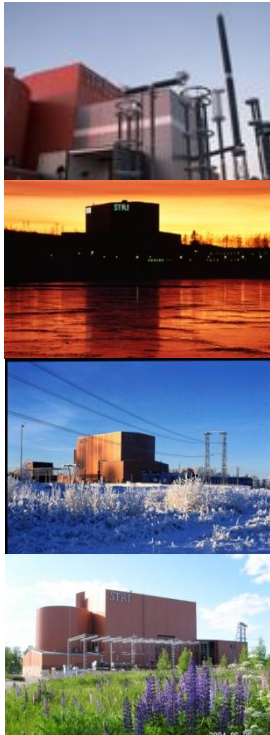




Rapport R16-1250



# STRII

*Solel, energilager, ödrift och  
självförsörjning - förstudie*

*av*

*Gustavo Pinares,  
Oscar Lennerhag*



# STRII

Consulting, Software and Testing

Box 707, SE-77180 LUDVIKA, Sweden Telephone +46 240 795 00 Telefax +46 240 150 29 [www.stri.se](http://www.stri.se) [stri@stri.se](mailto:stri@stri.se)

Författare	Gustavo Pinares, Oscar Lennerhag
Datum	13 januari 2017
Distribution till	Kathrine Abrahamsen, High Voltage Valley
Kundens referens	
Antal sidor i huvuddokument	11
STRIs projektnr.	87372
Distribution STRI	sid 1-3 VD, Q, K, P, PO, E (Elin)
Copyright:	Utan skriftligt tillstånd från STRI AB får publicering eller kopiering av innehållet i denna rapport endast ske i sin helhet.
Rapport version 2.1	

## Sammanfattning

High Voltage Valley (HVV) är intresserat av att utföra en studie om möjligheterna att förse utvalda laster i Ludvika med hjälp av ovan nämnda resurser. I detta avseende har STRI fått uppdraget av HVV att utföra en förstudie med de följande målen:

- 1) Ta fram en grov dimensionering (ungefärlig storlek) på energilagringssystem.
- 2) Föreslå fortsatta studier.

Målet med förstudien är att undersöka möjligheten att köra en del av distributionsnätet i Ludvika i ö-drift. Tanken är att vid en nödsituation kunna förse ett antal utvalda laster med energi. Energiresurserna antas i denna studie omfatta småskalig vattenkraft, solpaneler och energilagring.

Studien fokuserar initialt på dimensionering av energilager för att tillhandahålla två systemtjänster: ”load peak shaving” (kapning av belastningstoppar) och ”firm power” (utjämning av variationer i solproduktion). För att utföra beräkningarna har timvärden på belastning och solproduktion antagits med tanke på systemets geografiska läge. Principen bakom kapning av belastningstoppar (load peak shaving) är att energi kan lagras vid perioder med låg efterfrågan och levereras under perioder med hög efterfrågan. På detta sätt kan flera kunder förse med el. De förenklade beräkningar som gjorts i denna förstudie visar att energilagret behöver en kapacitet på cirka 592 kW/2760 kWh för denna tjänst (detta innebär att man kan mata 592 kW ytterligare hushållslaster). Genom att jämna ut variationer i solproduktion (firm power) kan systemets elkvalitet förbättras eftersom snabba effektvariationer undviks. I denna förstudie är beräkningarna genomförda för två olika varianter av denna tjänst. I det första fallet antas det att energilagret ackumulerar hela solpanelernas produktion under dagen, för att sedan ladda ur energin nattetid. I detta fall är den kapacitet som beräknats 86 kW/608 kWh. I det andra fallet används energilagret enbart för att lagra och ladda ur tillfälliga energiavvikelser (inom ett intervall på några minuter) från en förutspådd genomsnittlig produktion. I ett sådant fall behövs en kapacitet på 66 kW/16,5 kWh.

Studien avslutas med en diskussion om vad som bör tas hänsyn till om avsikten är att bedriva systemet i ö-drift. Enligt den genomförda litteraturstudien är ö-drift av ett system som det som beskrivs här komplicerat, särskilt med tanke på de begränsningar som finns hos små vattenkraftverk vad gäller frekvensreglering och variationer i solproduktion. Således föreslogs som det första ämnet för vidare undersökning att studera huruvida det är genomförbart att driva det antagna systemet från en frekvensreglerings- och systemstabilitetssynpunkt. Det bör också noteras att den dimensionering av energilager som utförts i denna studie är förenklad och den bör således betraktas som ett illustrativt exempel. Därför föreslås även att i en vidare undersökning definiera de tjänster som bör tillhandahållas av energilagret, och att välja eller utveckla en metod för dimensionering av energilagret. Denna dimensioneringsmetod bör vara lämplig för det faktiska systemet som behandlas i studien.

**Innehåll**

Sammanfattning .....	1
Innehåll.....	2
1 Inledning.....	3
1.1 Bakgrund och syfte.....	3
2 Systembeskrivning .....	3
3 Batterilager – nyttor och dimensionering .....	5
3.1 Dimensionering av batterilager för kapning av lasttoppar .....	6
3.2 Dimensionering av batterilager för utjämning av effektvariationer .....	7
4 Diskussion och Slutsats .....	8
4.1 Frekvensreglering och stabilitet .....	9
4.2 Spänningsreglering.....	9
5 Rekommendationer och fortsatta studier .....	9
5.1 Dynamiska studier.....	9
5.2 Energilager för ödrift.....	10
6 Referenser.....	11

## 1 Inledning

I denna förstudie undersöks huruvida det är genomförbart att bedriva ett distributionssystem i ö-drift med hjälp av energilager. Det antagna systemet består av ett litet vattenkraftverk, solpaneler, ett energilagringssystem (ELS) och ett antal utvalda laster. Studien fokuserar initialt på dimensionering av ELS för två olika ändamål i syfte att illustrera fördelarna med att inkludera energilager i systemet. Studien fortsätter sedan med en diskussion om vad som bör tas hänsyn till ifall systemet ska köras i ö-drift. Slutligen presenteras två förslag till fortsatta studier.

### 1.1 Bakgrund och syfte

High Voltage Valley (HVV) är intresserat av att utföra en studie om möjligheterna att förse utvalda laster i Ludvika med hjälp av ovan nämnda resurser. I detta avseende har STRII fått uppdraget av HVV att utföra en förstudie med de följande målen:

- 1) Ta fram en grov dimensionering (ungefärlig storlek) på ELS.
- 2) Föreslå fortsatta studier.

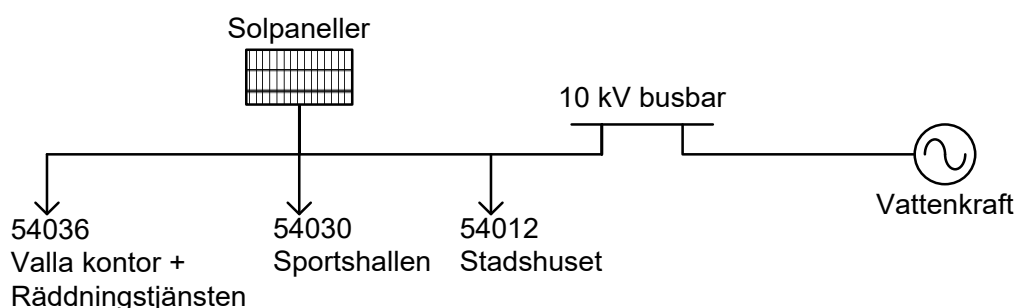
För att uppnå målen har en litteraturstudie utförts. Litteraturstudien har fokuserat på både utnyttjande och dimensionering av ELS med distribuerad generering och drift av små vattenkraftverk i ö-drift. Även om dimensioneringen av ELS har utförts mycket grovt, krävs ändå data med en viss detaljnivå. Således har historisk data antagits vilket beskrivs i senare avsnitt. Idéerna för framtida arbete som presenteras i denna rapport kommer från den genomförda litteraturstudien samt STRIIs tekniska erfarenheter.

## 2 Systembeskrivning

Figur 2-1 visar en skiss av systemet som studerats. Systemet består av en del av ett distributionsnät (nominell spänning 10 kV). Enligt information från VB Energi [1], [2] skulle systemet bestå av följande komponenter ifall det körs i ö-drift

- Ett vattenkraftverk med en kapacitet på 3500 kW
- En solkraftsanläggning monterad på Ludvikas sporthall, på taket samt på den södra och västra fasaden.
- Ett urval av laster vilka indikeras i Tabell 2-1.

Den nominella effekt, lutning och väderstreck (azimut) som antas för solpanelerna visas i Tabell 2-2. Det bör nämnas att dessa antaganden är baserade på uppgifter från Ludvika Kommun [2]. Den geografiska placeringen av sporthallen har antagits som latitud  $60.151^\circ$ , longitud  $15.191^\circ$ . Solproduktion under ett år har erhållits genom en databas med soldata [4]. Genom att använda [4] är det möjligt att simulera timvärden för produktion från vind- och solkraft under en viss tidsperiod. Det bör nämnas att resultatet i [4] kommer från metoder som presenteras i [5] och [6]. I vårt fall har timdata motsvarande år 2014 erhållits. Som ett exempel visas dagen med den maximala produktionen från sol (i kWh / h) i Figur 2-2.



Figur 2-1 Det studerade systemet

Tabell 2-1 Utvalda laster – max last (medeltimedeffekt) för 2015

Anläggningar	Max last (kW)
Stadshuset	26
Valla kontor	42
Räddningstjänsten	65
Sporthallen	241
Total <sup>1</sup>	374

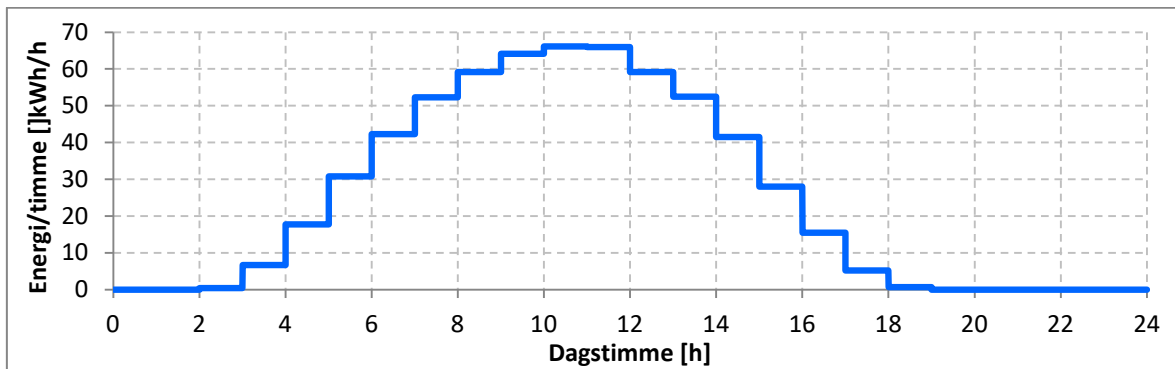
Tabell 2-2 Data solpaneler

Solpanel	Effekt (kW)	Lutning	Azimut
Tak	66	25°	180°
Sydorienterad	9.66	90°	180°
Västororienterad	10.35	90°	270°

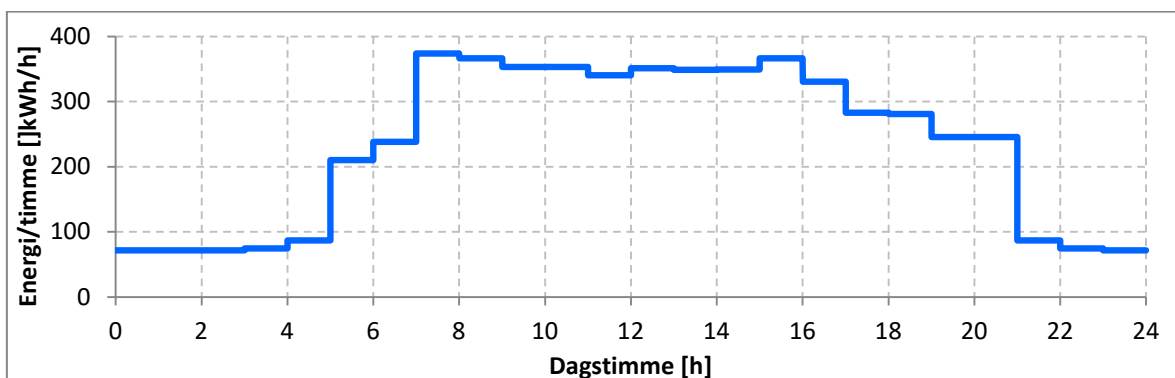
När det gäller belastning har en lastprofil fått från [7]. I [7] kan mätningar som motsvarar år 2004 för olika platser i USA hittas. Antagen data motsvarar ett stort kontor i Seattle. Denna typ av last har antagits främst på grund av det geografiska läget (norra delen av USA). Det bör dock beaktas att konsumtionsmönster kan skilja sig avsevärt mot hur det är i Ludvika, särskilt när det gäller användningen av luftkonditionering. Lasten har skalats om för att motsvara den högsta totala belastningen från Tabell 2-1, det vill säga 374 kW. Som ett exempel visas dagen med maximal last i Figur 2-3.

Från de uppgifter som har erhållits framgår det att kapaciteten hos vattenkraftverket vida överstiger den last som ska matas. Detta innebär att ytterligare laster utöver de i Tabell 2-1 kan matas i händelse av ö-drift. Således har det, i illustrationssyfte, antagits att det är möjligt att mata ytterligare hushållslaster. Data som använts har återigen erhållits från [7], i det här fallet motsvarande ett bostadsområde i Seattle. Dagen med maximal last visas i Figur 2-4, normaliserad mot den för Ludvika maximala lasten.

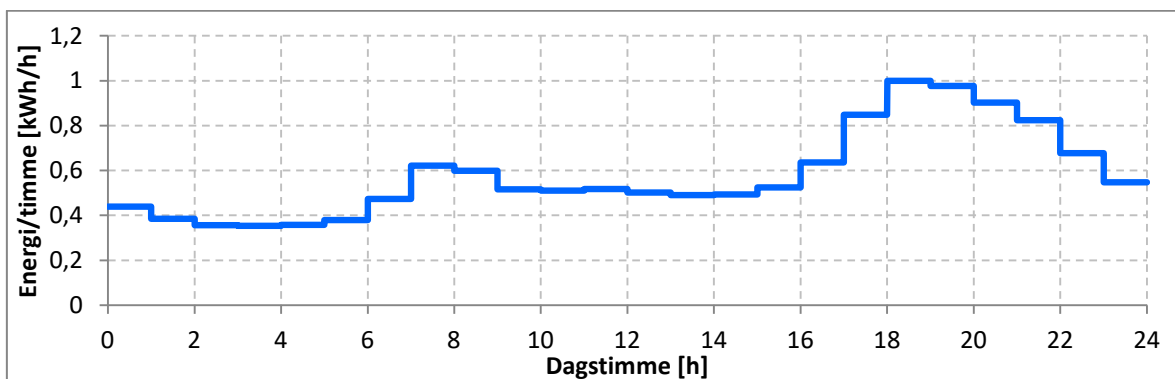
<sup>1</sup> Här antas att den maximala förbrukningen äger rum samtidigt, vilket inte nödvändigtvis är fallet.



Figur 2-2 Maximal solproduktion (29 maj 2014).



Figur 2-3 Maximal kontorslast (22 augusti 2004).



Figur 2-4 Maximal hushållslast (1 juni 2004).

### 3 Batterilager – nytta och dimensionering

Användningen av energilager ger ett antal fördelar, som nämnts i [9]. Bland dem kan nämnas:

- 1) *Load peak shaving* (kapning av lasttoppar): Under tidpunkter med hög förbrukning matas lasten med energi lagrad i ELS. På detta sätt är utnyttjandet av nätet maximerat [8].
- 2) *Firm power* (utjämning av effektvariationer): Energilager kan jämna ut fluktuationer från variabla energikällor som vind- och solkraft [10], [11].

- 3) *Frekvensregleringsstöd*: ELS kan bidra till att öka systemets tröghetsmoment och bidra till primärreglering [12].
- 4) *Spänningregleringsstöd*: Normalt ansluts ELS till kraftsystemet via omriktare. Genom dessa omriktare, är det möjligt att injicera reaktiv effekt, och därmed styra spänningen.
- 5) *Förbättring av systems dynamiska prestanda*: ELS kan också förbättra systemets dynamiska prestanda, till exempel genom dämpning av effektsvängningar.
- 6) *Systemåterställning*: Vid en blackout kan systemet återställas med hjälp av ELS.

Enligt den undersökning som har genomförts i [9] anses batterier vara den mest lämpade teknologin för energilagring, med ett stort användningsområde. Dessutom sker såväl kostnadsminskningar och tekniska framsteg i en snabb takt, varför valet i denna förstudie har fallit på ett batterilagringssystem (BLS).

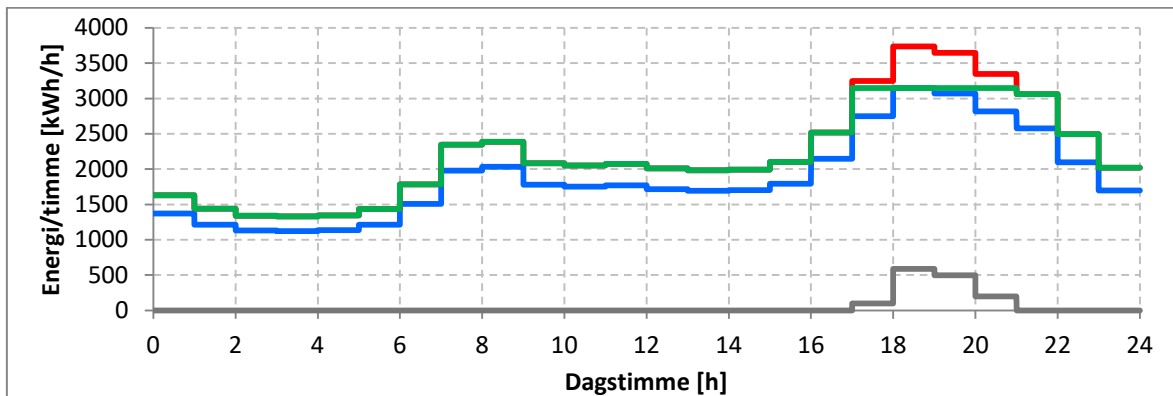
Dimensioneringen av batteriet beror huvudsakligen på tillämpningen. Normalt skulle punkt 1) kräva en större batteristorlek jämfört med 2), 3), 4) och 5). Med tanke på data som är tillgänglig i denna förstudie är det möjligt att grovt beräkna den nödvändiga storleken på batteriet med avseende på 1) och 2). Det bör nämnas att dimensioneringen av ett batteri är ett optimeringsproblem där ytterligare faktorer och restriktioner bör övervägas (t.ex. batteripriset och energipriset). Men på grund av omfattningen av denna studie har en förenklad dimensionering utförts. Därför bör resultatet ses mer som en illustration av principerna bakom dimensioneringen av energilagring för olika ändamål.

### 3.1 Dimensionering av batterilagring för kapning av lasttoppar

Som tidigare nämnts är vattenkraftverkets kapacitet betydligt större än den last som ska matas (se Tabell 2-1). Om endast denna last ska matas bör dimensioneringen av batterilagring fokusera på 2), 3), 4), 5) och 6). Men med tanke på produktionskapaciteten är det möjligt att leverera energi till flera kunder. I detta fall antas att den extra energi som kan levereras går till bostäder, vilkas lastprofil beskrivs i avsnitt 2. Om man dessutom antar att vattenkraftverket behåller 10% av sin kapacitet som reserv är den maximala effekt som kan levereras  $3500 \times 0.9 = 3150$  kW. Om de ytterligare bostäder som ska matas motsvarar 2960 kW (maximal belastning) kommer den maximala aggregerade belastningen (med solenergi inkluderat och laster från Tabell 2-1) nå 3150 kW (den blå kurvan i Figur 3-1).

Å andra sidan är det med ELS möjligt att lagra energi under tidperioder med låg efterfrågan för att sedan ladda ur energin vid hög efterfrågan. Om man till exempel vill leverera ström till 20 % ytterligare kunder, det vill säga  $2960 \times 1,2 = 3552$  kW, bör batteriet ha en nominell effekt på  $2960 \times 0,2 = 592$  kW. Den energi som behöver lagras i detta fall är 2760 kWh (arean under den grå kurvan i Figur 3-1). Som ett exempel visar Figur 3-1 den aggregerade belastningsprofilen med och utan batterilagring, samt den energi som levereras av batteriet under tidpunkter med hög förbrukning.





Figur 3-1 Aggregerade lastprofiler med solproduktion. Blå: 2960 kW max last utan batterilager. Röd: 3552 kW max last utan batterilager. Grön: 3552 kW max last med batterilager. Grå: Energi levererad av batterilager.

### 3.2 Dimensionering av batterilager för utjämning av effektvariationer

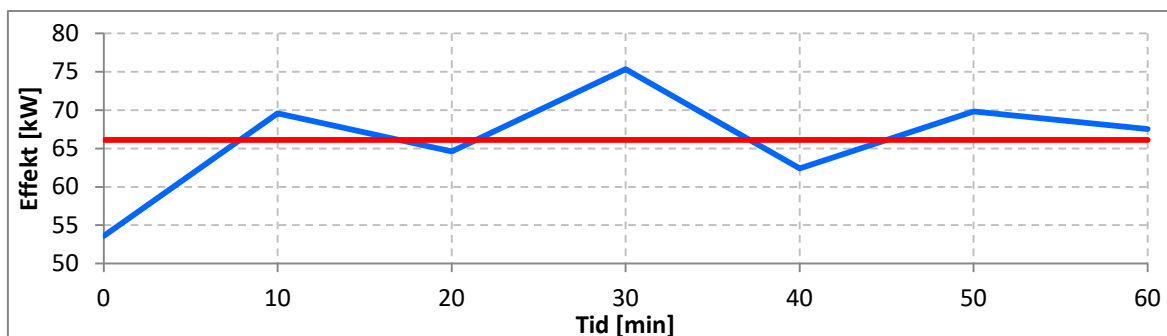
Två sätt där BLS kan användas för att utjämna effektvariationer presenteras i detta avsnitt. I det första fallet antas det att hela solproduktionen lagras i batteriet för att sedan laddas ur nattetid. I detta fall skulle den energi som lagras i batteriet motsvara maximalt 608 kWh. Den nominella effekten skulle därmed motsvara solpanelernas nominella effekt, det vill säga  $66 + 10,35 + 9,66 = 86,01$  kW.

BLS kan även användas på andra sätt för att jämna ut variationer i solproduktion. Figur 3-2 visar en illustration där skillnaden mellan den genomsnittliga produktionen av solenergi jämförs med den omedelbara produktionen. I detta fall kan batteriets nominella effekt väljas som skillnaden mellan den förväntade medeleffekten och den maximala momentana avvikelser. Från Figur 3-2 framgår det att den maximala avvikelser är  $-13$  kW, vilket innebär att batteriets nominella effekt i detta fall skulle vara 13 kW. Ett mer konservativ antagande är att den maximala avvikelser är 66 kW, förutsatt att ett moln passerar området och solpanelerna inte producerar något. Om det antas att fenomenet sker under (till exempel) högst 15 min krävs då en kapacitet på 16,5 kWh. Hänsyn bör också tas till den förväntade ackumulerade avvikelser under dagen, vilken bör vara liten om prognoserna är nära det verkliga värdet. Under natten kan denna energi återföras till lasten.

Det bör återigen nämnas att beräkningarna som gjorts i detta avsnitt är mycket förenklade. Till exempel har laddnings- och urladdningseffektiviteten såväl som batteriets lägsta laddningstillstånd försumrats. Dessutom påverkar priset på batteriet och energin också dimensioneringen. Flera forskningsarbeten i samband med dimensioneringen av batterienergilagring kan hittas i litteraturen och det rekommenderas att gå igenom dem för att bestämma den bäst lämpade metoden för det aktuella fallet.

Tabell 3-1 sammanfattar resultaten från detta avsnitt. Den första tjänsten, kapning av effekttoppar, kräver den högsta kapaciteten, men fördelen med detta är att det gör det möjligt att mata flera kunder när systemet drivs i ö-drift. Vid nätansluten drift, kan batteriet användas till att lagra energi vid lågt elpris för att senare sälja den när priserna är höga. Ifall batterilagret används till att jämna ut variationer i produktion

krävs en mycket lägre kapacitet än vid kapning av effekttoppar, eftersom det endast behöver täcka variationerna i solenergi. Fördelen med denna tjänst då systemet drivs i ö-drift är att det minskar effektfluktuationer orsakade av solenergi, vilket underlättar frekvensregleringen i systemet.



Figur 3-2 Solproduktion under en timme med maximal produktion. Röd: Genomsnittlig effekt. Blå: Omedelbar effekt.

Tabell 3-1 Effekt och kapacitet för olika tjänster

Tjänster	Effekt (kW)	Energi (kWh)
Peak shaving	592	2760
Firm power 1	86	608
Firm power 2	66	16.5

## 4 Diskussion och Slutsats

Syftet med denna studie har varit att undersöka möjligheten att driva delar av Ludvika i ö-drift vid en nödsituation. Avsikten är att använda batterilagret i systemet och i denna studie har en grov dimensionering genomförts för två olika typer av tjänster: kapning av lasttoppar och utjämning av effektvariationer. Kapning av lasttoppar kräver högst kapacitet på batterier, men gör det också möjligt att förse flera kunder med energi. Vid nätansluten drift är det möjligt att köpa och lagra energi vid lågt respektive högt elpris. För att utjämna effektvariationer krävs betydligt lägre kapacitet, främst på grund av det faktum att batterilagret bara behöver ta hand om solenergens variabilitet. Fördelen med en sådan tjänst är att den förbättrar systemets elkvalitet eftersom den undviker snabba variationer i effekt.

Under utvecklingen av denna studie har det noterats att ö-drift är en komplex uppgift där det behövs ytterligare undersökningar. I den granskade litteraturen hävdas att systemet stängts ner i händelse av oavsiktlig ö-drift [13], [14]. Med ökningen av förnybara energikällor som är anslutna till distributionssystem och en introducering av energilagret i nätet har forskningen ökat i riktning mot ö-drift. Förutom dimensioneringen av energilagret finns det tekniska problem som bör undersökas innan avsiktlig ö-drift sker. Dessa diskuteras i korthet i nästa kapitel.

#### 4.1 Frekvensreglering och stabilitet

Det studerade systemet är beroende av ett vattenkraftverk vars frekvensregleringskapacitet bör utredas. Om möjligt bör vattenkraftverket förses med en isokron frekvensregulator så att frekvensen automatiskt justeras vid belastningsvariationer. Således är det viktigt att veta i detalj hur generatorns styrsystem är utformat i syfte att undersöka, möjligen genom simulering, om variationerna i frekvens är acceptabla. Med lämpliga styralgoritmer kan batterilager också stödja frekvensregleringen genom att simulera mekanisk tröghet och även genom att styra effekten för frekvensavvikelser på liknande sätt som primärreglering.

Systemets stabilitet bör också utvärderas. Systemet bör överleva i fall av oförutsedda händelser såsom plötsliga lastbortfall. I fall systemet uppvisar ett instabilt beteende kan algoritmer implementeras i BLS för att stabilisera systemet. Ett annat extremfall skulle vara att vattenkraftverket kopplas från. I detta fall kan batterilagret vara utformat så att det driver systemet under en viss tid. Denna period bör vara tillräcklig för att lokala nödgeneratorer ska hinna starta.

#### 4.2 Spänningsreglering

En annan viktig aspekt är systemets förmåga att behålla spänningarna inom acceptabla gränser. Således är det viktigt att känna till spänningsregleringskapaciteten hos vattenkraftverket. Det observeras från diagrammen som ges av VB Energi generatorn är ansluten via en 10 kV ledning, vilket innebär att ett spänningsfall förväntas hos kunderna. Batterilager kan också bidra till kontroll av systemspänningen genom sina omriktare.

### 5 Rekommendationer och fortsatta studier

Som tidigare har nämnts är avsikten med denna förstudie också att föreslå idéer för fortsatt arbete. Följande två ämnen anses vara viktigast:

#### 5.1 Dynamiska studier

För att säkerställa integriteten hos systemet i ö-drift krävs en fullständig dynamisk studie. I denna studie undersöks systemets stabilitet vid olika eventualiteter. Dessutom utreds frekvensavvikelser till följd av normala belastningsvariationer samt för oförutsedda händelser i syfte att bedöma om systemet klarar kraven från relevanta internationella normer. Möjligheten att använda batterilager för systemstabilisering kommer att undersökas.

För att kunna utföra de studier som nämnts ovan behövs följande data

- Beskrivning av vattenkraftverket (typ av vattenkraftverk).
- Detaljerad beskrivning av regulator och magnetiseringssystem.
- Mekaniska och elektriska egenskaper hos generatorn.
- Distributionsnätets elektriska parametrar.

- Historisk information om lasten.
- Förväntad produktion från solpanelerna.

Med avseende på produktionen från solpanelerna bör detta komma från tidigare studier vid utformningen av anläggningen. En genomgång av tillgängliga algoritmer för stabilitetsförbättring i ö-drift ska göras baserat på tidigare akademisk och industriell forskning.

De förväntade resultaten från denna studie är rekommendationer om åtgärder som behöver genomföras för att säkerställa stabil drift av systemet. Dessutom bör energilager övervägas och studien bör föreslå dimensioner för energilagret samt styralgoritmer som bidrar till att förbättra systemets dynamiska prestanda.

## 5.2 Energilager för ödrift

Förutom att förbättra systemets stabilitet kan energilagret användas för att tillhandahålla olika systemtjänster vilka nämns i avsnitt 3. Förenklade beräkningar utfördes i denna förstudie med antagen solproduktion och förbrukning. Således rekommenderas det att utföra en mer noggrann undersökning för att först definiera de tjänster som energilagret bör erbjuda i ö-drift. Efter att önskade tjänster definierats kan energilagrets kapacitet bestämmas. För att utföra denna studie behövs följande

- En litteraturstudie bör genomföras för att definiera de tjänster som kan erbjudas för det studerade systemet.
- En litteraturstudie bör genomföras för att definiera dimensioneringsmetoder för de utvalda tjänsterna.
- Historisk information om lasten.
- Förväntad produktion från solpanelerna.
- Historisk och prognoser för energipriset.
- Pris på energilagringssystem.

Det förväntade resultatet av denna studie bör vara en rekommendation av de tjänster som skall tillhandahållas av energilagret tillsammans med dess kapacitet. Dimensioneringen ska göras efter en lämplig metod för respektive tjänst.

## 6 Referenser

- [1] Nätdata Ludvika, mail från Per-Erik Falk, 9-12-2016.
- [2] Info vattenkraftverk Ludvika, mail från Peter Ström, 1-12-2016.
- [3] Information solpaneler Ludvika, mail från Stefan Andersson, 22-12-2016.
- [4] S. Pfenninger, I. Staffell, "Renewables.ninja simulator," Online tool available from: <https://www.renewables.ninja/>
- [5] S. Pfenninger, I. Staffell, "Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data," *Energy* 114, pp. 1251-1265, 2016. Doi: 10.1016/j.energy.2016.08.060.
- [6] I. Staffell, S. Pfenninger, "Using Bias-Corrected Reanalysis to Simulate Current and Future Wind Power Output," *Energy* 114, pp. 1224-1239. Doi: 10.1016/j.energy.2016.08.068.
- [7] Open EI, "Commercial and Residential Hourly Load Profiles for all TMY3 Locations in the United State," Measurement database, available from: <http://en.openei.org/datasets/dataset/commercial-and-residential-hourly-load-profiles-for-all-tmy3-locations-in-the-united-states>
- [8] C. Venu, Y. Riffonneau, S. Bacha, Y. Baghzouz, "Battery Storage System Sizing in Distribution Feeders with Distributed Photovoltaic Systems," *IEEE Bucharest PowerTech*, Bucharest, Romania, 28 June – 2 July, 2009
- [9] M. Hansson, J. Lakso, "Potentialen för lokala energilager i distributionsnäten," Power Circle report, May, 2016, available from: <http://powercircle.org/wp-content/uploads/2016/06/Potentialen-fo%CC%88r-lokala-energilager-i-distributionsna%CC%88ten.pdf>
- [10] X. Y. Wang, D. M. Vilathgamuwa, S.S. Choi, "Determination of Battery Storage Capacity in Energy Buffer for Wind Farm," *IEEE trans. on Energy Conversion*, Vol. 23, No 3, September, 2008.
- [11] Y. Ru, J. Kleissl, S. Martinez, "Storage Size Determination for Grid-Connected Photovoltaic Systems," *IEEE trans. on Sustainable Energy*, Vol. 4, No. 1, January, 2013.
- [12] V. Knap, S.K. Chaudhary, D.I. Stroe, M. Swierczynski, B.I. Craciun, R. Teodorescu, "Sizing of Energy Storage System for Grid Inertial Response and Primary Frequency Reserve," *IEEE trans. on Power Systems*, Vol. 31, No. 5, September, 2016.
- [13] H. Mohammad, H. Mokhlis, A.H.A. Bakar, H.W. Ping, "A review on islanding operation and control for distribution network connected with small hydro power plant," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, No. 8, October, 2011.
- [14] V. Chuvychin, Antans Sauhats, V. Strelkovs, "Problems of frequency control in the power system with massive penetration of distributed generation," *AT&P journal*, 2008. Available from: [http://www.atpjournal.sk/buxus/docs/casopisy/atp\\_plus/plus\\_2008\\_2/plus19\\_23.pdf](http://www.atpjournal.sk/buxus/docs/casopisy/atp_plus/plus_2008_2/plus19_23.pdf)