



Lagring av elektricitet i småhus

Sinilei Ek

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	7226
Författare:	Sinilei Ek
Arbetets namn:	Lagring av elektricitet i småhus
Handledare (Arcada):	DI Kim Rancken
Experthandledare:	Ing. Harri Anukka
Uppdragsgivare:	Arcada, avdelningen för energi- och materialteknik
Sammandrag: I detta examensarbete har man undersökt ackumulatorsystem för att lagra solgenererad el i småhus. Arbetet börjar med en inblick till solenergiens andel av Finlands elproduktion och vilka problem som förekommer med solenergi. Ackumulatorns uppbyggnad och viktiga egenskaper i ackumulatorer tas upp. De tre vanligaste typerna av ackumulatorer, bly, nickel-kadmium- och litiumjon, jämförs med varandra. Deras uppbyggnad, egenskaper och laddningsbehov tas upp. Av dessa tre, är litiumjon-ackumulatören den bästa för lagring av solgenererad el för att den har högsta cellspänningen, specifika energin och kortaste laddningstiden. Företagen Naps Solar system Oy, Helen, Fortum, Tesla och Eaton i samarbete med Nissan säljer olika litium-ackumulatorsystem för hushåll. Systemens egenskaper och priser jämförs och en uträkning av den ekonomiska lönsamheten av ackumulatorsystem görs med hjälp av en formel som Kestävä Energiälykes gett ut 2018. I den kommer det fram att det inte är ekonomiskt sätt lönsamt att skaffa ett lagringssystem. Men inom 5-10 år då priserna på ackumulatorsystem kommer att sjunka och utveckling inom ackumulatorteknik kommer att gå framåt, blir det lönsamt för småhus att ha ett eget lagringssystem. Det finns också en uträkning på kostnaden för solpaneler med blyackumulatorer som lagringsmetod. I framtiden kommer det att utvecklas nya typer av ackumulatorer som fungerar med bättre kapacitet än dagens ackumulatorer och är naturvänliga alternativ.	
Nyckelord:	Solenergi, ackumulator, elektricitet, lagringsmetod
Sidantal:	41
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	29.5.2019

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energi- och miljöteknik
Identification number:	7226
Author:	Sinilei Ek
Title:	Lagring av elektricitet i småhus
Supervisor (Arcada):	Kim Rancken
Commissioned by:	Arcada
Abstract: In this thesis, rechargeable battery systems that can store solar-powered electricity for single-family homes have been researched. The work begins with an insight into the solar energy's share of Finland's electricity production and what problems occur with solar energy. The rechargeable batteries structure and important properties of them are addressed. The three most common types of rechargeable batteries, lead-, nickel-cadmium and lithium ion, are compared to each other. Their structure, properties and charging needs are addressed. Of these three, the lithium ion accumulator is the best for storing solar generated electricity because it has the highest cell voltage, specific energy and shortest charging time. Companies such as Naps Solar system Oy, Helen, Fortum, Tesla and Eaton in cooperation with Nissan sell various lithium accumulator systems for households. The properties and prices of the systems are compared and a calculation of the economic profitability of rechargeable battery systems is made using a formula that "Kestävä Energiatalous" issued in 2018. It shows that it is not economically viable to buy a storage system, but within 5-10 years when the prices will decrease and development in rechargeable battery technology will move forward, it becomes profitable for small houses to have their own storage system. There is also a calculation of the cost of solar panels with lead rechargeable batteries as a storage system. In the future, new types of accumulators will be developed that work with better capacity than today's accumulators and are nature-friendly alternatives.	
Keywords:	Solar energy, rechargeable batteries, electricity, storage systems
Number of pages:	41
Language:	Swedish
Date of acceptance:	29.5.2019

INNEHÅLL

Sammanfattning

Abstract

Figurer

Tabeller

Förord

Förkortningar

1	Inledning.....	8
2	Solenergi i Finland.....	9
3	Lagring av solgenererad el	10
4	Akkumulatorer	12
4.1	De vanligaste typerna av ackumulatorer	14
4.1.1	Blyackumulator (Pb)	14
4.1.2	Nickel-kadmium (NiCd) och nickel-järn (NiFe)-ackumulator	15
4.1.3	Litiumjon- ackumulator (Li-jon)	16
4.2	Andra typer av ackumulatorer	16
4.2.1	Zink-mangan (ZnMn) -ackumulator	17
4.2.2	Natrium-svavel (NaS) -ackumulator	17
4.3	Laddning av en ackumulator	17
5	Val av ackumulator	21
5.1	System på marknaden	22
6	Ekonomiska aspekter	25
7	Framtida visioner	26
7.1	Natriumjon (Na-jon)	26
7.2	Litiumjon-luftackumulator	27
7.3	Vatten och salt.....	28
8	Exempelberäkningar.....	29
9	Slutsats	31
10	Sammandrag	32
	Källor	34
	Bilagor	

Figurer

Figur 1. Anskaffning av el i Finland år 2018.	9
Figur 2. Diagram av förbrukning och produktion av el.....	11
Figur 3. Ackumulatorns uppbyggnad.	12
Figur 4. Skillnad mellan serie- och parallellkoppling.	13
Figur 5. Laddningen av blyackumulatör sker i steg.	18
Figur 6. Teslas Powerwall-ackumulatör installerad ute.	23
Figur 7. Visuell representation på skillnader i ackumulatorer.....	27

Tabeller

Tabell 1. Elproduktion och import i Finland år 2018 och 2017.	9
Tabell 2. Tabell över olika egenskaper hos ackumulatorerna.	21

FÖRORD

Jag valde detta ämne för mitt examensarbete för att jag var intresserad av möjligheterna för lagring av förnybar energi. Ämnet är väldigt relevant och det fanns massor av information om olika lagringsmöjligheter. Forskandet inom ackumulatortyperna var intressant och lärorikt. Jag blev positivt överraskad om hur mycket utveckling och forskning det görs inom ackumulatorindustrin.

Ett stort tack till min handledare Kim Rancken som hjälpte mig mycket under skrivprocessen. Jag vill också tacka mina närmaste vänner och familj för allt stöd de gav både mentalt och fysiskt under min skrivprocess.

Tack!

Helsingfors 23.5.2019

Sinilei Ek

FÖRKORTNINGAR

V	Volt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattimme
GWh	Gigawattimme
Wh/kg	Wattimme per kilogram
Ah	Ampère timme
mAh	Milli Ampère timme
Wp	Watt peak
Vah	Volt Ampère timme

1 INLEDNING

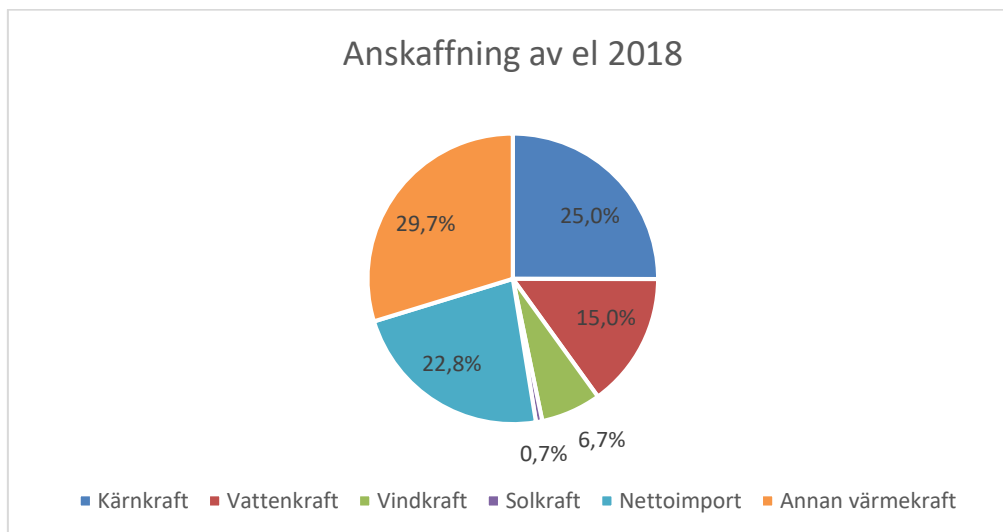
Behovet av el växer konstant inte bara inom industrin utan även i hemmen. Allt flera elektriska apparater kopplas till elnätet och förbrukningen av el ökar ständigt. Produktionsmetoder som använder fossila bränslen måste minska drastiskt för att motarbeta klimatuppvärmningen. Det kommer att bli allt strängare lagar gällande användningen av fossila bränslen och man måste hitta nya alternativ för dem. Även utsläppens mängd kommer att begränsas och man måste koncentrera sig på en hållbar utveckling inom produktionen.

Förnybar energi är en växande andel av elproduktionen och allt fler småproducenter investerar i småskaliga system för hemmen för att själv kunna producera sin el och minska sin utsläppsandel. Inom förnybar energiproduktion har småproducenter haft en väldigt liten chans att själv lagra den el de producerar. Elen förbrukas endera direkt av apparaterna som finns i huset, säljs till nätet eller går till spillo, därför har man nu börjat utveckla lagringssystem som kan installeras i hemmen. Även om försäljningen av systemen inte är stor ser framtiden för lagringssystem positiv ut.

I detta arbete funderar man på hur lagringen av solgenererad el görs i småhus som redan har solceller installerade. Solenergins andel i Finland och viktigheten av lagring i småhus tas upp i arbetet. Fokuset ligger på uppbyggnaden av ackumulatorer, vilka typer som passar för lagring av solgenererad el och information om hur man väljer en ackumulator. Ekonomiska aspekter av system som finns på marknaden funderas på samt framtidens ackumulatorsystem.

2 SOLENERGI I FINLAND

Solceller blir allt mer populära i hushåll runt om i Finland, det finns redan tusentals små-producenter både i egnahemshus och fritidsbostäder. År 2018 producerades 0,7% av all Finlands el med solkraft (Figur 1), det är 584 GWh av 87 412 GWh vilket är den el som konsumerades i hela Finland.



Figur 1. Anskaffning av el i Finland år 2018. /36/

Solkraftens andel har stigit kraftigt redan från år 2017 då det tillverkades bara 44 GWh el med solkraft (Tabell 1) /1/. Tack vare forskning och utveckling inom solkraft och solceller kan man förvänta sig att år 2019 blir solkraftens andel ännu större.

Tabell 1. Elproduktion och import i Finland år 2018 och 2017. /36/

Anskaffning år 2018 (och 2017)	GWh	%
Kärnkraft	21 889 (21 574)	25,0 (25,2)
Vattenkraft	13 145 (14 610)	15,0 (17,1)
Vindkraft	5 857 (4 795)	6,7 (5,6)
Solkraft	584 (44)	0,7 (0)
Nettoimport	19 936 (20 426)	22,8 (23,9)
Annan värmekraft	26 001 (24 019)	29,7 (28,2)
Totalt	87 412 (85 468)	100

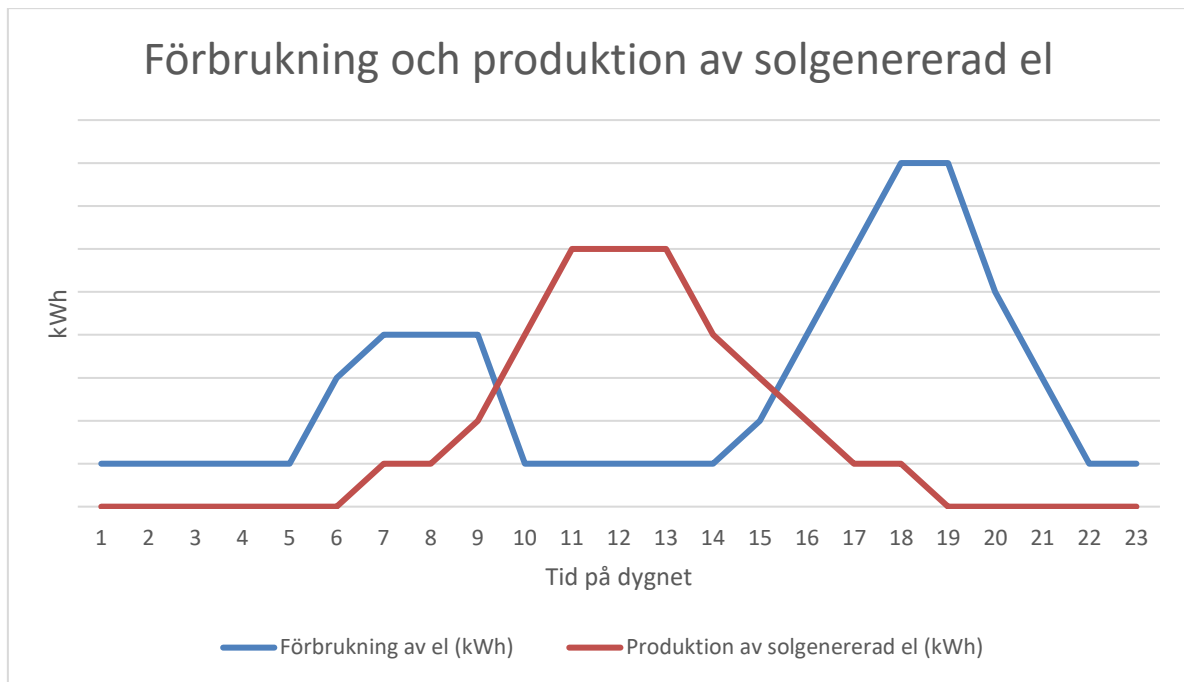
Redan under ett år steg produktionen av el med 2 GWh, det beror troligen på att allt mer elenergi behövs dagligen för hushållsapparater som tas i bruk och för till exempel laddning av elbilar. Mängden elbilar som fanns i trafiken år 2017 var 1449 stycken och år 2018 hade mängden stigit till 2404 stycken, så nästan 1000 elbilar har kommit till på ett år /2/. Priset på solcellssystem har även sjunkit kraftigt, under åren 2008–2014 sjönk kostnaderna 42–64% internationellt och med utveckling av systemen och deras popularitet sjunker prisen fortfarande. /3/

Det är en tydlig trend att allt fler människor väljer ett ekologiskt alternativ med små utsläpp vare sig det är fråga om produktion eller användning av el. Människan blir allt mer medveten om sina val och hur de egna valen påverkar miljön. Tack vare media och politiska angrepp försöker man minska utsläppen i naturen.

3 LAGRING AV SOLGENERERAD EL

Solcellssystem är ett bra tillägg till hushåll som vill ha ett ekologiskt och utsläppsfritt system för att minska mängden köpt elenergi. Nyttan med att lagra solgenererad el är att man får ut en större del av den producerade elen ur systemet.

Problemet med solenergi är att produktionen är högst då förbrukningen är minst. Diagrammet i figur 2 visar hur el produceras respektive används under dygnet. På dagen, då solen lyser mest, är produktionen hög men förbrukningen av el liten medan på kvällen, då solen inte lyser, är förbrukningen hög men produktionen låg. /4/

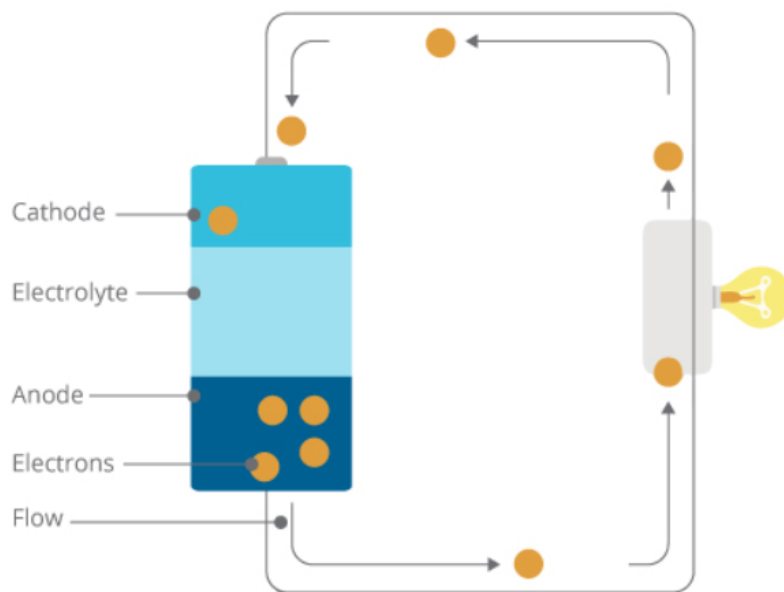


Figur 2. Diagram av förbrukning och produktion av el.

Lagring av elenergin i ackumulatorer är det lättaste sättet för ett hushåll att få använt all den el man själv producerar. Då man har ett eget ellager kan man reglera lättare när man använder el. Då priset är högt kan man använda el ur ackumulatorn och då den laddas upp med billigare el använder man köpt el. I nödsituationer, till exempel då det sker ett elavbrott kan en ackumulator till en viss del upprätthålla elapparaterna i hushållet. Detta kan vara en viktig faktor för ställen där man har mer känsliga elapparater. Systemets verkningsgrad blir allt högre ju mer av den producerade elen man kan använda. /4/ Den bästa verkningsgraden får man då hela solcellssystemet är dimensionerat perfekt för sitt ändamål och man har tagit i beaktande alla detaljer.

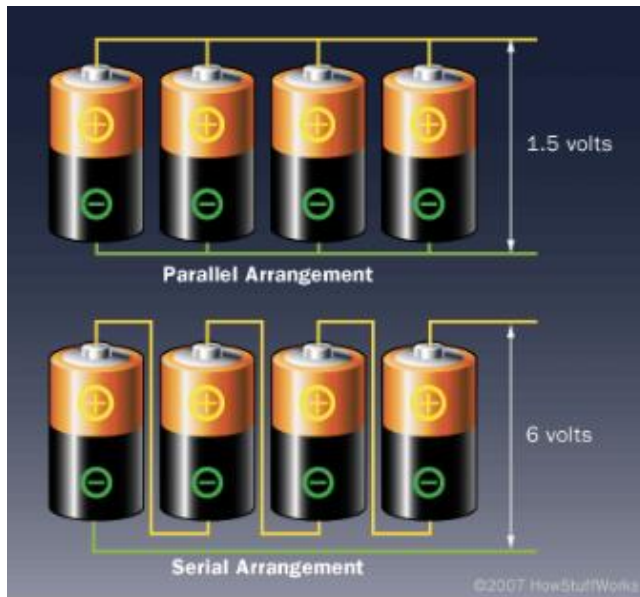
4 ACKUMULATORER

Ackumulatorer är uppbyggda av en eller flera ihopkopplade celler med en positiv (+)- och negativ (-) pol. Dessa är inkapslade i ett plast- eller metallskal. Inuti skalet finns det två terminaler, en anod som är kopplad till positiva polen och en katod som är kopplad till den negativa polen. Mellan katoden och anoden sker en kemisk reaktion där elektroderna flyttar sig från terminal till terminal. Inuti, mellan terminalerna, finns också en separator som fungerar som ett hinder så att elektroderna inte kommer lätt i kontakt med varandra. Den innehåller även ett medium som fungerar som elektrolyt. Elektrolyten tillåter flödet av elektroderna mellan terminalerna. Kollektorn matar ut spänningen som fås av den kemiska reaktionen och genom detta fås elektricitet. I figur 3 ser man ackumulators uppbyggnad. /5/



Figur 3. Ackumulators uppbyggnad. /37/

De flesta apparaterna behöver oftast mer än en cell för att fungera, till exempel en bärbar radio behöver flera AA-batterier. Genom att serie- eller parallellkoppla celler med varandra får man en högre spänning eller en högre ström, i figur 4 ser man skillnaden mellan dessa två sätt. Seriekoppling ger högre spänning och parallellkoppling ger högre ström. /6/



Figur 4. Skillnad mellan serie- och parallellkoppling. /38/

Akkumulatorer delas upp i två kategorier: primär- och sekundärackumulatorer. Primär-ackumulatorer köper man färdigt laddade och genom användning töms laddningen ur ackumulatören och när den är tom kan den inte laddas upp. Sekundärackumulatorer kan laddas upp efter användning, detta är för att den kemiska reaktionen som sker är reversibel. Då man kopplar sekundärackumulatören till en utomstående elektrisk källa blir det negativ-positiva elektronflödet reversibelt och elektroderna flödar från positiv till negativ pol och ackumulatorns laddning är återställd. /5/ Det viktigaste parametrarna man ska kolla upp då man vill få grundlig information om en ackumulator är:

- Kapacitet (kWh eller mAh)
- Spänning (V)
- Anslutningar och mekanik
- Självladdningshastighet
- Laddnings-/urladdningscykel
- Livslängd
- Vikt
- Säkerhet
- Ekologiska aspekter
- Driftsvillkor
- Pris /7/

Kapacitet är den mängd elektricitet som ackumulatören kan lagra, detta mäts i kilowattimmar. Urladdningskapacitet är den mängd elektricitet en ackumulator kan ge ut på en given stund, detta mäts i kilowatt. Spänningen är mängden volt (V) ackumulatören har, det markeras ofta volt per cell. Detta betyder att om cellspänningen är väldigt låg kommer man att behöva flera celler för att uppnå en högre spänning. /8/

Självurladdningshastigheten betyder hur snabbt ackumulatören läcker ut den inmatade energin. Laddnings-/urladdningscykler berättar hur många gånger en ackumulator kan bli laddad och urladdad, livslängd är hur länge man estimerar att ackumulatören kommer att hålla innan den måste bytas. /8/

Både säkerhet och ekologiska aspekter har att göra med hur omgivningen kommer att påverkas av ackumulatorns användning och dess återvinning. Om ackumulatören har några specialbehov vid till exempel lagring eller användning, hör det till driftsvillkoren. /8/ Genom att jämföra dessa ovannämnda parametrar kan man bestämma vilken ackumulatortyp som är den lämpligaste för ens egna ändamål och behov.

4.1 De vanligaste typerna av ackumulatorer

Under åren har tre typer av ackumulatorer blivit mest kända på marknaden: bly-, nickel-kadmium- och litiumjon-ackumulatorer. Mindre kända ackumulatortyper är zink-mangan- och natrium-svavel-ackumulatorerna. De tre vanligaste typerna av ackumulatorer skiljer sig markant från varandra gällande pris, effektivitet och laddningssystem.

4.1.1 Blyackumulator (Pb)

Blyackumulatören (se bilaga 1), som även kallas blybatteri, är den vanligaste typen av ackumulator och används mest i bilar men har blivit populär också i energiindustrin. Blyackumulatören är billig att tillverka men är väldigt skadlig för naturen. Den tål kyla relativt dåligt och är dessutom väldigt tung och stor.

Ackumulatören är uppbyggd av en blyoxid (PbO_2) -katod, poröst bly (Pb) -anod och har svavelsyra (H_2SO_4) som elektrolyt. Man måste även tillsätta destillerat vatten i

ackumulatören på grund av att en del av elektrolyten avdunstar ur ackumulatören och om vätskenivån sjunker för lågt kommer svavelsyran inte i kontakt med blyet. /9/

Cellspänningen i ackumulatören är 2 V och specifika energin är 30–50 Wh/kg. Största problemet med denna typen av ackumulator är den korta livslängden, bara <350 laddnings-/urladdningscyklar. Ackumulatören kräver också en lång laddningstid på 12–16 timmar. Det rekommenderas att man gör vart halvår en full 16 timmars laddning för att hindra sulfatering. /10/ Det kan bildas vätgas som läcker ut ur ackumulatören och därför måste den förvaras i ett ventilerat utrymme, annars finns det risk för explosion. /9/

På 1970-talet började man tillverka inkapslade gelackumulatorer som inte har behov av en vätskeformad elektrolyt. Det tillverkas också AGM (absorbed glass mat) -ackumulatorer i vilka elektrolyten är bunden till en porös glasfibermatta, vilket gör att gaser inte formas och explosionsfaran elimineras. /7/

4.1.2 Nickel-kadmium (NiCd) och nickel-järn (NiFe)-ackumulator

Nickel-kadmium (NiCd)- ackumulatören är uppbyggd av en nickeloxid (NiO) -katod, kadmium (Cd) -anod och alkalisk kaliumhydroxid (KOH) -elektrolyt. Nickel-järn-ackumulatören är uppbyggd av en nickeloxid (NiO) -katod, järn (Fe) -anod och kaliumhydroxid (KOH) -elektrolyt. NiCd-ackumulatören är mer populär än NiFe-ackumulatören för att järnelektroden har en högre korrosionsgrad och snabbare självurladdning än NiCd-ackumulatören. NiCd- ackumulatören kan laddas och urladdas upp till 1000 gånger och kan stå oanvänd i månader utan att ta skada. /7/ Den har även en kortare laddningstid än blyackumulatören och fungerar också i kallare temperaturer. Den dåliga sidan med NiCd-ackumulatören är att den är dyrare än blyackumulatören att tillverka, den har giftigt kadmium i sig och den specifika energin är rätt låg. /11/

NiCd-ackumulatören har också en så kallad minneseffekt, vilket betyder att ackumulatören måste laddas ur totalt annars får man inte ut all kapacitet. Detta beror på att det bildas ett passivt skikt på elektroden vilket hindrar cellreaktionen. /7/ Detta kan man hindra till en del med att göra total urladdning regelbundet. NiCd-ackumulatorer används mest i mindre

storlekar (ex. AA-batteri) på grund av dess låga cellspänning på 1,2 V och den specifika energin i ackumulatören är 45–80 Wh/kg. /12/

4.1.3 Litiumjon- ackumulator (Li-jon)

Litiumjon-ackumulatören består av en metalloxid-katod (LiCoO_2 , LiMnO_2 eller liknande), en kolgratit (C) -anod och en elektrolyt av litiumsalt (ex. LiPF_6), smultet eller upplöst, som leder elektricitet. Li-jon-ackumulatorer har en verkningsgrad på nästan 100% och har väldigt lång livslängd. Livslängden är 3000 laddnings-/urladdningscyklar, därför har de blivit så populära i bärarteknologi och också i elbilar. /7/ Li-jon-ackumulatorer har hög specifik energi, 80–260 Wh/kg och har kort laddningstid på 2–3 timmar. /13/ Litium är också en väldigt lätt metall och har den högsta specifika energin per viktenhet. /14/ Största problemet är litiums höga reaktivitet vilket gör att hanteringen av ackumulatören under fraktning är svårt. Man behöver skilda lov för att få frakta den, för att det hänt olyckor då Li-jon-ackumulatorer har exploderat och orsakat bränder. Pratet om ackumulatorernas säkerhet har varit på tapeten den senaste tiden. Det är dock nästan alltid ackumulatorer som har blivit tillverkade i fabriker med låga säkerhetsstandarder och som har haft funktionsfel som förorsakat bränder. /15/ Råvaran är dyr och under nästa årtionde kan det bli svårt att hinna gräva upp tillräckligt med litium ur berggrunden för att motsvara mängden som behövs på marknaden. /16/ I Finland på Österbotten regionen kommer man inom ett par år att börja gräva upp litium ur berggrunden. Företaget Keliber har ansökt om rättighet för att börja gräva, de estimerar att kunna producera 3% av världens litium. Företaget kommer att investera 200 miljoner totalt till projektet inom de nästa åren. /34/

4.2 Andra typer av ackumulatorer

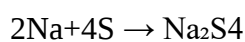
Till denna grupp hör zink-mangan- och natrium-svavel-ackumulatorerna. Dessa typer av ackumulatorer är inte lika populära inom energilagring, de har bra egenskaper men på grund av bättre alternativ har dessa typer inte slagit igenom på marknaden. Det kan bero på att uppbyggnaden i dessa ackumulatorer inte är lika lätt som hos de populärare alternativen eller bara på grund av att de inte råkade geografiskt locka köpare.

4.2.1 Zink-mangan (ZnMn) -ackumulator

Zink-mangan (ZnMn) -ackumulatören har utvecklats av primärackumulatören NiCd för att kadmium är giftigt för naturen. Detta har varit möjligt med hjälp av materialutveckling och man har funnit ett sätt att stoppa zink från att forma små kristaller som orsakar kortslutning inne i ackumulatören. ZnMn-ackumulatören är billigare än NiCd-ackumulatören och har mångdubbel kapacitet men kort livslängd. Man behöver en specialladdare för ackumulatören som laddar upp cellen till max 1,7V spänning/cell, så att det inte bildas gaser. /7/

4.2.2 Natrium-svavel (NaS) -ackumulator

Natrium-svavel-ackumulatören består av en positiv svavelelektrod (S) i vätskeform som katod och en negativ natriumelektrod (Na) i vätskeform som anod, dessa är skilda från varandra med en keramisk beta-aluminiumoxid-elektrolyt. Endast de positiva natriumjonerna kan passera elektrolyten. Natrium reagerar med svavel och bildar natriumpolysulfid (Na_2S_4).



Ackumulatören har 2 V cellspänning och en effektfaktor på 89%. Ackumulatören kan momentant (30 s) producera 5–6 gångers effekt jämfört med märkeffekten. NaS-ackumulatörer är mest populära i USA och Japan. /7/

4.3 Laddning av en ackumulator

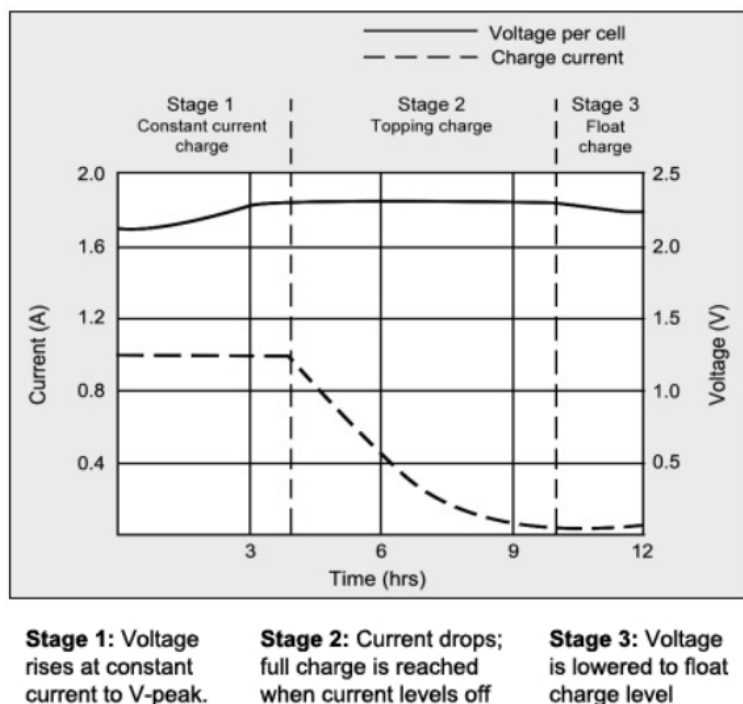
Beroende på typen av ackumulator har den ett eget laddningssystem. På samma sätt som en bilackumulator eller en mobiltelefon behöver de sina egna laddare med skilda egenskaper. Ackumulatörer har olika känslighet då det kommer till ström och spänningsstyrka.

Blyackumulatören ska laddas upp med CC/CV teknik, det vill säga jämn ström (Constant Current) och jämn spänning (Constant Voltage). En jämn ström höjer cellspänningen inne i ackumulatören tills högsta laddningsspänningen är nådd, efter det minskar strömmen.

Laddningen skall ske i tre skeden för att ackumulatören ska laddas upp korrekt och inte ta skada av laddningen och för att ha den längsta möjliga livslängden:

1. CC (Constant Current) charge
2. Topping charge
3. Float charge

I första skedet (CC charge) stiger spänningen med jämn ström för att nå peak-spänning, då sker 70% av laddningen på 5–8 timmar. Det andra skedet (topping charge) är det viktigaste skedet för ackumulatorns välmående. Detta svarar för cirka 30% av laddningen och tar 7–10 timmar, då minskar strömmängden och när strömmen jämnar ut sig är ackumulatören fullt laddad. Tredje skedet (float charge) finns till för att hålla ackumulatören fullt laddad. I figur 5 visas dessa laddningsskeden.



Figur 5. Laddningen av blyackumulatören sker i steg. /39/

Blyackumulatören kan inte laddas upp lika snabbt som andra ackumulatortyper, laddningstiden är 12–16 timmar och för större enheter upp till 36–48 timmar. /9/ Med solceller får man inte en så lång laddningstid som skulle vara idealt för ackumulatören, som gör att ackumulatören ”slits” och livslängden förkortas. /17/ Det är ofta det andra skedet av laddningen som blir för kort eller faller helt bort, om det händer konstant kommer det orsaka att ackumulatören inte mer orkar ladda upp sig till 100%. Det är viktigt att kontrollera att

ackumulatören inte överladdas, detta sker om ackumulatören är för länge i det andra stadiet av laddningen, det vill säga om laddningen tar över 48 timmar. Då laddningen sker via solceller, är risk för överladdning väldigt liten.

Blyackumulatören skall alltid vara i ett väl ventilerat utrymme, men är inte lika viktigt för gel- eller AGM-typerna. Under användning av batteriet bildas knallgas (väte (H) + syre (O)) och i utrymmen där ventilation inte finns kan denna gas orsaka explosion. Om man har en blyackumulator i sin fritidsbostad är det viktigt att komma ihåg att se till att ackumulatören inte blir och stå tom utan har laddning i sig. Ackumulatören får inte frysa för det skadar ackumulatorns förmåga att ladda upp sig igen. /9/

NiCd-ackumulatorerna är inte lika lätta att ladda som bly- eller Li-jon-ackumulatorerna. Det är viktigt att man laddar upp den med jämn ström (CC) men spänningens variation är inte farlig. Det kan vara svårt att detektera när ackumulatören är laddad till 100%, men det finns två olika metoder för att veta när ackumulatören är fullt laddad. Man kan göra detektion av temperaturer eller detektion av spänningen för att få veta när ackumulatorns laddning är fullständig.

Då ackumulatören blir laddad och börjar närma sig 100% ökar temperaturen i ackumulatören. En specialladdare behövs som detekterar deltatemperatur över delta tid, (dT/dt), alltså skillnaden i temperaturen över laddningstiden. Då kan laddaren räkna ut när ackumulatören är fullt laddad och slå av strömmen till ackumulatören. Det andra sättet är att detektera ett avtagande i spänningen. Laddaren detekterar när spänningen avtar och vet från det att laddningen är komplett. Denna metod kallas negativ delta V (NDV), och är ett mycket mer exakt sätt att kunna veta när NiCd-ackumulatören är laddad till 100%. Det är rekommenderat att första laddningen skulle vara långsam, 16–24 timmar, så att alla celler i ackumulatören laddas jämnt. Men efter det är laddningstiden mycket snabbare än hos till exempel blyackumulatören. /18/

Li-jon-ackumulatören är den känsligaste av de vanliga ackumulatorerna då det kommer till laddning. De är dock lättare att ladda än NiCd-ackumulatorer. Laddaren måste reglera spänning, liknande som med blyackumulatorer. Skillnaden är att Li-jon-ackumulatören behöver högre spänning per cell men tål mindre växling i spänningsmängden. Blyackumulatören är ganska flexibel då det kommer till laddningsspänningen och det är önskat att i

slutet av laddningscykel sipprar det in lite spänning kontinuerligt, men Li-jon-ackumulatortorn har väldigt strängt behov av att spänningen måste stabiliseras då ackumulatortorn är laddad till 100%.

Li-jon-ackumulatortorn tål även kortvarig laddning bra, det är bättre för ackumulatortorn att bli laddad till bara cirka 70%. Det förlänger ackumulatortorns livslängd men förkortar då användningstiden av en laddningscykel. Li-jon-ackumulatortorn har kort laddningstid, bara 2–3 timmar.

Överladdning är ett allvarligt problem i Li-jon-ackumulatorer. Då spänningen inte tas bort utan matningen fortsätter efter att laddningen är färdig börjar det uppstå en litiumhinna på anoden och katoden börjar oxidera. Detta leder till att ackumulatortorn blir ostabil och börjar producera koldioxid (CO_2). Cellens tryck stiger av detta och om inte spänningsmatningen stoppas, kan det leda till att cellerna spricker upp och det blir risk för eldsvåda. För att Li-jon-ackumulatortorn blir stressad av att kontinuerligt vara laddad till 100% passar den bra för att lagra solgenererad el. Solcellerna laddar ackumulatortorn väldigt sällan upp till 100%, och håller laddningen lägre, vilket är idealt för ackumulatortorn. /19/

5 VAL AV ACKUMULATOR

Då man väljer ackumulator för att lagra solgenererad el är det viktigt att överväga flera aspekter beroende på ändamålet för ackumulatoren. Vissa ackumulatorer passar bättre för att lagra energi i ett egnahemshus, medan andra kan vara lämpligare för till exempel fritidsbostäder. De lättaste egenskaperna att kolla upp för att få en grundbild av de olika typerna av ackumulatorerna är pris, tillverkare, livslängd och garantin, effekten, kapaciteten och verkningsgraden. Med dessa egenskaper kan man göra en snabb estimering av vilken typ av ackumulator man ska bekanta sig med mera och utgående från det göra ett val.

Tabell 2 visar skillnaderna mellan ackumulatortypernas egenskaper. Man ser att blyackumulatoren är billigast men den klarar inte av lika många laddnings-/urladdningscyklar som de två andra typerna. Li-jon-ackumulatoren har den högsta cellspänningen, högsta laddningscykelmängden och högsta specifika energin men är därför också dyrast. NiCd-ackumulatoren har rätt hög mängd av laddnings-/urladdningscyklar men cellspänningen är väldigt låg. Li-jon-ackumulatoren behöver inte heller något underhåll, medan blyackumulatoren måste fyllas på med destillerat vatten med jämna mellanrum om den inte är sluten och NiCd-ackumulatoren måste urladdas för att hindra minneseffekten.

Tabell 2. Tabell över olika egenskaper hos ackumulatorerna.

Typ	Cellspänning	Mängd av cykler	Specifik energi	Laddningstid	Pris	Underhåll
Bly	2V	>350	30-50Wh/kg	12-16h	€	Påfyllning av destillerat vatten
NiCd	1,2V	1000	45-80Wh/kg	Kortare än bly	€€	Total urladdning var tredje månad för att hindra minneseffekten
Li-jon	3,6V	3000	80-260Wh/kg	2-3h	€€€	-

Egnahemshus har oftast ett större behov av el och det sker flera laddnings-/urladdningscyklar under ackumulatorns användning. I ett egnahemshus skulle en Li-jon-ackumulator vara det bästa valet ur dessa tre alternativ för den har lång livslängd och kort laddningstid. Det är dock det dyraste alternativet så det blir lätt en stor investering i

lagringssystemet. Li-jon är mer ekologisk än bly för att litium inte belastar naturen lika mycket vid återvinning av materialet. Li-jon-ackumulatören kräver inte heller något underhåll och kan förvaras inomhus utan special behov.

Men för att lagra energi i fritidsbostäder till exempel bara under sommarsäsongen kunde blyackumulatören vara ett billigt val för att inte vara tvungen att göra en så stor investering i ett lagringssystem, men med tanke på naturen skulle NiCd-ackumulatören vara ett bättre val. Det är dock lättare att få tag på blyackumulatörer för de är så populära och de flesta återförsäljare har dem. Förvaring av blyackumulatören kräver också mera, man måste se till att utrymmet ventileras tillräckligt och att inte någon slipper i kontakt med ackumulatören. Blyackumulatörens låga pris är ändå mera lockande i många fall för mindre ellagringsbehov.

5.1 System på marknaden

På marknaden finns det företag som säljer färdiga paket med solceller och en ackumulatör för lagring. Man kan också skilt köpa bara en ackumulatör och koppla ihop den till sitt existerande system. /20/ Idag baserar sig ännu största delen av ackumulatorpaketen på att ha någon slags litiumackumulatör, till exempel säljer Naps Solar System Oy, Helen och Fortum litium-järn-fosfat-ackumulatörer, Tesla en litium-jon-ackumulatör och Eaton tillsammans med Nissan säljer litium-mangan-oxid- och litium-nickel-mangan-kobolt-oxid-ackumulatörer. Försäljning av ackumulatörer för lagring av solgenererad el är ännu väldigt nytt och alla dessa alternativ har kommit ut under de senaste 5–10 åren. Därför finns det inte ännu så mycket information om dem och utveckling av systemen sker ännu.

Naps Solar Systems Oy säljer litium-järn-fosfat-ackumulatörer gjorda av Sony med namnet SonnenBatterie eco 8.0, som tillverkas i Tyskland. Kapaciteten är 4–16 kWh beroende på behovet. Effekten är mellan 2,5–3,3 kW beroende på vilken kapacitet man har i ackumulatören. /21/ Ackumulatorns storlek är endera 137×64×22 cm eller 184×64×22 cm och vikten 93–255 kg beroende på vad ackumulatören har för kapacitet. Verkningsgraden nämns ingenstans. Garantin är 10 år och beräknade livslängden för ackumulatören är 20 år. /22/

Helen har till salu en litium-järn-fosfat-ackumulator Sonnen Eco för 9300 €, var installationen ingår i priset. Efter hushållsavdraget blir ackumulatorns totalpris 7550 €.

Kapaciteten är 5 kWh och man kan koppla ihop enheter på 2,5 kWh ända upp till 15 kWh. Ackumulatorns el ska användas på 2–4 timmar, men verkningsgraden nämns inte heller någonstans. Ackumulatorns storlek är 184×64×22 cm. /4/

Fortum har litium-järn-fosfat-ackumulator Sonnen Eco 8.0 för 10 400 €. Priset gäller för Nyland och i priset ingår installation. Kapaciteten är 6 kWh och effekten är 3 kW, verkningsgraden nämns inte. Ackumulatorns storlek är 137×67×23 cm och vikten 132kg. Garantin för ackumulatorn är 10 år och 2 år för installeringen. /23/

Elbilstillverkaren Tesla har lanserat ett ackumulatorsystem för hem med namnet Powerwall. Priset på en Powerwall är 7150 €, i priset ingår inte installation. Teslas ackumulator är en litium-jon-ackumulator med 13,5 kWh kapacitet och man får ut 100% av det. Verkningsgraden är 90% och effekten är 7 kW peak eller 5 kW under kontinuerligt bruk och man kan koppla ihop upp till 10 enheter. Ackumulatorn kan installeras på golv eller vägg, inomhus eller utomhus. Figur 6 visar en ackumulator som är installerad ute. Måtten för ackumulatorn är 115×75,5×15,5 cm och den väger 125 kg. Ackumulatorn har 10 års garanti. Tesla har också en egen mobil-applikation som man kan kolla upp solcellernas produktion eller ackumulatorns laddning under dagen med. /24/



Figur 6. Teslas Powerwall-ackumulator installerad ute. /40/

Eaton Oy har börjat ett samarbete med biltillverkaren Nissan år 2017 var de tagit bort ackumulatorer från elbilar som inte kan används i dem och återvinner ackumulatorerna för hushållsbruk. Eaton har bakgrund i UPS-system och Nissan har bakgrund inom ackumulatorer. Ackumulatorerna som tas ut ur bilarna har tillräckligt hög kapacitet för att användas i hushåll men fungerar inte längre i bilarna. /25/

Deras produkt går under namnet xStorage Home (se bilaga 2) och det finns tre kapaciteter att välja på: 4,2 kWh, 6 kWh eller 7,5 kWh. Varianterna 4,2 kWh och 6 kWh är uppbyggda med en LMO (litium-mangan-oxid)- ackumulator och 7,5 kWh varianten har en NMC (litium-nickel-mangan-kobolt-oxid) uppbyggnad. Verkningsgraden hos alla tre är 90%. Ackumulatorernas storlek är 123×89×22 cm och vikten 135 kg. Garantin på 4,2 kWh kapacitets ackumulatör är 5 år medan de två större kapaciteterna har 10 års garanti. /26/ Eaton letar efter flera samarbetspartner som skulle stå för installationerna av systemen i Finland. /25/

6 EKONOMISKA ASPEKTER

Då man redan har ett solenergisystem och funderar på att köpa ett lagringssystem kan man räkna ut vilken ekonomisk lönsamhet det blir av att lagra energin. Genom att jämföra priset man får av att sälja el till elnätet med det priset man köper el med kan man räkna ut den potentiella inbesparningen som kan göras med en ackumulator.

I februari 2018 gjorde "Kestävä Energiatalous" en kort uträkning av den ekonomiska lönsamheten hos ett ackumulatorsystem för hemmen. De uppskattade att ett optimistiskt pris för en ackumulator skulle vara ungefär 1000 €/kWh. I uträkningen räknade man med att priset på den el man själv producerar är 5 c/kWh och priset på köpt el är 15 c/kWh, så man tjänar 10 c/kWh med lagring. Dessa priser varierar stort beroende på var man befinner sig, vilket elnät man säljer åt och hur börsen ser ut.

Detta betyder att en ackumulator borde klara av 10 000 laddnings-/urladdningscykler under sin livstid. Om ackumulatören får under ett år 200 fulla cykler skulle återbetalningstiden bli 50 år. Nedan ses uträkningen för detta.

$$1000 \text{ €/kWh} / 0,1 \text{ €/kWh} = 10\,000$$

$$10\,000 / 200 = 50$$

Dessa siffror är lite väl höga för att ett ackumulatorsystem skulle vara ekonomiskt lönsamt. Om priset för en ackumulator skulle ligga på 200 €/kWh skulle det vara ekonomiskt lockande. Denna uträkning koncentrerar sig bara på återbetalningstiden. /27/

Om man med denna uträkning räknar ut lönsamheten för till exempel Teslas Powerwall-ackumulator ser resultatet ut på följande sätt: Teslas litium-jon Powerwall-ackumulator kostar 7150 € och kapaciteten är 13,5 kWh, det blir cirka 530 €/kWh. Elpriserna hålls samma som i originalexemplet, 10 c/kWh insparning.

Då borde ackumulatören alltså klara av 5300 laddnings-/urladdningscykler under sin livstid. Med 200 cyklar per år blir återbetalningstiden bara 26,5 år. Detta låter som ett lite mer rimligt resultat ekonomiskt sett, garantin för ackumulatören är dock bara 10 år. Nedan ses uträkningen för exemplet.

$$530 \text{ €/kWh} / 0,1 \text{ €/kWh} = 5300$$

$$5300 / 200 = 26,5$$

I dagens läge är det inte ännu ekonomiskt lönsamt att köpa ackumulatören till hemmet för att kostnaderna är ännu så höga för hållbara ackumulatorer. Alla system är så nya att efterfrågan av produkterna inte är hög. Markus Andersen från Naps Solar Systems Oy tror att inom de nästa två åren kommer det att bli ekonomiskt lönsamt att skaffa solceller och lagringssystem vilket kommer att öka efterfrågan markant. Framgång i ackumulator-teknologin kommer också att sänka priserna, men idag är det ännu bara ett ekologiskt val att köpa ett lagringssystem. /20/

7 FRAMTIDA VISIONER

Det görs hela tiden undersökningar inom materialtekniken för ackumulatorer och detta är ett av de största stegen som måste göras för att det ska vara lönsamt att skaffa ett eget ackumulatorsystem. Förbrukningen av el växer kontinuerligt och man behöver allt mer utsläppsfria energiformer så behovet av lagringsmetoder är stor.

7.1 Natriumjon (Na-jon)

Natriumjon (Na-jon)-ackumulatorer är en framtid för ackumulatorer. Forskare har kommit på hur de kan få nästan samma egenskaper av natriumjon (Na-jon)- som av litiumjon (Li-jon)-ackumulatorer. Fördelar med natrium är att det finns rikligt av det i naturen och det är en billig råvara, som hittas i till exempel saltvatten. Med rätt kristallstruktur har man möjlighet att få en snabbare laddningstid för dem än för Li-jon-ackumulatorer. /28/ Na-jon-ackumulatören kan också bli totalt urladdad utan att ta skada av det, vilket andra ackumulatorer lider av. Na-jon-ackumulatorer är lättare att frakta för det finns inga delar som kan reagera, vilket är ett av problemen med Li-jon-ackumulatorer. Specifika energin är 90 Wh/kg, spänningen 3,6 V och kostnaden ligger mycket närmare blyackumulators /29/. Figur 7 visar hur Na-jon-ackumulators egenskaper jämförs med bly- och Li-jon-ackumulatören. Även om livslängden hos Li-jon-ackumulatören är lägre, har Na-jon-ackumulatören bättre verkningsgrad och den kostar mindre.

Battery	Cost	Lifespan	Depth of Discharge
Lead Acid			
Lithium			
Saltwater			

© EnergySage

Figur 7. Visuell representation på skillnader i ackumulatorer. /41/

Det största problemet med Na-jon-ackumulatorer är att hitta vilka material som kan arbeta med natrium. Att lägga in natrium rakt istället för litium i dagens ackumulatorer är inte möjligt på grund av att natrium har en större jon-storlek och kemin är annorlunda. /28/ Man måste ännu utveckla även Na-jon-ackumulatorns laddnings-/urladdningscykel-mängd så att man får en längre livslängd för den. /29/

Ett starkt nytt alternativ är amerikanska Aquion Energy som har kommit ut med Na-jon-ackumulatorer år 2017. Ackumulatören har en manganoxid-katod, kol-titanium-fosfat-komposit-anod, saltvatten som elektrolyt och en bomullsseparator (se bilaga 3). /30/

7.2 Litiumjon-luftackumulator

En annan ackumulator som skulle kunna användas i framtiden är litiumjon-luft-ackumulatören som föreslogs redan på 1970-talet men fick inte då något större intresse. Idén kom från zink-luft-ackumulatören och har en elektrolyt, litium-anod och katalytisk luft-katod som ger syre åt cellen. Den teoretiska specifika energin skulle vara 13 kWh/kg, vilket är samma nivå som bensin. Spänningen skulle ligga mellan 1,7–3,2 V/cell beroende på vilka material som används och verkningsgraden skulle ligga högre än 90%. Idag håller de största forskningscentren på att utveckla teknologin för ackumulatören, men det finns ännu en hel del problem med ackumulatören. Luftrenheter är ett stort problem i dagens läge. Ackumulatören måste få ren luft så den uteluft vi har idag borde filtreras och till det behövs filter och i värsta fall både kompressor och pumpar som också behöver energi. Så det finns en risk att 30% av den producerade energin skulle gå till att bara hålla ackumulatören

vid liv. Specifika effekten är ganska låg och i kallare temperaturer blir den lägre. Ett annat problem är att litium och syre producerar litiumperoxidlager inne i ackumulatorn som hindrar elektronerna från att röra sig vilket orsakar en drastisk minskning i kapaciteten. Man försöker lägga till ämnen som skulle hindra bildningen av sådana lager. Livslängden är väldigt kort med bara 50 laddnings-/urladdningscyklar i laboratorieförhållanden. /29/

7.3 Vatten och salt

År 2017 startade det holländska företaget AquaBattery ett pilotprojekt, Blue Battery, som är en ackumulator som använder bara vatten och salt, bräckt vatten som strömmar igenom membraner i ackumulatorn och lagrar energin. Detta är dock en ny idé och det behövs ännu väldigt mycket forskning inom teknologin som systemet använder innan ackumulatorn kommer ut på marknaden. Men detta kunde vara ett lätt sätt att i framtiden lagra energi. /31/

8 EXEMPELBERÄKNINGAR

Nedan görs en uträkning av investeringen för att köpa ett blyackumulatorsystem till en sommarstuga och ett egnahemshus. Solpanelpriserna är tagna från Victron Energys prislista /32/ och ackumulatorpriserna från Puuilos hemsida. /33/

En sommarstuga som saknar koppling till elnätet är ett bra ställe att installera solceller och lagringsystem på. Om man antar att en sommarstuga använder el från juni till augusti och dess medelförbrukning per dygn är 42 Ah/dygn: 35 Ah för kylskåp, 6 Ah för TV och 1 Ah för belysning samt laddning av elektroniska apparater. Juni till augusti blir ca 90 dagar så under tremånadersperioden skulle sommarstugan använda 3780 Ah el.

Spänningen i hushållet är 12 V vilket betyder att sommarstugan behöver 504 Wh per dygn och under tre månader 45 360 Wh. För att täcka grundförbrukningen räcker en 12 V blyackumulatorn på 60 Ah, priset för en sådan är ca 70 €.

$$42 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 504 \text{ Wh}$$

$$504 \text{ Wh} \times 90 \text{ d} = 45\,360 \text{ Wh}$$

För att ladda upp ackumulatören behövs solpaneler, under en dag antas ett solpanelsystem producerar el 6 timmar av dygnet. Detta betyder att på 6 timmar ska ackumulatören laddas upp och till det behövs då 7 A ström. Om man behöver 42 Ah/dygn ska solpanelen ha en effekt på 100 Wp. Victron Energy säljer både mono- och polykristallina solpaneler. En 100 Wp monokristallin panel kostar 137 € och en polykristallin 124 €. Då blir investeringen ca 200 € för att täcka grundförbrukningen. Nedan ses uträkningen för första alternativet.

$$42 \text{ Ah} / 6 \text{ h} = 7 \text{ A}$$

$$12 \text{ V} \times 7 \text{ A} = 84 \text{ W} \rightarrow \text{min. } 100 \text{ Wp}$$

Ett alternativ är att man dimensionerar systemet för att lagra el för två extra dagar, om det blir dåligt väder och solen inte lyser har man ändå el. Med två dagars reserv skulle kapaciteten stiga till 126 Ah. Man behöver alltså tre stycken 60Ah ackumulatörer eller en 180 Ah ackumulator. Prisen för ackumulatörerna blir då 210 € för tre stycken 60 Ah eller 270 € för en 180 Ah ackumulator. Då behövs det 21 A ström för att ladda upp ackumulatören

vilket betyder att solpanelen måste ha 300 Wp. Till detta behövs tre stycken 100 Wp paneler, då blir priset 372–411 € beroende på om man väljer mono- eller polykristallina paneler. Uträkningen för andra alternativet ses nedan.

$$\begin{aligned}42 \text{ Ah/d} \times 3 \text{ d} &= 126 \text{ Ah} \\126 \text{ Ah} / 6 \text{ h} &= 21 \text{ A} \\12 \text{ V} \times 21 \text{ A} &= 252 \text{ W} \rightarrow \text{min. 300 Wp}\end{aligned}$$

Det tredje alternativet är att ha ett fyra dagars reserv av el, då stiger behovet till 210 Ah. Då behöver man fyra stycken 60 Ah ackumulatorer eller två 180 Ah. Priset på fyra 60 Ah ackumulatorer blir 280 € eller 540 € för två stycken 180 Ah. Det behövs 35 A ström och panelen måste ha effekten 450 Wp. Till detta behöver man fem stycken 100 Wp paneler, då blir priset 500–550 € beroende på om man väljer mono- eller polykristallina paneler. Ett annat val är att man köper två stycken 175 Wp paneler och en 100 Wp panel blir priset 406–460 € beroende på hurdan kombination av mono- eller polykristallina paneler man väljer. Uträkningen för tredje alternativet är då:

$$\begin{aligned}42 \text{ Ah/d} \times 5 \text{ d} &= 210 \text{ Ah} \\210 \text{ Ah} / 6 \text{ h} &= 35 \text{ A} \\12 \text{ V} \times 35 \text{ A} &= 420 \text{ W} \rightarrow \text{min. 450 Wp}\end{aligned}$$

Ett egnahemshus som antas ha 4000 kWh årsförbrukning av el behöver en ackumulator för att lagra elen till de månader då förbrukningen är högst. Från april till september används ca 1000 kWh av elen och oktober till mars används ca 3000 kWh. I beräkningen antar man att solen inte lyser på vinterhalvåret och ackumulatorerna laddas inte. Detta ger en rätt pessimistisk uträkning för i verkligheten producerar man en del el på vinterhalvåret. Man räknar kostnaden med 60 Ah blyackumulatorer för att det är det billigaste alternativet. 3000kWh är 3 000 000 VAh, i ett egnahemshus har man nätspänningen 230V. Då fås:

$$\begin{aligned}3\,000\,000 \text{ VAh} / 230 \text{ V} &= 13\,000 \text{ Ah} \\13\,000 \text{ Ah} / 60 \text{ Ah} &= 220 \\220 \times 70 \text{ €} &= 15\,400 \text{ €}\end{aligned}$$

För att uppnå 13 000 Ah behövs alltså 220 stycken 60 Ah blyackumulatorer. Kostnaden för ackumulatorsystemet blir då 15 400 €. /35/

Av dessa uträkningar ser man att blyackumulatorssystem är ett ekonomiskt bra val för hushåll med liten elförbrukning. I större hushåll, var elförbrukningen är hög, blir det ekonomiskt och ekologiskt en dålig investering. Man behöver allt för många blyackumulatorer och kostnaden blir hög.

9 SLUTSATS

Inom elproduktion är solenergi en växande andel, fler och fler småhus installerar solenergisystem på sina tak. Lagring av solgenererad el, både småskalig lagring och industriell, är ett tydligt steg mot framtiden och mot hållbar utveckling. Med lagring får man en högre verkningsgrad på systemet och man utnyttjar en mycket större del av den el man producerar själv. Av de tre populäraste ackumulatorerna som används för ellagring är Li-jon-ackumulatören det bästa alternativet för småhus. Även om Li-jon är den dyraste typen är dess egenskaper så mycket bättre än bly- eller NiCd-ackumulatorernas, så valet blir självklart. Li-jon-ackumulatorers säkerhet är dock en sak många är oroliga över, men genom att köpa och använda ackumulatorer som är tillverkade av företag med licenser och höga säkerhetsstandarder kan man tryggt använda Li-jon-ackumulatorer.

Även om det inte idag är ekonomiskt lönsamt att investera i ett ackumulatorsystem är det ekologiskt. Ett eget lagringssystem minskar elräkningen och utsläppen som kommer av köpt el. Inom 5–10 år kommer ackumulatormarknaden att ändras, priserna kommer att sjunka radikalt och det kommer att ske utveckling inom teknologin. Det blir ekonomiskt lönsamt att skaffa ett eget ackumulatorsystem och kanske också kommer att ses som ett ”måsta på” för att minska utsläppen som kommer från konventionella elproduktionsmetoder.

Li-jon-ackumulatorer kommer troligen att finnas kvar men nya alternativ som Na-jon-ackumulatorer kommer att bli populärare under åren. Nya materialkombinationer kommer att hittas, verkningsgraden och kapaciteten hos ackumulatorer kommer att öka och man kommer att fokusera allt mera på att använda all den el som produceras av småproducenter inom industrin. Den belastning naturen utsätts för av konventionella

elproduktionsmetoder borde minskas och alla borde satsa på att själv producera en del av sin egen el och på så sätt minska behovet av industriell produktion av el.

10 SAMMANDRAG

I detta examensarbete har man undersökt olika ackumulatorsystem för att lagra solgenererad el i småhus. Arbetet börjar med en inblick i solenergens andel av Finlands elförbrukning och vilka problem som förekommer med solenergi. Ackumulatorns uppbyggnad och viktiga egenskaper tas upp och de tre vanligaste typerna av ackumulatorer, bly-, nickel- kadmium- och litiumjon- ackumulatorer, jämförs med varandra. Deras uppbyggnad, egenskaper och laddningsbehov tas upp. Av dessa tre alternativen är litiumjon det bästa alternativet med högsta cellspänningen, specifika energin och livslängden men den är den dyraste av ackumulatorerna. Litiumjon-ackumulatorer passar väldigt bra för att lagra solgenererad el eftersom produktionen av solgenererad el är momentan och ackumulatorns laddningstid blir väldigt kort. Litiumjon-ackumulatorn tål bra korta laddningar och dess livslängd lider inte av att laddningscykeln blir på hälft, vilket de andra ackumulatorernas livslängd gör. På marknaden finns det ackumulatorsystem som säljs för att lagra el i småhus. Företagen Naps Solar Systems Oy, Helen, Fortum, Tesla och Eaton i samarbete med Nissan säljer olika typer av litium-ackumulatorsystem. Systemens egenskaper och priser jämförs med varandra. En beräkning av den ekonomiska lönsamheten i ackumulatorsystem görs med hjälp av en formel som ”Kestävä Energiatalous” gjort år 2018. I uträkningen kommer det fram att det inte är ekonomiskt lönsamt att investera i ett litium-ackumulatorsystem. Systemen är ännu så dyra och nya att efterfrågan på dem inte är hög, men detta kommer dock att förändras inom ett par år. Priserna på ackumulatorerna kommer att sjunka och det blir ekonomiskt lönsamt och lockande att skaffa lagringssystem. I arbetet finns exempelberäkningar på kostnader på ett solpanelsystem med blyackumulatorer som lagringsmetod. Man har gjort beräkningarna för en sommarstuga som förbrukar el tre månader i året och för årsförbrukningen av ett egna hemshus. I uträkningarna ser man att blyackumulatorsystem ekonomiskt är ett bra val för hushåll där elförbrukningen är liten. I slutet av arbetet presenteras utvecklingen inom materialtekniken och ackumulator-tekniken. Inom 5–10 år kommer forskning och utveckling att ha gått långt framåt att det kommer att finnas ekologiskt och ekonomiskt lönsamma ackumulatorsystem på marknaden. Eftersom behovet och förbrukningen av el kommer att stiga

kontinuerligt kommer det att bli allt mer populärt i hushåll att försöka minska mängden av köpt el. Ackumulatorsystem har en bra framtidsprognos och skulle kunna lösa problemet med lagring av förnybar energi i hushåll.

KÄLLOR

/1/ Statistikcentralen, 2019. *Totalförbrukning av energi.*

Tillgänglig: http://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia_sv.html

[Använd 27.4.2019].

/2/ Statistikcentralen: Juha-Pekka Kontinen, 2019. *Liikennepolitiikka ilmastopolitiikan välineenä.*

Tillgänglig: <http://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2019/liikennepolitiikka-ilmastopolitiikan-valineena/>

[Använd 27.4.2019].

/3/ FinSolar: Karoliina Auvinen & Mikko Jalas, 2017. *Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus.*

Tillgänglig: <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

[Använd 29.4.2019].

/4/ Helen Oy. *Älykäs sähkövarasto pientaloon.*

Tillgänglig: <https://www.helen.fi/aurinko/kodit/sahkovarasto-pientaloon/>

[Använd 16.4.2019].

/5/ HowStuffWorks.com: Marshall Brain, C. W. B. & C. P., 2000. *How Batteries Work, Anatomy of a Battery.*

Tillgänglig: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/battery2.htm>

[Använd 11.4.2019].

/6/ HowStuffWorks.com: Marshall Brain, C. W. B. & C. P., 2000. *How Batteries Work, Battery Arrangement and Power.*

Tillgänglig: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/battery6.htm>

[Använd 11.4.2019].

/7/ VTT: Raili Alanen, T. K. S. H. & P. S., 2003. *Energian varastoinnin nykytila.*

Tillgänglig: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>

[Använd 8.4.2019].

/8/ EnergySage, 2019. *How to choose the best battery for a solar energy system.*
Tillgänglig: <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>

[Använd 8.4.2019].

/9/ Battery University, 2018. *BU-403: Charging Lead Acid.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery

[Använd 19.4.2019].

/10/ Battery University, 2017. *BU-214: Summary Table of Lead-based Batteries.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_214_summary_table_of_lead_based_batteries

[Använd 19.4.2019].

/11/ Battery University, 2019. *BU-203: Nickel-based Batteries.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries

[Använd 19.4.2019].

/12/ Battery University, 2016. *BU-215: Summary Table of Nickel-based Batteries.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_215_summary_table_of_nickel_based_batteries

[Använd 7.5.2019].

/13/ Battery University, 2016. *BU-216: Summary Table of Lithium-based Batteries.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_216_summary_table_of_lithium_based_batteries

[Använd 7.5.2019].

/14/ Battery University, 2018. *BU-204: How do Lithium Batteries Work?.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries

[Använd 7.5.2019].

/15/ Battery University, 2017. *BU-304b: Making Lithium-ion Safe.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_304b_making_lithium_ion_safe

[Använd 7.5.2019].

/16/ Energy Brainpool: Simon Göß, 2018. *Is there enough lithium to feed the need for batteries?*.

Tillgänglig: <https://blog.energybrainpool.com/en/is-there-enough-lithium-to-feed-the-need-for-batteries/>

[Använd 7.5.2019].

/17/ Battery University, 2019. *BU-413a: How to Store Renewable Energy in a Battery.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_413a_storing_renewable_energy_in_a_battery

[Använd 27.4.2019].

/18/ Battery University, 2017. *BU-407: Charging Nickel-cadmium.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_nickel_based_batteries

[Använd 29.4.2019].

/19/ Battery University, 2018. *BU-409: Charging Lithium-ion.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries

[Använd 29.4.2019].

/20/ Yle: Ari Tuhkanen, 2018. *Sähkön varastointi tulee pientaloihin – "Kahden vuoden sisällä aurinkojärjestelmistä taloudellisesti kannattavia".*

Tillgänglig: <https://yle.fi/uutiset/3-10123130>

[Använd 16.4.2019].

/21/ Naps Solar Systems Oy. *Akut osana aurinkosähköjärjestelmää.*

Tillgänglig: <https://www.napsolar.com/fi/aurinkosahko/akut-osana-aurinkosahkojarjestelmaa>

[Använd 16.4.2019].

/22/ Naps Solar Systems Oy. *Naps KotiAkku, Itsenäiseen energiankulutuksen hallintaan.*

Tillgänglig: https://www.napsolar.com/sites/default/files/2017-05/NAPS%20Sonne%20A4_web_0.pdf

[Använd 16.4.2019].

/23/ Fortum. *Kodin oma sähkövaraaja.*

Tillgänglig: <https://www.fortum.fi/aurinkopaneelit/akku>

[Använd 11.4.2019].

/24/ Tesla. *Kestävää sähköä päivin ja öin.*

Tillgänglig: https://www.tesla.com/fi_FI/powerwall

[Använd 11.4.2019].

/25/ Uusiteknologia.fi, 2017. *Koteihin oma sähkövarasto – akut sähköautoista.*

Tillgänglig: <https://www.uusiteknologia.fi/2017/09/28/koteihin-oma-sahkovarasto-akut-sahkoautoista/>

[Använd 11.4.2019].

/26/ Eaton, 2017. *xStorage Home, Eaton Nissan Home energy storage.*

Tillgänglig: http://images.electricalsector.eaton.com/Web/EatonElectrical/%7B243ea2da-aa0a-4be2-a7e9-ff7b4cdb21a2%7D_xStorage_homeBrochure_september_LR.pdf

[Använd 11.4.2019].

/27/ Kestävä Energiatalous, 2018. *Sähköä talteen ja tarpeen mukaan käyttöön.*

Tillgänglig: <http://www.energiatalous.fi/?p=1938>

[Använd 8.5.2019].

/28/ Phys.org: Nagoya Institute of Technology, 2019. *Sodium is the new lithium: Researchers find a way to boost sodium-ion battery performance.*

Tillgänglig: <https://phys.org/news/2019-02-sodium-lithium-boost-sodium-ion-battery.html>

[Använd 27.4.2019].

/29/ Battery University, 2018. *BU-212: Future Batteries.*

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/experimental_rechargeable_batteries

[Använd 27.4.2019].

/30/ Aquion Energy. *Energy storage, clean and simple.*

Tillgänglig: <http://aquionenergy.com/technology/deep-cycle-battery/>

[Använd 27.4.2019].

/31/ The Financial Times, 2018. *Beyond lithium — the search for a better battery.*

Tillgänglig: <https://www.ft.com/content/46adb98c-d8ef-11e7-9504-59efdb70e12f>

[Använd 8.5.2019].

/32/ Victron Energy, 2019. *Pricelist 2019 Q2 Euro C.*

Tillgänglig: https://www.victronenergy.fi/media/pricelist/WEB_EUR_geen_IP65_Price-listVictron2019-Q2.pdf

[Använd 16.5.2019].

/33/ Puuilo. *Vapaa-ajan akku 60 Ah.*

Tillgänglig: <https://www.puuilo.fi/Vapaa-ajan-akku-1>

[Använd 16.5.2019].

/34/ Aamulehti, 2019. *Yli 200 miljoonaa euroa maksava kotimainen litium-kaivos sai ympäristöluvan – tuottaa haluttua raaka-ainetta akkuihin.*

Tillgänglig: <https://www.aamulehti.fi/a/201469856>

[Använd 21.5.2019]

/35/ Diskussion med DI Kim Rancken om uträkningarna.

/36/ Statistikcentralen.

Tillgänglig: http://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia_sv.html

/37/ Explora.

Tillgänglig: <https://www.bhphotovideo.com/explora/photography/buying-guide/batteries-101>

/38/ HowStuffWorks.com.

Tillgänglig: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/battery6.htm>

/39/ Battery University.

Tillgänglig: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery

/40/ Tesla.

Tillgänglig: https://www.tesla.com/fi_FI/solarroof

/41/ EnergySage.

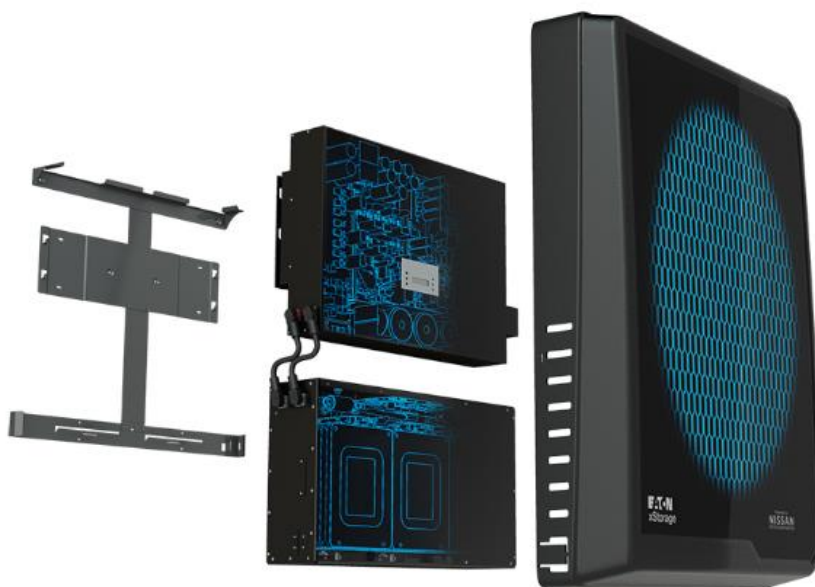
Tillgänglig: <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>

Bilaga 1. Bild på en blyackumulator



Tillgänglig: <https://www.puuilo.fi/Vapaa-ajan-akku-1>

Bilaga 2. Bild på en Eaton och Nissans xStorage Home litium-ackumulator



Tillgänglig: <http://promotions.eaton.com/content/promotions/residential/EN/home/for-installers/Energy-Storage-B2B/xStorage-home-b2b.html>

Bilaga 3. Bild på uppbyggnaden av Aquion Energy's Na-jon-ackumulator



Tillgänglig: <http://aquionenergy.com/technology/deep-cycle-battery/>