

Omfördelning av Gränby Sportfälts effektuttag – En studie med fokus på flödesbatteriers potential att omfördela effekttoppar

*Redistribution of the power outlet at Gränby sport field
– A study focusing on the potential to redistribute power peaks with flow
batteries*

Niklas Ahlm, Jonas Backéus, Erik Edström, Philip Lundquist,
Kajsa Paulsson, Jessica Redander, Joacim Toivonen

Kandidatuppsats i teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Examensarbete 2019:10
ISSN 1654-9392
Uppsala 2019

Omfördelning av Gränby Sportfälts effektuttag -En studie med fokus på flödesbatteriers potential att omfördela effekttoppar

Redistribution of the power outlet at Gränby sport field
-A study focusing on the potential to redistribute power peaks with flow
batteries

*Niklas Ahlm, Jonas Backéus, Erik Edström, Philip Lundquist, Kajsa
Paulsson, Jessica Redander, Joacim Toivonen*

Handledare: Gunnar Larsson, institutionen för energi och teknik, SLU
Examinator: David Ljungberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Omfattning: 15 hp
Nivå, fördjupning och ämne: Grundnivå, G2E, teknik
Kurstitel: Självständigt arbete i energisystem
Kurskod: EX0759
Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp
Kursansvarig institution: energi och teknik

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2019
Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien: 2019:10
ISSN: 1654-9392
Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: tekniklösningar, energilagring, kapacitetsbrist, elnät, kondensatorbank,
litiumjonbatterier

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Abstract

There is currently a power shortage in the electric grid around Uppsala, which obstructs the local development, since it prevents companies from expanding their businesses. Sportfastigheter is a part of Uppsala municipality and operates the ice halls at Gränby Sportfält, which occasionally require large power outputs. The purpose of this study is, therefore, to examine whether flow batteries could be a possible technique to redistribute the power output from the electric grid. Type, size and steering of a flow battery have been examined through simulations. Flow batteries have also been compared to other energy storage methods and the implementation of a possible capacitor bank has been investigated. The result is, that flow batteries is a possible technique to cut power tops at Gränby Sportfält, while other storage methods should be investigated more closely, since flow batteries is a rather new and unproven technique. If the installation would be made today, a more established storage method such as lithium ion batteries would be preferable, even though flow batteries have a promising future potential. The installation of a capacitor bank can be considered since it would compensate the reactive effect and, hence, reduce the power output at Gränby Sportfält.

Sammanfattning

Det råder idag kapacitetsbrist i Uppsalas elnät vilket bromsar den lokala utvecklingen eftersom det hindrar företag från att bygga ut sina verksamheter. Sportfastigheter är en del av Uppsala kommun och förvaltar ishallarna vid Gränby Sportfält, som stundtals kräver mycket stora effektuttag. Syftet med denna studie är att undersöka om flödesbatterier kan vara en möjlig teknik för att omfördela effektuttaget från elnätet. Typ, storlek och styrning av ett flödesbatteri har undersökts genom simuleringar. Flödesbatterier har även jämförts med andra energilagringmetoder och implementeringen av en eventuell kondensatorbank har undersökts. Resultatet är att flödesbatterier är en möjlig teknik för att kapa effekttopparna för Gränby Sportfält men att andra lagringmetoder bör undersökas närmare, eftersom flödesbatterier är en relativt ny och obeprövad metod. Om installation skulle göras i dagsläget vore en mer etablerad lagringmetod såsom litiumjonbatterier att föredra, även om flödesbatterier har en lovande framtidspotential. Installationen av en kondensatorbank kan övervägas då det skulle kompensera för den reaktiva effekten och på sätt minska effektuttaget för Gränby Sportfält.

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|------------------------------------------------------|----|
| 1 | Introduktion..... | 1 |
| 1.1 | Bakgrund..... | 1 |
| 1.1.1 | Kapacitetsbrist i Uppsala..... | 1 |
| 1.1.2 | Sportfastigheter och Gränby Sportfält | 1 |
| 1.2 | Syfte | 1 |
| 1.3 | Metod | 1 |
| 1.4 | Avgränsningar | 1 |
| 2 | Tekniker för energilagring och effektreduktion | 2 |
| 2.1 | Batterier..... | 2 |
| 2.1.1 | Flödesbatterier..... | 2 |
| 2.1.2 | Andra batterityper | 2 |
| 2.1.3 | Miljö..... | 3 |
| 2.1.4 | Ekonomi | 3 |
| 2.2 | Alternativa lagringsmetoder..... | 3 |
| 2.3 | Effekt, effektfaktor och kondensatorbanker..... | 3 |
| 3 | Metod och data | 4 |
| 3.1 | Metod | 4 |
| 3.2 | Data | 4 |
| 3.3 | Modell | 6 |
| 3.3.2 | Tidsintervall | 7 |
| 3.3.3 | Tröskelvärden..... | 7 |
| 4 | Resultat..... | 8 |
| 4.1 | Batteri..... | 8 |
| 4.1.1 | Drift över hela säsongen..... | 8 |
| 4.1.2 | Högsäsong | 10 |
| 4.1.3 | Lågsäsong..... | 11 |
| 4.1.4 | Förluster | 12 |
| 4.1.5 | Ekonomi | 13 |
| 4.2 | Kondensatorbank..... | 13 |
| 4.2.1 | Drift | 13 |
| 4.2.2 | Ekonomi | 14 |
| 5 | Diskussion | 15 |
| 6 | Slutsats | 16 |
| 7 | Referenser | 17 |

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

1.1.1 Kapacitetsbrist i Uppsala

År 2016 kunde det konstateras att det råder kapacitetsbrist i elnätet kring Uppsalaregionen, efter att Vattenfall fått avslag från nätägaren Svenska kraftnät att öka sitt effektuttag från stamnätet. Tidigare har Uppsala kommun fokuserat på att effektivisera med avseende på energianvändning men nu har detta fokus skiftat till att försöka sänka maxeffekten då det anses vara en faktor som begränsar den lokala utvecklingen. Det är möjligt att få ner effekttopparna på nätet men då krävs vissa åtgärder såsom reglering av elförbrukningen samt lokal energilagring. Dessa åtgärder innebär extra kostnader men om den förväntade prishöjningen för uttagen effekt sker i framtiden kan totalkostnaden i slutändan ändå bli lägre (Nohrstedt 2019).

1.1.2 Sportfastigheter och Gränby Sportfält

Sportfastigheter, som är en del av Uppsala kommun, bedriver en verksamhet som kräver stora effektuttag i och med förvaltningen av de fyra ishallar som finns vid Gränby Sportfält. Kylanläggningarna till ishallarna drivs av stora kompressorer som stundtals behöver mycket hög effekt. I anslutning till anläggningen finns dessutom en friidrottsanläggning, solceller och laddinfrastruktur. För att motverka kapacitetsbristen som råder i området och bidra till en stark lokal utveckling där fler aktörer ska kunna nyttja elnätet vill de därför undersöka möjligheterna att omfördela sitt egna effektuttag från nätet (Redander 2019).

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att redogöra om flödesbatterier, som är en relativt ny och obeprövad teknik, är en lämplig lösning för att reducera effekttopparna vid Gränby Sportfält. I denna studie ingår att undersöka typ, storlek och styrning av ett flödesbatteri, att jämföra detta med andra metoder för energilagring samt att undersöka hur effektuttaget påverkas vid implementeringen av en kondensatorbank.

1.3 Metod

För att genomföra studien har data erhållits för hela Gränby Sportfälts elkonsumention. En modell har konstruerats och simuleringar har gjorts med hjälp av erhållna data.

1.4 Avgränsningar

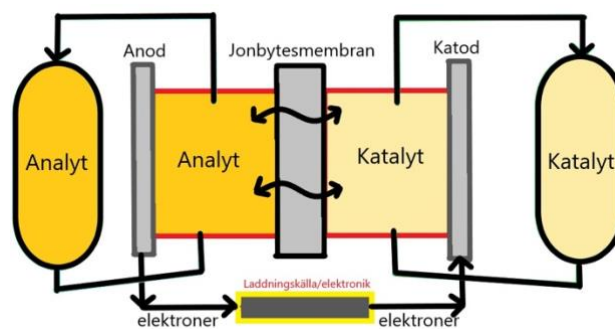
Systemet har avgränsats till att behandla verksamheten som bedrivs vid Gränby Sportfält. Fokus har varit på att undersöka om flödesbatterier är en möjlig lösning för att reducera effekttopparna och den ekonomiska samt miljömässiga aspekten har varit sekundär. Även alternativa lösningar har undersökts.

2 Tekniker för energilagring och effektreduktion

2.1 Batterier

2.1.1 Flödesbatterier

Flödesbatterier skiljer sig från litiumjonbatterier och andra batterilagringstekniker genom att anod- och katodmaterialen befinner sig i molekylform, lösta i elektrolyten. Anod- och katodsidan separeras med ett jonbytesmembran som särskiljer molekylerna men släpper igenom de joner som bildas vid upp- och urladdning. Elektrolyten förvaras utanför battericellen i reservoarer. Vid upp- och urladdning förs elektrolyten in i battericellen där molekylerna avger elektroner. Elektronerna vandrar sedan genom en ledare till andra sidan av jonbytesmembranet där de på nytt absorberas av molekyler. Anod- och katodmaterialen varierar men det vanligaste är vanadin. En schematisk bild över ett flödesbatteri kan ses i Figur 1 (Edström 2019a).



Figur 1. Ett flödesbatteris övergripande uppbyggnad.

Viktiga fördelar med flödesbatterier är deras långa livslängd, förmåga att reducera effekttoppar samt höga grad av mobilitet, anpassningsbarhet och säkerhet. Nackdelar som bör nämnas är låg energidensitet och höga investeringskostnader (Paulsson 2019). Flödesbatterier finns installerade i flera länder, däribland Kina, Japan, USA, Australien och Sydafrika. De flesta batterier används i testanläggningar för att se hur de klarar av olika scenarier såsom integrering av variabla energikällor, utjämning av effekttoppar och ö-drift. De installerade flödesbatterierna förekommer i två olika varianter, vanadinflödesbatterier och zink-bromidflödesbatterier. I större anläggningar är det vanadinflödesbatterier som används i störst utsträckning medan zink-bromidflödesbatterier är vanligare i mindre anläggningar såsom hushåll. Storleken på batterierna varierar mellan några kW/kWh till flera MW/MWh (Backéus 2019a).

2.1.2 Andra batterityper

De batterityper som främst används vid energilagring är litiumjon-, natrium-svavel- och blysyrbatterier. Alla tre batterityper kännetecknas av en hög verkningsgrad, högt energiinnehåll och att de idag finns installerade på flera platser runt om i världen (Backéus 2019b). I jämförelse med de tre batterityperna har flödesbatteriet något lägre verkningsgrad men dess lagringskapacitet och maximala effektuttag är ungefär lika högt (Edström 2019a). Tekniken med flödesbatterier befinner sig fortfarande i slutet av demonstrationsfasen och har ännu inte etablerat sig på marknaden (Backéus 2019a) medan de tre andra batterityperna alla är etablerade (Backéus 2019b).

2.1.3 Miljö

Litiumjonbatterier har, sett till hela livscykeln, en lägre miljöpåverkan än flödesbatterier, tack vare sin höga verkningsgrad. Tas endast hänsyn till tillverkningsprocessen är flödesbatteriernas miljöpåverkan marginellt lägre medan de är mer återvinningsbara. Anledningen till att litiumjonbatterierna ändå har en lägre miljöpåverkan är att den energi som laddas alltid har ett visst miljöavtryck, vilket leder till att verkningsgraden spelar en avgörande roll sett över hela batteriernas livscykel. Undantaget är då flödesbatterier laddas upp med energi som har ett lågt miljöavtryck, exempelvis vindkraftgenererad sådan. Litiumjonbatterier har dock en lägre miljöpåverkan med så gott som alla dagens energimixer som laddningskälla (Edström 2019b).

2.1.4 Ekonomi

Flödesbatterier har vissa svårigheter att konkurrera på marknaden rent kostnadsmässigt. Det finns olika uppgifter kring hur prisbilden ser ut idag och hur den kommer utvecklas i framtiden. Priset idag beräknas ligga mellan 315 och 1 680 USD/kWh och förväntas minska markant inom den närmsta framtiden. Medelpriset för hela livslängden beräknas vidare vara 43 amerikanska cent per lagrad kWh. Litiumjonbatterier är en mer väletablerad teknik vars pris har gått nedåt under 2010-talet. Det finns dock även här svårigheter att bestämma ett exakt pris men enligt uppgifter ska det ligga mellan 200 och 840 USD/kWh. Priset per lagrad kWh under hela litiumjonbatteriets livstid blir 38 amerikanska cent i genomsnitt (Backéus, Edström & Paulsson 2019).

2.2 Alternativa lagringsmetoder

Andra lagringsmetoder såsom bränsleceller, svänghjul och tryckluft är av olika anledningar inte aktuella vid Gränby Sportfält. Bränsleceller har för låg verkningsgrad, svänghjul har för kort urladdningstid och tryckluft är för kostsamt (Backéus 2019b).

2.3 Effekt, effektfaktor och kondensatorbanker

Gränby Sportfältets effektuttag utgörs idag till stor andel av reaktiv effekt (Ahlm 2019a). Ett sätt att minska sitt uttag av reaktiv effekt är implementering av en kondensatorbank. En kondensatorbank höjer systemets effektfaktor genom att neutralisera färförskjutningen mellan spänning och ström. Effekt kan delas upp i aktiv effekt och reaktiv effekt och tillsammans utgör dessa den skenbara effekten. Den aktiva effekten, P , har enheten [W] och kan utföra arbete. Reaktiv effekt, Q , har enheten [VAR] och kan inte utföra något nyttigt arbete utan studsar istället mellan källan och lasten. Dock behövs den bland annat för magnetisering av elmotorer. Skenbar effekt, $|S|$, anges i enheten [VA] och används bland annat för märkning av elnätskomponenter. Den skenbara effekten beräknas enligt $|S| = |V||I| = \sqrt{P^2 + Q^2}$, där V är spänning och I är ström. Utifrån den aktiva och skenbara effekten kan en komponents eller ett systems effektfaktor beräknas. Effektfaktor beräknas enligt $\cos\varphi = \frac{P}{|S|}$, där φ anger fasskillnaden mellan spänning och ström. Effektfaktor kan ses som ett sätt att uttrycka hur stor andel av den skenbara effekten som utgörs av aktiv effekt. En låg effektfaktor medför således en hög andel reaktiv effekt och leder till negativ inverkan på elnätet. Reaktiv effekt tar upp utrymme i transmissionsledningar som annars hade kunnat nyttjats av aktiv effekt och leder till ökade förluster vid transmission, spänningsfall samt ett ökat slitage på elnätets komponenter. En effektfaktor på ett är idealt (Ahlm 2019b).

3 Metod och data

3.1 Metod

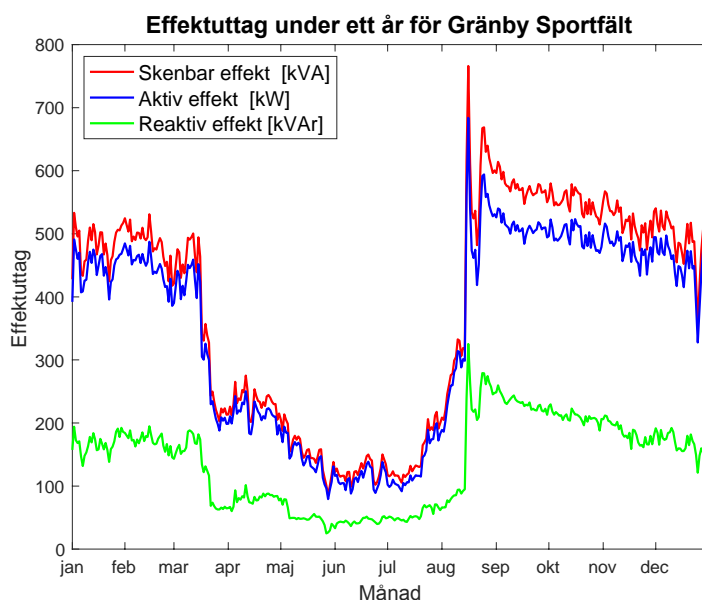
För att undersöka möjligheterna att implementera ett flödesbatteri på Gränby Sportfält har simuleringar genomförts. Modellen baseras på ett tidsinställt batteri och Gränby Sportfälts effektuttag, samt använder sig enbart av den aktiva effekten. Modellen beskrivs mer utförligt under avsnitt 3.3.

Tre batterier har undersökts. Deras lagringskapacitet är 0,5 MWh, 1 MWh och 2 MWh och deras maximala effektuttag är 100 kW, 250 kW respektive 500 kW. Batteristorlekarna valdes för att undersöka ett brett intervall inom rimliga gränser för Gränby Sportfält, vars aktiva medeleffekt samt maximala effektuttag uppgår till cirka 347 kW respektive 865 kW (Ahlm 2019a).

Effektuttaget skiljer sig åt under året och simuleringarna har därför delats upp i högsäsong och lågsäsong. Högsäsongen sträcker sig från den 14 augusti till den 20 mars och lågsäsongen mellan 21 mars och 13 augusti (ibid).

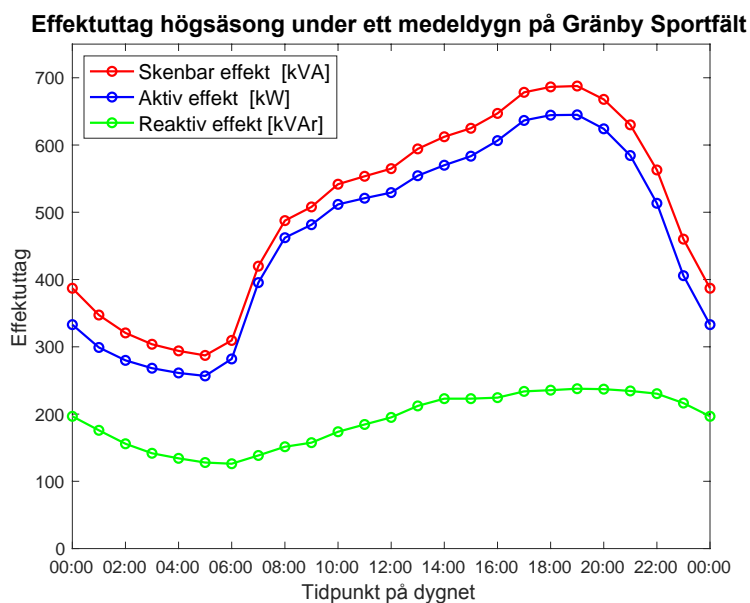
3.2 Data

De simuleringar som genomförts har baserats på den data som hämtats från Vattenfall över Gränby Sportfälts effektuttag för åren 2015–2018. I denna data ingår utöver de fyra ishallarna på Gränby Sportfält även infrastrukturen för elbilsaddning, viss belysning samt friidrottsanläggningen. Denna data redovisas i Figur 2 nedan. Där kan det tydligt ses att effektuttaget går ner markant under den period som definierats som lågsäsong. Maximalt effektuttag sker i mitten av augusti, den tid på året då samtliga ishallar har tagits i bruk (ibid).



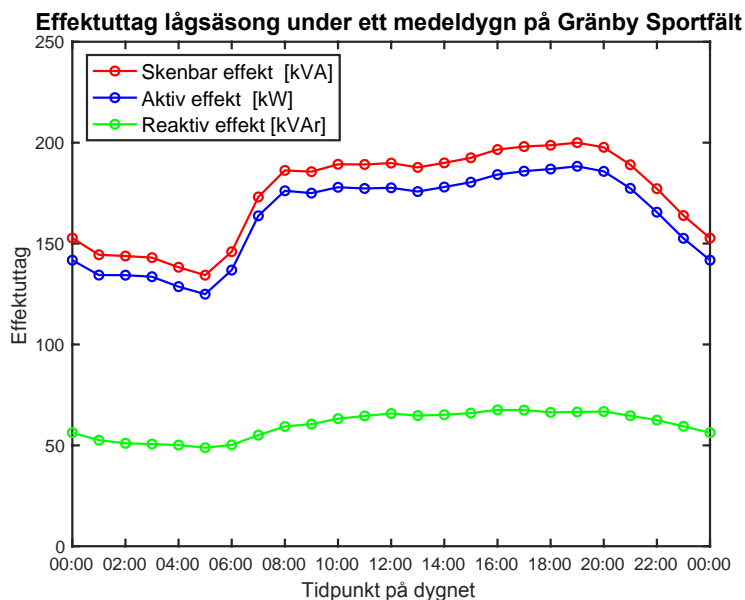
Figur 2. Gränby Sportfälts effektuttag för ett genomsnittligt år (ibid).

Ur Figur 3 går det att utläsa att effektuttaget för ett genomsnittligt högsäsongsdyn på Gränby Sportfält är lägst klockan 06. Då uppgår den skenbara effekten till ca 300 kVA. Maximalt värde antas klockan 20, då med ett värde på 700 kVA.



Figur 3. Gränby Sportfältets effektuttag för ett genomsnittligt högsäsongsdygn (ibid).

Ur Figur 4 nedan kan utläsas att, för ett genomsnittligt lågsäsongsdygn är effektuttaget lägst klockan 05. Då antar den skenbara effekten ett värde på 140 kVA. Maximalt effektuttag för ett genomsnittligt lågsäsongsdygn sker klockan 20 och antar ett värde på 200 kVA. Noterbart är att till skillnad mot ett högsäsongsdygn ligger effektuttaget relativt stabilt mellan klockan 08 och 20. För ett högsäsongsdygn är variationerna större.



Figur 4. Gränby Sportfältets effektuttag för ett genomsnittligt lågsäsongsdygn (ibid).

I Figur 2–4 framgår att ishallarna på Gränby Sportfält idag drar stora mängder reaktiv effekt från elnätet. För hela anläggningen uppgår den reaktiva effekten till 40 % av den aktiva. Framförallt C- och Relitahallen drar mycket reaktiv effekt, där den reaktiva effekten uppgår till 50–65 % av den aktiva (Ahlm 2019b). Maxeffekten för ett genomsnittligt högsäsongsdygn är 200 kVAr. Vid exempelvis uppstart av ishallarna antar den reaktiva effekten ännu högre värden.

Störst variationer i ishallarnas effektfaktor sker under högsäsongen, vilket kan ses i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Gränby Sportfält och dess ishallars effektfaktor (ibid).

| Effektfaktor | Medeldygn lågsäsong | | Medeldygn högsäsong | | Medeldygn årsvis | |
|--------------------------|------------------------|----------|------------------------|----------|---------------------|----------|
| | Minvärde | Maxvärde | Minvärde | Maxvärde | Minvärde | Maxvärde |
| A- och B-hall | 0,985 | 0,996 | 0,972 | 0,996 | 0,976 | 0,996 |
| C- och Relitahall | 0,830 | 0,889 | 0,808 | 0,902 | 0,823 | 0,895 |
| Gränby Sportfält | 0,928 | 0,946 | 0,846 | 0,935 | 0,862 | 0,932 |

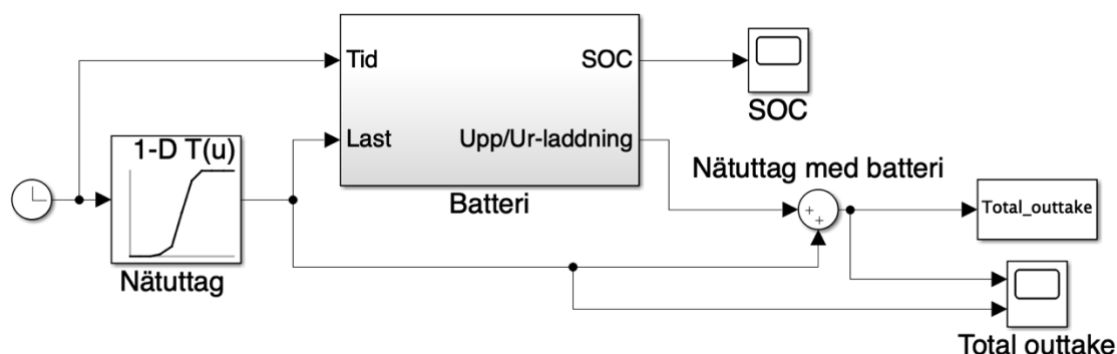
I Tabell 1 framgår det tydligt att det är C- och Relitahallen som främst bidrar till Gränby Sportfält's låga effektfaktor.

Temperaturdata har även använts i simuleringarna för verkningsgraden, den data som används är hämtad för Uppsala stad från SMHI (Redander, Toivonen & Lundquist 2019a).

3.3 Modell

Modellen bygger på Gränby Sportfält's effektuttag och ett tidsinställt batteri, se Figur 5. Batteriet är uppbyggt som ett delsystem med Gränby Sportfält's effektuttag och tiden som ingående data (Redander, Toivonen & Lundquist 2019b).

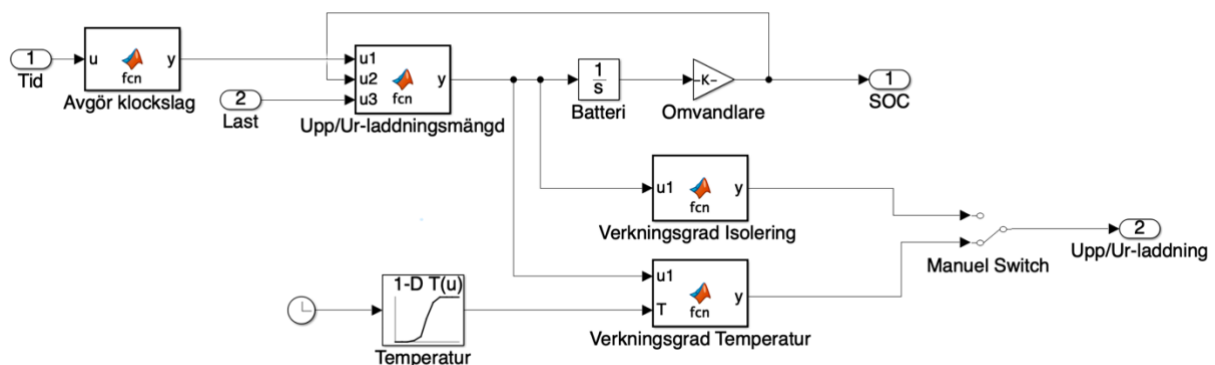
Två parametrar skickas ut från delsystemet. Den ena representerar effekten som batteriet levererar till Gränby Sportfält vid urladdning eller den effekt som dras från nätet vid uppladdning. Den andra parametern benämns som SOC, State of Charge, och representerar batteriets procentuella laddning.



Figur 5. Modellens huvudkomponenters uppbyggnad (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

Batteriets delsystem kan ses i Figur 6. Det innehåller en Matlab-funktion som tar ut klockslaget på dygnet och avgör om batteriet ska vara aktivt eller inaktivt. Sedan följer ytterligare en Matlab-funktion som bestämmer hur mycket batteriet ska laddas upp eller ur. Detta görs med hjälp av tröskelvärden som bestäms individuellt för varje batteristorlek och möjliggör en mer kontrollerad upp- eller urladdning (Redander, Toivonen & Lundquist 2019b).

Energi kommer gå förlorad vid upp- och urladdning av batteriet och den sista Matlab-funktionen i delsystemet tar hänsyn till batteriets verkningsgrad. Flödesbatteriets verkningsgrad varierar mellan 60–80 %, vilket beror på flera faktorer där värmeförluster är en av de mest avgörande. Värmeförlusterna från ett flödesbatteri beror dels på den omgivande lufttemperaturen och dels på hur mycket ström som går genom de kablar som är kopplade till batteriet. I simuleringen har två olika metoder för verkningsgrad använts. Den ena representerar ett helt isolerat batteri där batteriets temperatur är densamma som utomhustemperaturen. Verkningsgraden beräknas för varje timme beroende på temperaturen. Den andra metoden representerar ett perfekt isolerat batteri där batteriets temperatur hålls konstant vid 20°C för maximal verkningsgrad (Redander, Toivonen & Lundquist 2019a).



Figur 6. En schematisk bild av batteriets uppbyggnad (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

3.3.2. Tidsintervall

I modellen laddas batteriet ur mellan klockan 14 och 22. Det innebär åtta timmars drifttid. Den tiden valdes eftersom Uppsala kommuns effekttoppar äger rum mellan klockan 14 och 20 (Redander 2019). Mellan klockan 20 och 22 har Gränby Sportfält fortfarande ett högt effektuttag och finns det mer energi i batteriet kan det användas fram till klockan 22 (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

Uppladdning sker mellan klockan 00 och 07, vilket ger sju timmars drifttid för uppladdning. Effektuttaget för Gränby Sportfält är fortfarande relativt högt klockan 23, varför uppladdning startar först klockan 00. Uppsala kommuns höglasttid på elnätet startar klockan 06 men uppladdningen får ändå ske ytterligare en timme, för att batteriet ska hinna bli fulladdat (ibid).

3.3.3 Tröskelvärden

Tröskelvärden bidrar till att batteriet inte alltid går på full effekt, och kan istället användas under en längre tidsperiod. Tröskelvärden används genom att de subtraheras från Gränby Sportfälts effektuttag. Differensen som erhålls styr hur mycket batteriet laddas upp eller ur. Tröskelvärdet för urladdning representerar det aktiva effektuttag som fortfarande dras från elnätet, om differensen inte överstiger batteriets maximala effekt den kan leverera. För uppladdningen representerar tröskelvärdet det aktiva effektuttaget från elnätet som behövs för både Gränby Sportfält och uppladdningen av batteriet, om inte differensen överstiger batteriets maximala effekt vid uppladdningen. För både upp- och urladdning representerar tröskelvärdet det aktiva effektuttaget från elnätet innan hänsyn till verkningsgrad tagits (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

På grund av förluster från batteriets verkningsgrad har ett negativt tröskelvärde valts för batteriet på 2 MWh under lågsäsongen. Det görs för att nå ett aktivt effektuttag från nätet som ligger nära noll då kapaciteten hos batteriet finns (ibid).

Tröskelvärdena har bestämts genom observationer och analyser av genomförda simuleringar. Målet har varit att hitta värden som möjliggör att urladdning kan ske under större delen av det valda tidsintervallet och på samma sätt för uppladdning av varje batteri. De valda tröskelvärdena för högsäsongen kan ses i Tabell 2 och för lågsäsongen i Tabell 3 (ibid).

Tabell 2. Högsäsongens tröskelvärden för alla batterier (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

| Batteri | Urladdning [kW] | Uppladdning [kW] |
|----------------|------------------------|-------------------------|
| 0,5 MWh | 470 | 500 |
| 1 MWh | 450 | 530 |
| 2 MWh | 350 | 650 |

Tabell 3. Lågsäsongens tröskelvärden för alla batterier (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

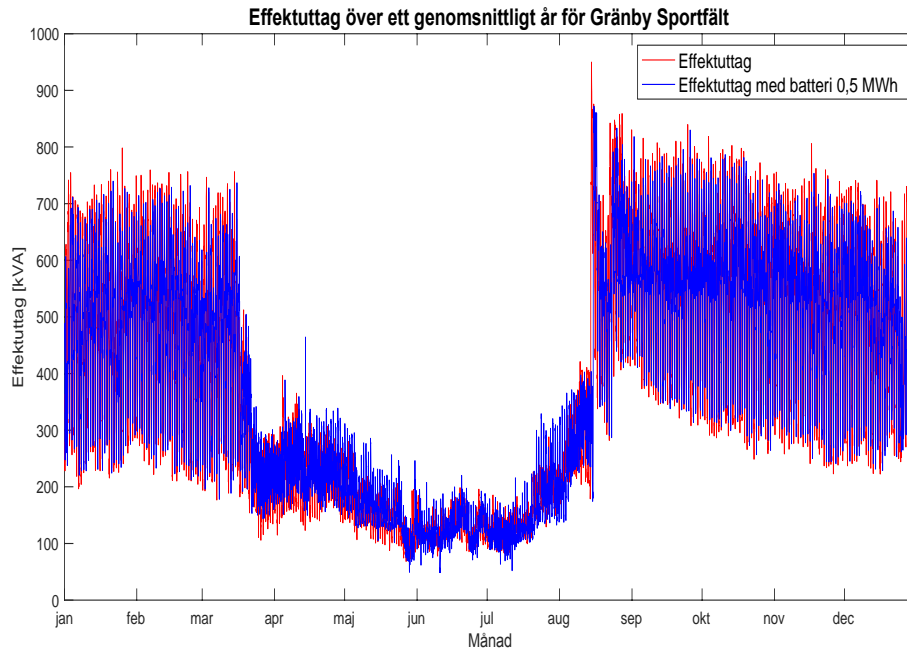
| Batteri | Urladdning [kW] | Uppladdning [kW] |
|----------------|------------------------|-------------------------|
| 0,5 MWh | 110 | 230 |
| 1 MWh | 50 | 300 |
| 2 MWh | -45 | 400 |

4 Resultat

4.1 Batteri

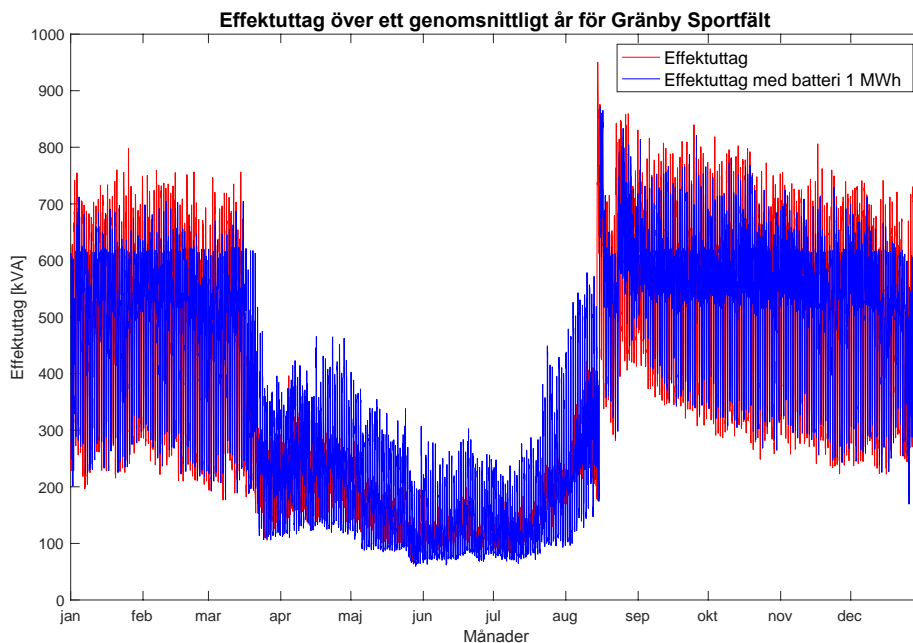
4.1.1 Drift över hela säsongen

Resultaten från simuleringar över ett genomsnittligt år med de olika batteristorlekarna visas i Figur 7–9. Den röda linjen representerar Gränby Sportfältets effektuttag från elnätet idag och den blå representerar effektuttaget från elnätet med ett implementerat batteri. I figurerna representerar de höga dygnsvärdena effektuttaget under dagen och de låga värdena effektuttaget under natten. På grund av förlusterna i batteriet kommer det totala effektuttaget från elnätet vara större med ett implementerat batteri. I Figur 7 kan det ses att batteriet sänker effektuttaget något under dagen. Med ett 0,5 MWh batteri blir effektuttaget mer stabilt vilket är en följd av att effektuttaget minskar under högbelastningstimmarna och höjs under natten. Även detta kan ses i Figur 7 då effektuttaget under natten blir större med batteriet implementerat (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).



Figur 7. Gränby Sportfältets genomsnittliga effektuttag över ett år med och utan ett 0,5 MWh oisolerat batteri (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

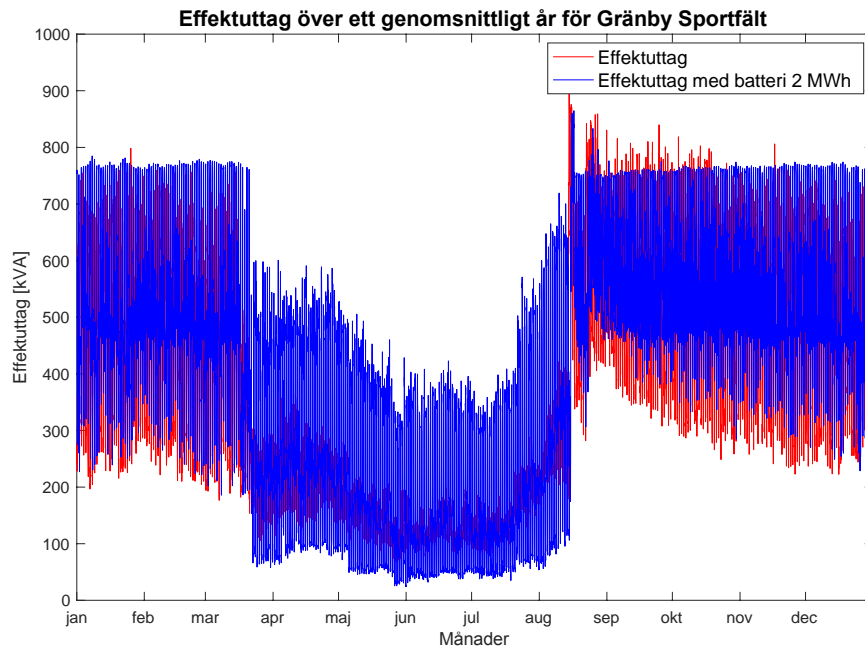
I Figur 8 kan det ses att batteriet på 1MWh sänker effektuttagets toppar mer än batteriet på 0,5 MWh. Under lågsäsong är Gränby Sportfältets effektuttag mer konstant än under högsäsong. Detta gör att batteriet på 1 MWh skapar oscillationer i effektuttaget under lågsäsongen (ibid).



Figur 8. Gränby Sportfältets genomsnittliga effektuttag över ett år med och utan ett 1MWh oisolerat batteri (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

Effektuttaget med ett batteri på 2 MWh visas i Figur 9. Det stora batteriet klarar av att sänka topparna och hålla effektuttaget relativt konstant under högbelastningstimmarna. I Figur 9

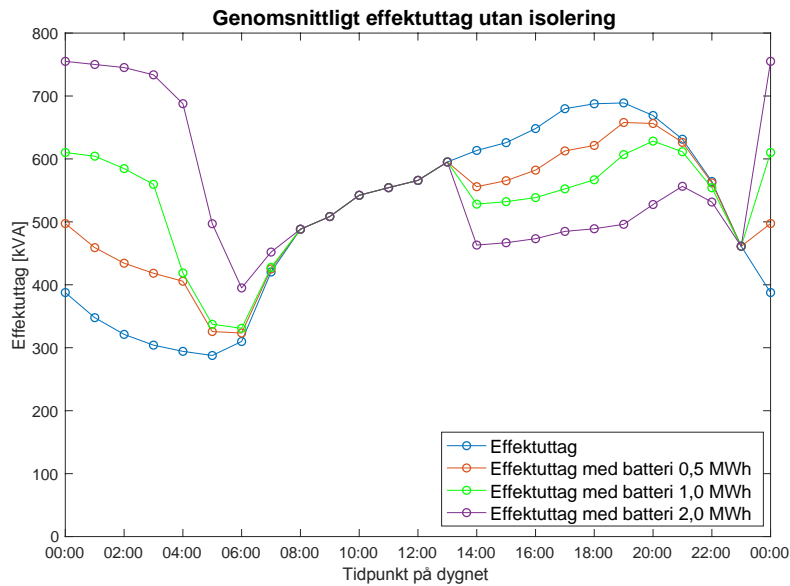
ligger den blåa linjen stundtals över den röda linjen, detta betyder att under uppladdningen av batteriet, som sker under natten, blir effektuttaget större än det hade varit utan batteri på dagen. Med batteriet på 2 MWh oscillerar effektuttaget ännu mer under lågsäsong än för de mindre batterierna (ibid).



Figur 9. Gränby Sportfältets genomsnittliga effektuttag över ett år med och utan ett 2 MWh oisolerat batteri (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

4.1.2 Högsäsong

Resultatet från simuleringen redovisas även i en graf där ett genomsnittsvärde för effektuttaget varje timme på dygnet har tagits fram för högsäsongen, se Figur 10. Det går tydligt att se hur ett batteri påverkar effektuttaget både under natten och dagen. Batteriet med en lagringskapacitet på 2 MWh höjer effektuttaget med cirka 250–400 kVA under natten samt sänker effektuttaget under dagen med cirka 200 kVA. Resultatet för batteriet på 0,5 MWh ligger relativt nära det ursprungliga effektuttaget (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).



Figur 10. Skenbara effektuttaget för ett genomsnittligt högsäsongsdrygn med oisolerat batteri (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

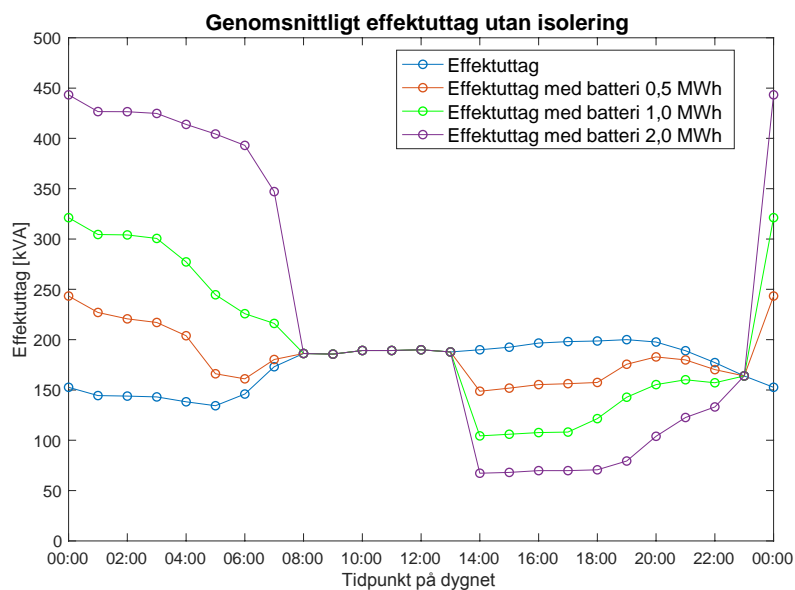
Batteristorleken har stor betydelse för hur mycket av effekttopparna som går att reducera. Hur mycket de olika batterierna reducerar för högsäsongen i genomsnitt per dag under de timmar batteriet laddar ur kan ses i Tabell 4. Det går att se ett linjärt samband mellan storleken av batterierna och andelen reducerad effekt. Dock gör inte isoleringen någon avsevärd inverkan på hur mycket man kan reducera (ibid).

Tabell 4. Andelen procentuell effektkapning mellan klockan 14 och 22 under högsäsong med och utan isolering för de olika batteristorlekarna (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

| Batteri | Utan isolering [%] | Med isolering [%] |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| 0,5 MWh | 6,41 | 6,78 |
| 1 MWh | 12,1 | 12,8 |
| 2 MWh | 23,1 | 24,3 |

4.1.3 Lågsäsong

I Figur 11 kan det tydligt ses att Gränby Sportfält varken har ett stort effektuttag eller några stora oscillationer i uttagen effekt över ett medeldygn under lågsäsong. Det är möjligt att minska anläggningens effektuttag de timmar som elnätet i Uppsala kommun har högst belastning, likt högsäsongen. Dock leder det till en större variation av effektuttag under dygnet. För ett batteri på 2 MWh blir effektuttaget nästan 450 kVA vid midnatt. Med ett batteri på 0,5 MWh blir det inte lika stor minskning av effektuttaget under högbelastningstiden, men istället fås inte lika varierande effektuttag över ett dygn (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).



Figur 11. Skenbara effektuttaget för ett genomsnittligt lågsäsongsdagn med oisolerat batteri (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

I Tabell 5 kan tydligt ses att effektkapningens procentuella andel blir större för lågsäsong än högsäsong. Detta då det är ett mindre effektuttag som behöver kapas. Även här går det att se ett linjärt samband mellan effektkapningen och batteriets storlek. Vidare har inte isoleringen någon större inverkan under lågsäsongen än vad den har under högsäsongen (ibid).

Tabell 5. Andelen procentuell effektkapning mellan klockan 14 till 22 under lågsäsong med och utan isolering för de olika batteristorlekarna (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

| Batteri | Utan isolering [%] | Med isolering [%] |
|---------|--------------------|-------------------|
| 0,5 MWh | 15,17 | 15,61 |
| 1 MWh | 33,38 | 34,21 |
| 2 MWh | 55,27 | 55,66 |

4.1.4 Förluster

Den totala energiförbrukningen för Gränby Sportfält uppgår till 3 000 MWh utan batteri för ett genomsnittligt år (Ahlm 2019a). Energiförlusten för ett år med flödesbatteri, med och utan isolering, presenteras i Tabell 6. I tabellen går det även att se den procentuella andelen av förlusterna i förhållande till Gränby Sportfälts totala energiförbrukning utan batteri. Från tabellen går det att se ett linjärt samband mellan förlusterna och storleken på batteriet. När batteriet ökar med en faktor två ökar förlusterna med samma faktor. Ur tabellen går det även att se att ett isolerat batteri sänker förlusterna (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

Tabell 6. De totala energiförlusterna under ett år och dess procentuella andel av totala energiförbrukningen för alla batterier med och utan isolering (Redander, Toivonen & Lundquist 2019c).

| Batteri | Utan isolering [MWh] | Procentuell andel [%] | Med Isolering [MWh] | Procentuell andel [%] |
|---------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 0,5 MWh | 84,70 | 2,82 | 71,24 | 2,37 |
| 1 MWh | 168,1 | 5,60 | 141,8 | 4,73 |
| 2 MWh | 336,9 | 11,2 | 285,3 | 9,51 |

4.1.5 Ekonomi

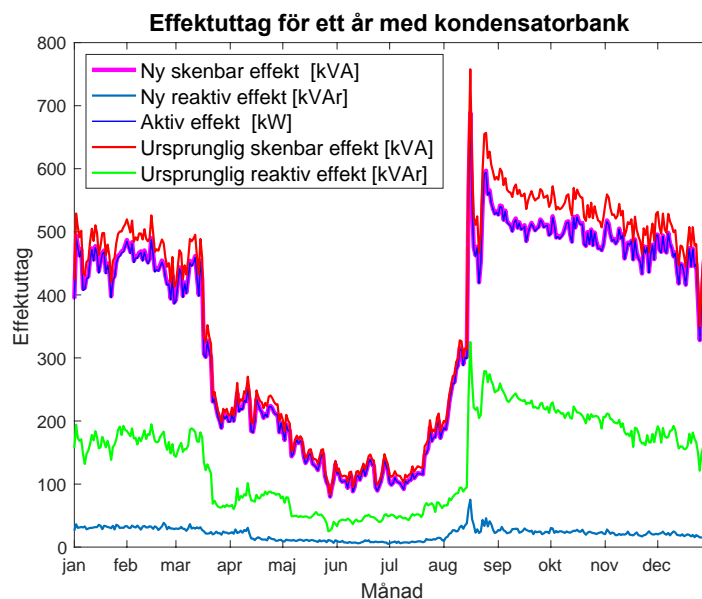
Genom att installera ett batteri för energilagring går det att minska elnätskostnaderna vid Gränby Sportfält. Det är främst effekt- och elöverföringsavgiften som kan sänkas då priserna för dessa varierar beroende på vilken tid på dygnet energin tas från nätet. Att dessa kostnader kan sänkas innebär inte att investeringen i ett batteri behöver bli en lönsam affär. Investeringskostnaden kan mycket väl vara så stor att batteriet aldrig återbetalar sig (Backéus, Edström & Paulsson 2019).

4.2 Kondensatorbank

4.2.1 Drift

En kondensatorbank med kapacitet på 250 kVAr skulle kunna tillgodose C- och Relitahallen med majoriteten av den reaktiva effekt som idag dras från elnätet. Beräkningar visar att en implementering av nämnda kondensatorbank skulle kunna höja Gränby Sportfältets effektfaktor till ett intervall på 0,926–1, med ett genomsnitt på 0,998 (Ahlm 2019b). Detta illustreras i Figur 12–14 nedan.

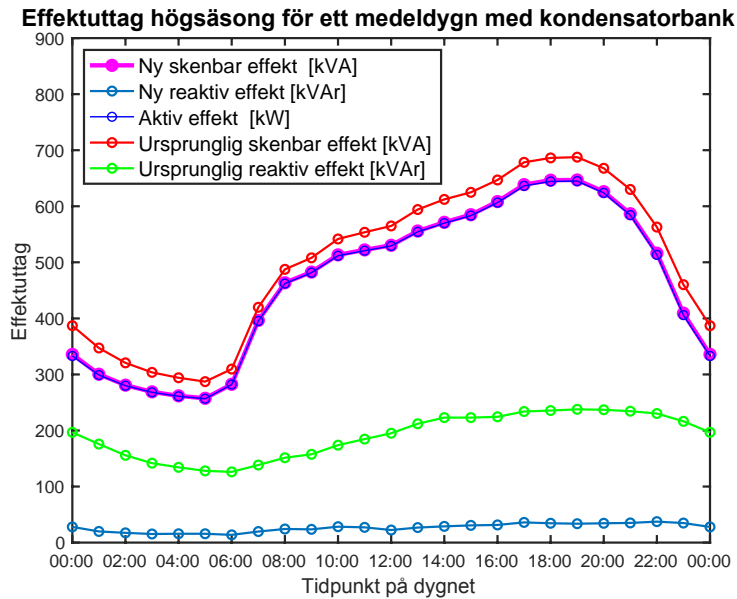
Ur Figur 12 kan utläsas att Gränby Sportfältets reaktiva effekt får en försumbar inverkan på den skenbara effekten med en kondensatorbank på 250 kVAr. Från mitten av augusti till början av september kan en effekttopp uttydas. Denna effekttopp korrelerar med den tid på året då samtliga ishallar normalt tagits i bruk, vilket också bekräftas av den aktiva effektens samtida topp. Detta är den tid på året då effektuttaget på Gränby Sportfält är som störst (ibid).



Figur 12. Gränby Sportfältets effektuttag för ett genomsnittligt år (ibid).

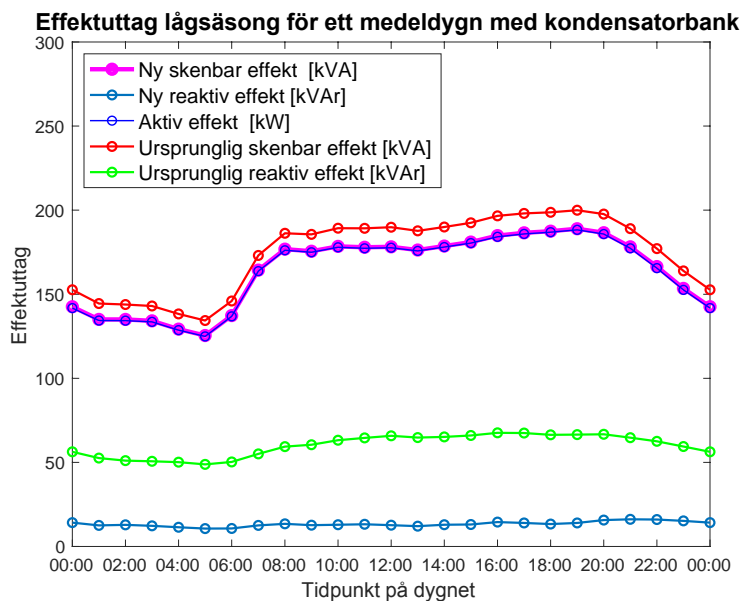
Även Figur 13 nedan bekräftar att den reaktiva effekten numera har en försumbar inverkan på den skenbara effekten. Majoriteten av denna reaktiva effekt härstammar från A- och B-hallen. C- och Relitahallens bidrag är efter implementering av kondensatorbanken marginell. C- och Relitahallens reaktiva effekt antar dock sällan värdet noll, detta då kondensatorbanken arbetar i block om 12,5 kVAr. Den reaktiva effekten för C- och Relitahallen elimineras endast helt i de fall då den antar värden som är en multipel av 12,5. I övrigt antar den värden mellan 0 och 12,5

kVAr förutom de fall då den reaktiva effekten överstiger kondensatorbankens kapacitet på 250 kVAr, för vilket restvärden större än 12,5 kVAr kan uppstå (ibid).



Figur 13. Gränby Sportfältets effektuttag under ett genomsnittligt högsäsongsdygnet (ibid).

Figur 14 bekräftar att utfallet blir detsamma för lågsäsong som för högsäsong. Den reaktiva effekten elimineras inte helt men dess bidrag till den skenbara effekten blir försumbar.



Figur 14. Gränby Sportfältets effektuttag under ett genomsnittligt lågsäsongsdygnet (ibid).

4.2.2 Ekonomi

Investeringskostnaden uppskattas till 100 000–120 000 kr, beroende på om övertoner finns i systemet eller inte. Sportfastigheter har idag ett abonnemangsavtal med Vattenfall som innebär att de endast betalar en straffavgift vid ett eventuellt överuttag av reaktiv effekt, en straffavgift som idag uppgår till 3800 kr om året. Med dagens elabonnemang skulle återbetalningstiden då

bli minst 26 år. Detta skall jämföras med den uppskattade livslängden för en kondensatorbank på 15–20 år (ibid).

5 Diskussion

Resultatet påverkas av valet av tröskelvärden som används i modellen. Ett för högt tröskelvärde gör att batteriets fulla kapacitet inte används och ett för lågt tröskelvärde gör att batteriet inte hinner laddas upp. Valet av tröskelvärde till upp- och urladdning för varje batteri är framtaget empiriskt, vilket gör det till en betydande felkälla i resultatet. För att minimera risken av ett dåligt valt tröskelvärde bör en bestämd metod för valet av tröskelvärde tas fram i ett framtida arbete. Vidare är även den framtagna metoden för batteriets verkningsgrad en felkälla i simuleringen. Verkningsgraden är endast beroende av ett fåtal parametrar. De två parametrar som används är dels ett medeltal av olika strömtätheter i kablarna från batteriet samt de olika omgivningstemperaturerna. Andra faktorer som skulle kunna påverka verkningsgraden är storleken av effektuttaget från batteriet samt antalet laddningscykler.

Ett tydligt samband i modellen som ges från resultatet är det linjära förhållandet mellan batteristorlek, energiförluster och andelen reducerade effekttoppar. När någon av dessa tre delar höjs eller sänks gör de andra också det. Detta samband kan härledas till att förlusterna till stor grad beror av hur stor effekt batteriet kan ge ut till anläggningen specificerat per timme, vilket förstärks då batteristorleken blir större. På samma vis ökas andelen reducerad effekt med ett större batterilager. Förlusterna kan dock minskas till viss del genom att isolera batteriet. Vid implementering av ett flödesbatteri bör man jämföra andel effekttopp som kan reduceras mot hur stora energiförluster som kan tolereras. För ett batteri på 2 MWh fås exempelvis 11% energiförluster av den totala årliga förbrukningen. Detta motsvarar nästan 1000 drifttimmar på Gränby Sportfält.

Som alternativ till ett flödesbatteri passar ett litiumjonbatteri bäst. Det har stor lagringskapacitet, högt effektuttag och högre verkningsgrad än ett flödesbatteri. Ett litiumjonbatteri kan mycket väl vara ett bättre alternativ än ett flödesbatteri då tekniken dessutom är mer mogen. Litiumjonbatterier finns även installerade och används på flera platser i världen. Tekniken för flödesbatterier befinner sig fortfarande i demonstrationsfasen och kan inte ses som en etablerad teknik. De har även ett högre pris och lägre verkningsgrad än litiumjonbatterier vilket innebär att energiförlusterna vid uppladdning och urladdning av batteriet blir större. Kostnaden för ett flödesbatteri tenderar därför att bli högre än för ett litiumjonbatteri. Dock har flödesbatterier en lägre miljöpåverkan när energi med lågt miljöavtryck används för uppladdning. Om till exempel vindkraftsproducerad energi används blir flödesbatterier mer fördelaktiga ur miljösynpunkt. Detta innebär att ifall anläggningen strävar efter att tillämpa en miljösmart profil kan flödesbatterier vara ett bättre alternativ än litiumjonbatterier. Dock har litiumjonbatterier i dagsläget många aspekter som verkar övervägande till dess fördel såsom prisbild, verkningsgrad och tillgänglighet på marknaden. Om installation av ett batteri på Gränby Sportfält skulle genomföras idag är därför ett litiumjonbatteri att föredra före ett flödesbatteri. Dock har flödesbatterier god potential att

etablera sig som lagringsteknik inom de närmaste åren och kan därför bli ett fullgott alternativ i framtiden.

Installation av en kondensatorbank skall inte nödvändigtvis ses som ett alternativ till ett batteri, utan snarare som ett supplement. Studien har visat att endast C- och Relitahallen bör förses med en kondensatorbank, då A- och B-hallens bidrag till den skenbara effekten för hela Gränby Sportfält är marginell. En kondensatorbank med kapacitet på 250 kVAr har visat sig kunna höja Gränby Sportfältets effektfaktor från ett intervall på 0,862–0,932 till ett intervall på 0,926–1, med ett genomsnitt på 0,998. Det ses tydligt i Figur 12–14 att den skenbara effekten nu antar samma värden som den aktiva effekten. Detta är resultatet som önskas uppnås med en kondensatorbank. Baserat på den data som använts i denna studie står det klart att en kapacitet över 250 kVAr inte anses nödvändig. Dock bör noggrannare undersökningar av dimensioneringen utföras om Sportfastigheter väljer att gå vidare i ärendet, då dessa beräkningar bygger på framtagna medelvärden. Den, i förhållande till de olika batterityper som tagits upp i denna rapport, låga investeringskostnaden gör att en investering kan anses som skälig, även om de ekonomiska incitamenten för Sportfastigheter idag är låga, på grund av en återbetalningstid på minst 26 år. Det är en 5–10 år längre tidsrymd än kondensatorbankens uppskattade livslängd. Det är dock oklart om kondensatorbanken efter dess uppskattade livslängd anses utjänt eller om livstiden kan förlängas genom byte av individuella kondensatorelement. Nämnvärt är att om Sportfastigheters elabonnemang förändras i framtiden, så att de tvingas betala specifikt för den reaktiva effekt som används, kan en investering i en kondensatorbank snart bli lönsam.

6 Slutsats

Huvudsyftet med flödesbatteriet uppfylls. Batteriet kan reducera effekttopparna från Gränby Sportfältets effektuttag genom att flytta effekttopparna från hög- till lågbelastningstimmarna. Detta görs i olika utsträckning beroende på vilken typ av batteri som används. Flödesbatterier är dock endast i demonstrationsfasen och är ännu en ganska oprövad teknik, därav borde alternativa lösningar undersökas mer utförligt. Ett litiumjonbatteri kan vara en sådan.

För en investering i en kondensatorbank finns inga ekonomiska incitament. Den förhållandevis låga investeringskostnaden innebär dock att den ändå bör övervägas. Denna studie har visat att en kondensatorbank skulle kunna neutralisera den reaktiva effektens bidrag till den skenbara effekten och därmed höja systemets effektfaktor väsentligt, vilket innebär att hela Gränby Sportfältets effektuttag minskas. En investering i ett batteri utesluter således inte investering i en kondensatorbank, dessa tekniker kan snarare komplettera varandra.

7 Referenser

- Ahlm, N. (2019a). *Data*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-07).
- Ahlm, N. (2019b). *Effekt och kondensatorbank*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-12).
- Backéus, J. (2019a). *Flödesbatterier i bruk*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-08).
- Backéus, J. (2019b). *Övriga lösningar*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-09).
- Backéus, J., Edström, E. & Paulsson, K. (2019). *Ekonomi*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-11).
- Edström, E. (2019a). *Teknisk bakgrund*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-02).
- Edström, E. (2019b). *Miljöpåverkan*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-10).
- Nohrstedt, L. (2019). "Effektbehovet är den stora utmaningen". *Ny Teknik*, 14 mars.
- Paulsson, K. (2019). *Bakgrund flödesbatterier*. Uppsala. (Energisystem Rapport ES3-2019-5-01).
- Redander, J. (2019). *Uppsala och Sport- och rekreationsfastigheter AB*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-05).
- Redander, J. Toivonen, J. & Lundquist, P. (2019a). *Simulering - Förluster*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-03).
- Redander, J. Toivonen, J. & Lundquist, P. (2019b). *Simulering- Metod*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-03).
- Redander, J. Toivonen, J. & Lundquist, P. (2019c). *Simulering - Resultat*. Uppsala. (Energisystem Rapport, ES3-2019-5-03).

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energiogteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000