mycket effektivt (Jernkontoret u.å). Dessa batterier har en hög energidensitet vilket gör att de lämpar sig bra i mindre och rörliga apparater som datorer och elbilar. En nackdel är däremot att de fortfarande är väldigt dyra även om det pågår forskning kring utveckling av dessa batterier för att priset ska kunna gå ner (Jernkontoret u.å).

En viktig aspekt när man ska överväga batterier som lagringsform är livstiden, vilket har varit en central fråga i utvecklingen av Li-jon batterier. Hur lång tid ett batteri kan användas innan de behöver bytas ut beror på flera faktorer som urladdningscykler, hur länge de används samt opererande förhållanden (Won et al. 2018). Batterierna fungerar generellt bara mellan $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ där ultimata temperatur, för maximal effektivitet, är vid $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ eftersom det kan ske sidoreaktioner i elektrolysen vid för låga/höga temperaturer. Detta innebär att det kan behövas temperaturreglerande utrustning för att tillåta batterierna att verka under ultimata förhållanden (Won et al. 2018). Livstiden beror även på hur mycket av kapaciteten som laddas upp respektive ur i batteriet. Det ska idealt inte ladda upp mer än 80 procent och inte ladda ur mer än ca 20 procent för att bespara kvalitet.

Just LiFePO_4 batterier har något lägre energidensitet än andra Li-jon batterier. Detta vägs däremot upp genom att LiFePO_4 är säkrare än andra, har en lång livslängd och besitter en termisk stabilitet. Dessutom är dessa något bättre ur ett miljöperspektiv jämfört med andra Li-jon batterier (Bid-

lis & Rezai 2023). Självurladdningen är relativt låg men det går att urskilja en viss degradering av kapaciteten hos batteriet beroende på hur många laddningscykler det har genomgått.

2.3 Kostnader

Även om Li-jon batterier fortfarande är förhållandevis dyra finns det ändå en nedåtgående trend i prisutvecklingen sedan de första batterierna började komma ut på marknaden. Olika typer av Li-jon batterier har olika prissättningar men som en referens ligger många runt 200 - 840 USD/kWh, vilket är ett relativt stort spann (Ahlm et al. 2019). Enligt IRENA (2017) finns det goda möjligheter att priset för installerade stationära system kan hamna under 200 USD/kWh till år 2030.

En viktig investeringskostnad är omvandlaren mellan energikällan och batteriet som optimerar strömmen för att kunna lagras i batteriet. Dessa är nödvändiga men oftast väldigt dyra och kan motsvara ca 40 procent av den totala investeringskostnaden. Om det är flera olika typer av energikällor, som i detta fall vindsnurra och solceller, behövs det en omvandlare till respektive energimodul eftersom den producerade strömmen skiljer sig i kvalitet. (Intervju med Fredrik Björefors 2024).

2.4 Förslag på batteri

Ett förslag på Li-jon batterier är APX 30.0P HV som bland annat säljs av Vattenfall. Batteriet har en energikapacitet på 30 kWh och med en verkningsgrad på 90 procent innebär detta att mängden användbar effekt som kan tas ut är:

$$30 \cdot 0.9 = 27kWh \quad (1)$$

Batteriet kan operera inom ett brett temperaturspann, däremot kan temperaturer under 10 °C ha en viss negativ inverkan på batteriets prestation. (Vattenfall u.å). Därav kan det vara optimalt att förvara batterilagret inomhus i torr rumstemperatur.

Tabell 1: *Information för ett APX 30.0P HV batteri (Vattenfall u.å).*

Energikapacitet	30 [kWh]
Max uttagbar effekt	7.5 [kWh]
Storlek	0.32 [m ²]
Vikt	321 [kg]
Typ av batteri	Koboltfritt Litium-järn fosfat (LFP)
Livslängd	10 [yr]
Spänningar	600 - 980 [V]
DoD	90 %
Max ström	17 [A]
Temperaturer	-10 till +50 [°C]
Pris	25 590 [kr]

Batterierna innehåller inget kobolt vilket är positivt eftersom det minskar beroendet av dessa metaller. Speciellt kobolt är en kontroversiell metall eftersom den vanligtvis utvinns i Kongo där barnarbete och svåra arbetsförhållanden är ett erkänt problem (Landguiden 2024).

2.5 Relevanta ekvationer

Dessa är relevanta ekvationer som har använts i simuleringen för att tolka hur batterierna kan användas.

2.5.1 State of Charge (SoC)

$$SoC(t) = SoC(t_0) - \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^t I(t) dt \quad (2)$$

- $SoC(t)$: Nuvarande laddningstillstånd
- $SoC(t_0)$: Initialt laddningstillstånd
- C_n : Nominell kapacitet
- $I(t)$: Batteriets momentana urladdningsström

2.5.2 State of Energy (SoE)

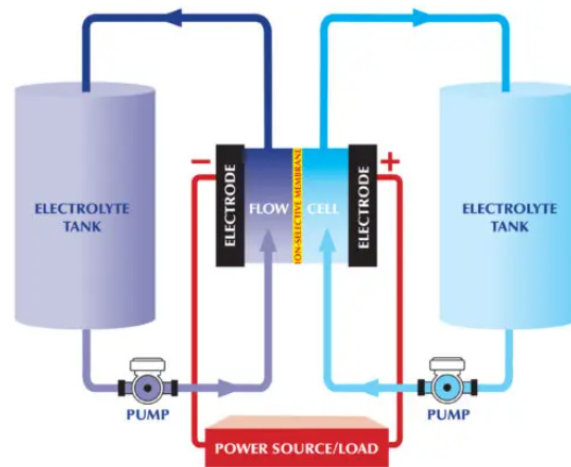
$$SoE = \frac{E_t}{E_n} \quad (3)$$

- SoE : Energitillstånd
- E_t : Tillgänglig energi
- E_n : Nominell energi

3 Flödesbatterier

3.1 Funktion

Flödesbatterier är ett batterilager som består av två vätskor där det sker elektrokemiska reaktioner som resulterar i att elektroner börjar röra sig och bildar en elektrisk krets vilket skapar ström. Vid uppladdning medför transporten av elektroner att de två vätskorna försätts i ett ostabilt energiläge och kan på så sätt lagra energi genom att hållas i det tillståndet. Vid urladdning ändras elektronernas transporterande vilket gör att vätskan hamnar i ett mer stabilt energiläge och denna förändring resulterar i att energi frigörs (Stauffer 2023).



Figur 2: En översiktlig bild över hur ett flödesbatteri är uppbyggt (*Flow batteries Europe u.å*)

3.2 För- och nackdelar

En stor fördel med dessa batterier är att de två separata tankarna gör att det går att justera energikapaciteten och effektkapaciteten separat och de kan designas för att passa specifika applikationer. Om målet är att öka energikapaciteten kan detta göras genom att öka volymen med positiva och negativa elektrolyter, detta kan alltså genomföras utan att ändra någonting i själva elektrolytdelen. Det gör även systemet flexibelt genom att kunna ändra det vid förändrade behov i framtiden.

Självladdningen är väldigt låg och kan i princip försummas i och med att elektrolyterna är placerade i två olika tankar (Eliasson & Tufvesson 2016). Däremot kan det hända att ämnen som inte ska kunna ta sig igenom membranet, som sitter mellan tankarna, ändå slinker igenom. Detta är ett fenomen

som kan ske i flödesbatterier och kallas för “crossover”. Detta innebär att vissa aktiva ämnen råkar åka över från den ena tanken till den andra vilket skapar sidoreaktioner i processen och den totala kapaciteten minskar. Däremot går det att byta ut elektrolyterna för att förnya batteriet, flödesbatterier har komponenter som är mer lättillgängliga än hos andra, mer konventionella batterier. Detta resulterar i en lång livslängd då den kan laddas i många cykler. Flödesbatterier har i regel längre livstid än Li-jon batterier även om de har en högre investeringskostnad (Stauffer 2023). Vid användning av flödesbatterier släpps inga miljöfarliga ämnen ut och materialet är återvinningsbart vilket är positivt ur en miljösynpunkt (Eliasson & Tufvesson 2016).

Säkerheten hos VRFB är i stort sett högre jämfört med andra batterityper. Att det är två tankar med vätska, ofta utblandat i vatten, minskar risken för överhettning eller explosion vilket är en betydande egenskap, speciellt vid storskalig lagring. En nackdel är dock att energidensiteten är lägre i jämförelse med Li-jon batterier. Att VRFB har lägre energidensitet innebär att de tar upp större plats vilket i sin tur innebär en förhållandevis mindre behändighet. Dock, vid fall där de ska fungera som ett stationärt batterilager kan storleken ha en mindre betydelse (Uhrig et al. 2016).

Trots flödesbatteriernas många fördelar finns det dessvärre inte massvis med beprövad forskning inom området. Flödesbatterier för kommersiellt bruk är inte heller något som finns lättillgängligt på marknaden vilket försvårar idén om att köpa in dessa till Mälsta gård. Även om det rent tekniskt skulle vara möjligt så är installation av Li-jon batterilager ett mer lättillgängligt och smidigt sätt använda sig utav batterier.¹

3.3 Kostnader

Kostnaden för flödesbatterier skiljer sig en del beroende på vilken källa som används. Enligt IRENA (2017) har VRFB installationskostnader mellan 315 och 1 050 USD/kWh. Till år 2030 väntas priset sjunka till 108-360 USD/kWh (IRENA 2017). Likt för Li-jon batterier är omvandlare nödvändigt för att kunna överföra producerad ström till batteriet vilket blir ett betydande pålägg på investeringskostnaden.

4 Förslag på batteri

Utbudet av flödesbatterier tillgängliga för privat bruk är till stor del begränsat på marknaden. Även om alternativen är få och inte alltid optimala så existerar ändå vissa typer. 30 kWh VRFB battery är ett batterilager som

¹Fredrik Björefors, universitetslektor vid institutionen för kemi - Ångström; Strukturkemi, intervju 02-05-2024

lämpar sig bra för off-grid ändamål och är tålig för tuffa klimat och kan verka i varierande temperaturer (StorEn u.å). En skillnad mellan Li-jon och flow batterier är DoD, där flow batterier tillåts laddas ur 100 procent utan att ta skada. Verkningsgrad för flow-batterier är ca 85 procent (Jernkontoret u.å) och med en kapacitet på 30 kWh innebär detta att mängden användbar effekt som kan tas ut är:

$$30 \cdot 0.85 = 25.5kWh \quad (4)$$

Tabell 2: Information för 30 kWh VFB batteri (StorEn u.å).

Energikapacitet	30[kWh]
Nominell effekt	5 [kWh]
Nominell spänning	48 [V]
DoD	100 [%]
Livslängd	25 [yr]
Cyklar	15 000
Temperaturer	-20 till +55 [°C]
Vikt (fylld)	2 600 [kg]

5 Diskussion och slutsats

Vid en jämförelse mellan de olika batterimodellerna finns det vissa betydande skillnader. Li-jon batteriet har mycket hög energidensitet och har därmed ett försprång där det kommer till mobilitet. Flödesbatterier passar därför bättre för stationär drift vilket skulle fungera väl på mälsta gård. Några av flödesbatteriets främsta egenskaper är den långa livstiden, som är mer än dubbla för litium-jon batterierna, den välutvecklade säkerheten och även flexibiliteten gällande kapacitetstorlek. I samtliga tidigare nämnda punkter är flödesbatterier ett bättre alternativ än Li-jon. När det kommer till kostnader har Li-jon lägre investeringskostnader samt att de är billigare i drift eftersom de både är mindre och har bättre verkningsgrad än flödesbatterier. I längden kan det dock bli mer gynnsamt med flödesbatterier eftersom de behövs bytas ut mer sällan. Om man vill satsa på en mer miljövänlig profil så är flödesbatterier det bättre alternativet.

Teoretiskt sett verkar flödesbatterier vara det bästa alternativet, rent tekniskt. Däremot är det mycket dyrare än Li-jon batterier och det finns inte heller en tillgänglighet på marknaden på samma sätt som det gör för Li-jon batterierna. Detta gör att VRFB blir ett mer komplicerat och svårare alternativ att implementera i praktiken. För att försöka hålla ner kostnaderna på ett sådant, redan ganska påkostat projekt, kan det kännas rimligare att satsa på det billigare alternativet, LiFePO4 . Även det faktum att det finns en tillgänglig marknad för Li-jon batterier för kommersiellt bruk blir

betydande för praktisk installation.

Sekundära batterier är generellt fördelaktiga för korttidslagring och passar därför bra att ladda under dagen för att sedan användas på kvällen eller natten. Däremot är säsongslagring i batterier inte lönsamt eftersom det medför förluster av energi. Dessa typer av batterier lämpar sig därav inte för det ämnade målet att gå totalt i ö-drift under ett helt år eller längre. Det kan fungera som ett bra komplement under sommarhalvåret om batterierna laddas av solenergi och används kort därefter. Under vintern skulle det däremot behövas något typ av aggregat alternativt att sommarens energiöverskott kan laddas i andra medium som kan bevara energin bättre än vad litium-jon batterier eller flödesbatterier kan.

Ahlm, N. Backéus, J. Edström, E. Lundquist, P. Paulsson, K. Reander, J. & Toivonen, J. (2019). *Omfördelning av Gränby Sportfältets effektuttag*. Sveriges lantbruksuniversitet. Kandidatuppsats i teknik. Civilingenjörsprogrammet i energisystem. https://stud.epsilon.slu.se/14888/7/___ad.slu.se_common_bibul_slub_Arkiv_AVD_Vet_Kom_Publicering_epsilon_examensarbeten_examensarbeten19_ahlm_n_et_al_190815.pdf [2024-04-19]

Bidlis, N. & Rezai, Z. (2023). *Övervakning av litium-jon batterier i lager*. HÖGSKOLAN VÄST. Elektroingenjörer med inriktning mot fordon. Institutionen för ingenjörsvetenskap. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1775819/FULLTEXT03.pdf> [2024-04-19]

Eliasson. M, & Tufvesson. J. (2016). *Elektrisk energilagring för Svensk stålindustri*. Kungliga Tekniska Högskolan. Skolan för industriell teknik och management (ITM). Energiteknik. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A953106&dswid=-118> [2024-04-19]

Flow batteries Europe. (u.å). *Flow Batteries*. <https://flowbatterieseurope.eu/flow-batteries/> [2024-04-19]

StorEn. (u.å). *30 kWh VFB Battery*. <https://www.storen.tech/30-kwh-vfb-battery> [2024-04-19]

Fruugo. (u.å). *Nya 32V 280Ah Lifepo4 uppladdningsbara batteripaket klass A litiumjärnfosfat Prismatisk bilsamlingssskena*. <https://www.fruugo.se/nya-32v-280ah-lifepo4-uppladdningsbara-batteripaket-klass-a-litiumjarnfosfat-prismatp-234638645-501806457> [2024-04-19]

IRENA (2017). *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets> [2024-04-19]

Jernkontoret. (u.å). *Jernkontorets energihandbok*. <https://www.energihandbok.se/lagring-av-elektrisk-energi> [2024-04-19]

Landguiden.(2024). *Kongo-Kinshasa- Naturtillgångar, energi och miljö*. <https://www.ui.se/landguiden/lander-och-omraden/afrika/kongo-kinshasa/naturtillgangar-och-energi/> [2024-04-19]

Stauffer. N. MITEI. (2023). *Flow batteries for grid-scale energy storage*. <https://energy.mit.edu/news/flow-batteries-for-grid-scale-energy-storage/> [2024-04-19]

Svenska kraftnät. (2023). *Energilagring med batterier och vätgas*. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/energilagring-med-batterier-och-vatgas/> [2024-04-19]

Uhrig. M, Koenig. S, Suriyah. M, & Leibfried. T. (2016). *Lithium-based vs. Vanadium Redox Flow Batteries - A Comparison for Home Storage Systems*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216310566?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=872299339cca09af [2024-04-19]

UL Research Institutes. (2021). *What Are Lithium-Ion Batteries?*. <https://ul.org/research/electrochemical-safety/getting-started-electrochemical-safety/what-are-lithium-ion> [2024-04-19]

Vattenfall. (u.å). *APX HV Battery*. <https://www.vattenfall.se/media/smarta-hem/solceller/batteri/growatt/growatt-apx-hv-battery-datasheet.pdf> [2024-04-19]

Won. I, Choo. K, Lee. S, Lee. J, & Won. C. (2018). *Lifetime Management Method of Lithium-ion battery for Energy Storage System*. <http://koreascience.or.kr/article/JAK0201814446220994.pdf> [2024-04-19]

Intervju med Fredrik Björefors (02-05-2024). Universitetslektor vid institutionen för kemi - Ångström; Strukturkemi.