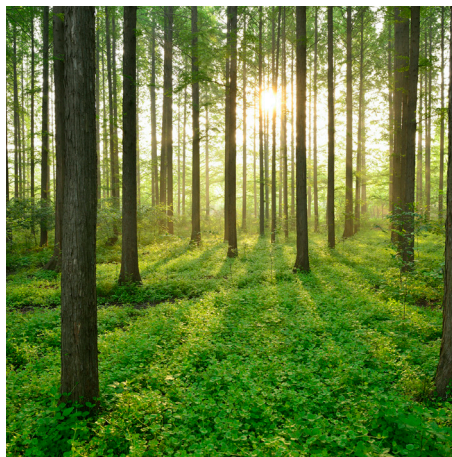
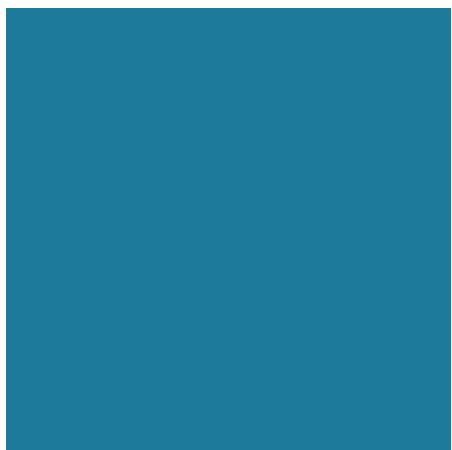


ELKVALITET OCH BATTERILAGER

RAPPORT 2026:1162



RISK- OCH TILLFÖRLITLIGHETS-
ANALYS



Elkvalitet och batterilager

FILIPPA STRÖM, SIMON JOHANSSON, NICLAS KRANTZ,
FINN JONUNG, REJLERS

ISBN 978-91-89918-45-0 | © Energiforsk mars 2026

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Projektet Elkvalitet och batterilager ingår i forskningsprogrammet Risk- och tillförlitlighetsanalys 2021-2025. Projektet har kartlagt hur elnätbolagen jobbar med risk- och sårbarhetsanalyser för att ge en samlad bild av hur elnätbolagen arbetar med risk- och sårbarhetsanalyser.

Projektet har gått igenom gällande lagkrav och författningar samt elnätbolagens processer och arbetssätt för Risk- och sårbarhetsanalyser.

Stort tack till programstyrelsen för deras engagemang i projektet:

- Jenny Paulinder, Göteborg Energi Nät (ordförande)
- Emil Welin, Vattenfall Eldistribution
- Linus Hansson, Ellevio
- Niclas Ericsson, E.ON Energidistribution
- Geoffrey Jordaan, Svenska kraftnät
- Fredrik Andersson, Elinorr
- Magnus Brodin, Skellefteå Kraft Elnät
- Göran Sandström, Umeå Energi
- Hampus Halvarsson, Jämtkraft Elnät
- August Millqvist, Öresundskraft Elnät
- Henric Johansson, Jönköping Energi Nät
- Fredrik Sjödin, Installatörsföretagen
- Carl Johan Wallnerström, Ei (adj)

Följande bolag har deltagit som intressenter till projektet. Energiforsk framför ett stort tack till samtliga för värdefulla insatser.

- Svenska kraftnät
- Ellevio AB
- Vattenfall Eldistribution
- E.ON Energidistribution
- Göteborg Energi Elnät
- Elinorr
- Jämtkraft Elnät
- Öresundskraft
- Skellefteå Kraft
- Umeå Energi
- Kraftringen Nät
- Jönköping Energi Nät
- PiteEnergi Elnät
- Karlstads El och Stadsnät
- Karlskoga Elnät
- Elinorr ekonomisk förening;
- Bergs Tingslags Elektriska
- Blåsjön Nät
- Dala Energi Elnät
- Elektra Nät
- Gävle Energi
- Hamra Besparingsskog
- Hofors Elverk
- Härjeåns Nät
- Härnösand Elnät
- Ljusdal Elnät
- Malungs Elnät
- Sandviken Energi Nät
- Sundsvall Elnät
- Söderhamn Elnät
- Åsele Elnät
- Årsunda Kraft & Belys.fören.
- Övik Energi Nät
- Ei (adj)

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Stockholm i januari 2026

Susanne Stjernfeldt

Sammanfattning

Batterilager kan förbättra elkvaliteten, men är inte ensamt skäl till investering.

Projektets övergripande syfte har varit att reda ut hur batterier kan förbättra elkvaliteten i svenska elnät och att ge underlag för hur nätägare och investerare kan bedöma deras nytta. Projektet har genomförts i två huvuddelar, för det första en teoretisk genomgång med intervjuer och det andra en praktisk undersökning (mätning).

Fältmätningarna och intervjuerna med tre svenska elnätsbolag: Jönköping Energi, Habo Energi och Varberg Energi, visar att batterilager i vissa fall reducerar övertoner och att de i inget fall leder till en försämring i elkvaliteten. I Jönköping kunde en tydlig minskning av total harmonisk distorsion (THD) observeras när ett utav batterierna anslöts, medan en mätning i Habo inte visade på någon tydlig påverkan från batterilagret. Ytterligare en mätning i Jönköping visade inte heller på någon nätpåverkan i och med ett batterilagers tillkoppling. Från intervju med Varberg Energi kunde det konstateras att inte heller här kunde någon negativ påverkan observeras.

Ett batterilagers förmåga att påverka elkvaliteten verkar bero på följande faktorer: hur höga övertonsnivåerna är till att börja med, batterilagrets position relativt övertonernas källa (vilket kan relatera till kortslutningseffekten beroende på nättopologin) samt eventuellt batterilagrets filter.

Batterilagrens förmåga att leverera reaktiv effekt bekräftades i två av de analyserade anläggningarna, och de uppvisade en snabb och stabil respons på börvärdesändringar. Vid provtillfällena fanns ingen reglermod för automatisk spänningsreglering implementerad, men utifrån resultaten bör batterilagren kunna ha god förmåga till att kunna reglera spänningen i sin anslutningspunkt, och på så sätt kunna stötta med spänningshållningen i elnätet.

- Sammantaget visar resultaten att batterilager kan förbättra elkvaliteten genom att:
- Dämpa övertoner.
- Tillhandahålla snabb reaktiv effektkompensering.
- Stabilisera spänningen i sin anslutningspunkt om en reglermod för automatisk spänningsreglering finns implementerad.

Utifrån vad som går att påverka som nätägare spelar det elektriska avståndet roll. Vid placering av nya batterilager kan det därför vara strategiskt att placera dessa i nära anslutning till anläggningar och objekt vilka försämrar elkvaliteten i elnätet.

Trots de positiva bidragen från batterilager bedömer samtliga medverkande elnätsbolag att elkvalitetsnyttan ensam inte motiverar investeringskostnaderna. Eftersom elnätsbolagen inte äger batterierna kan de inte dra ekonomisk nytta av de intäkter som eventuellt finns från tjänster kopplat till elkvalitet. Även i ett hypotetiskt scenario där bolagen ägde batterierna skulle investeringen inte vara lönsam, då majoriteten av intäkterna förutsätter deltagande på stödtjänstmarknader för frekvensreglering och /eller arbitragehandel med elenergi. En marknad som elnätsbolagen inte har tillträde till. Utifrån samtliga observationer dras slutsatsen att batterilager kan användas som komplement till traditionella lösningar för elkvalitet, men inte som fristående investering för detta syfte. Ekonomiskt försvarbara projekt kräver att batteriernas elkvalitetsnytta kombineras med andra användningsområden för att mäta sig med traditionella lösningar. För att batterilager ska kunna användas systematiskt för elkvalitetsförbättring krävs därför tydligare regelverk, standardiserad mätmetodik och nya affärsmodeller där elkvalitet ses som en mätbar tjänst.

Nyckelord

Batterilager, elkvalitet, övertoner, reaktiv effekt, aktiv filtrering, spänningskvalitet, omriktare, stödtjänster

Summary

Battery energy storage systems (BESS) can improve power quality, but not as a stand-alone investment.

The overall aim of the project has been to investigate how BESS can improve the power quality in the Swedish power system and to provide a basis for grid owners and investors to assess their benefits. The project has been carried out in two main parts: firstly, (1) a theoretical review with interviews, and secondly, (2) a practical investigation (measurements).

Field measurements and interviews with three Swedish grid companies: Jönköping Energi, Habo Energi and Varberg Energi, show that BESS in some cases reduces harmonics and in no case does the connection of a BESS lead to a worse power quality. In Jönköping, a clear reduction in total harmonic distortion (THD) was observed when one of their BESS was connected, while a measurement in Habo showed no clear impact from the BESS. Another measurement in Jönköping also showed no impact on the grid when a BESS was connected. From an interview with Varberg Energi, it was noted that no negative impact could be observed there either.

A BESS ability to affect power quality seems to depend on the following factors: how high the harmonic levels are to begin with, the BESS position relative to the source of the harmonics (which may relate to the short circuit power depending on the grid topology), and possibly the BESS internal filter.

The ability of BESS facilities to deliver reactive power was confirmed in two of the analyzed facilities, and they showed a rapid and stable response to setpoint changes. At the time of testing no control model for automatic voltage regulation was implemented. But based on the results, the BESS should have a good ability to regulate the voltage at their connection point and thus be able to support with maintaining the correct voltage levels in the electrical grid.

Overall, the results show BESS can improve power quality by:

- Attenuating harmonics.
- Providing fast reactive power compensation.
- Stabilizing the voltage at their connection point if a control mode for automatic voltage regulation is implemented.

Based on what can be affected by a grid owner, the electrical distance plays a role. When placing new BESS facilities, it may therefore be strategic to place them near facilities and objects that impact the power quality.

Despite the positive contributions from BESS, all participating grid operators assess that the benefits for power quality alone do not justify the investment costs. The grid operators do not own the batteries, and even hypothetically if they did, it would likely not be economically viable, since profitability primarily relies on using the batteries for ancillary services. A market in which electricity grid companies are not allowed to participate.

Based on all these observations, it is concluded that BESS can be used as a complement to traditional solutions for power quality, but not as a stand-alone investment for this purpose. Economically viable projects require the power quality benefits of BESS to be combined with other uses to compete with traditional solutions. For BESS to be used systematically for power quality improvement, clearer regulations, standardized measurement methods and new business models are therefore required, in which power quality is seen as a measurable service.

Innehåll

1	Inledning	11
2	Litteraturgenomgång - vad är elkvalitet och vad påverkas den av?	12
2.1	Definition	12
2.2	Relevanta regelverk	12
2.3	Orsaker till försämrad elkvalitet	13
2.3.1	Förnybar produktion och kraftelektronik	13
2.3.2	Långa kabelförbindelser och kapacitiva effekter	13
2.3.3	Nätets kortslutningseffekt	13
2.3.4	Industriella laster	14
2.4	Omriktarteknologi och filter för elkvalitet	14
3	Branschfarenhet - sammanställning av intervjuer med elnätsbolag	18
3.1	Bidragande elnätsbolag och deras nuläge	18
3.1.1	Jönköping Energi Nät AB	18
3.1.2	Habo Energi Kraft AB	19
3.1.3	Varberg Energi Elnät AB	20
3.2	Sammanställning av intervjuer	21
4	Elkvalitetsmätning - resultat från mätningar i fält	22
4.1	Mätförutsättningar	22
4.2	Resultat	23
4.2.1	Övertoner Jönköping Nr 1	24
4.2.2	Övertoner Habo	31
4.2.3	Övertoner Jönköping Nr 2	39
4.2.4	Reaktiv effekt	40
5	Slutsatser	43
5.1	Övertoner	43
5.2	Reaktiv effekt	44
5.3	Ekonomisk och regulatorisk bedömning	44
5.4	Kravställningens roll för bibehållen elkvalitet	45
5.5	Rekommendationer till nätägare och beslutsfattare	45
6	Fortsatt arbete	46
7	Referenslista	47

1 Inledning

Den ökade elektrifieringen av samhället och den snabba expansionen av kraftelektronik, solkraft och elintensiva industrier gör att elkvalitet får en allt större betydelse för nätägare.

Samtidigt installeras allt fler batterilager (BESS) i Sverige, främst för marknadsdriven användning som stödtjänster och arbitragehandel. Dessa system innehåller avancerade omriktare och passiva filter som även kan påverka elkvaliteten i elnätet. Hur stor denna påverkan är och under vilka förutsättningar den är tekniskt och ekonomiskt relevant är ännu inte tillräckligt kartlagd.

Detta projekt syftar till att reda ut dessa frågetecken och skapa en samlad kunskapsgrund kring hur batterilager kan bidra till förbättrad elkvalitet. Uppdraget innefattar att både teoretiskt och praktiskt undersöka batterilagrens förmåga att hantera övertoner, spänningsvariationer, reaktiv effekt och andra elkvalitetsrelaterade fenomen. Projektet ska även ge nätägare och investerare ett beslutsunderlag för att bedöma när och i vilken omfattning ett batterilager kan förbättra elkvaliteten i anslutningspunkten och i det omkringliggande nätet.

Rapporten är strukturerad efter och baserad på tre huvuddelar. Inledningsvis presenteras en teoretisk genomgång av elkvalitetsbegreppet, relevanta regelverk och de mekanismer som påverkar spänningskvaliteten i elnätet. Därefter redovisas erfarenheter från intervjuer med elnätsbolag och ägare av batterilager, med fokus på observerade elkvalitetsproblem, nyttor och praktiska tillämpningar. Slutligen presenteras och analyseras resultat och praktiska tillämpningar från fältmätningar på tre befintliga batterilagerinstallationer, där batterilagrens påverkan på övertoner och reaktiv effekt studeras under olika driftförhållanden.

Genom att förena teori, mätdata och bransch erfarenheter skapar rapporten ett samlat underlag för hur batterilager kan användas som ett verktyg för att förbättra elkvaliteten i svenska elnät, samt vilka begränsningar och möjligheter som finns i praktiken.

2 Litteraturgenomgång - vad är elkvalitet och vad påverkas den av?

2.1 DEFINITION

Elkvalitet är ett samlingsbegrepp som beskriver hur väl den levererade elektriciteten uppfyller vissa tekniska kriterier för bland annat spänningen och frekvensen.

I det svenska elnätet så är på lågspänningsnivå en ideal elektrisk signal en sinusformad spänning med frekvensen 50 Hertz (Hz), en nominell spänningsnivå (230/400 Volt (V)), de tre faserna har samma amplitud och frekvens samt att faserna är inbördes fasförskjutna med 120 grader. I praktiken avviker signalen från detta ideal, och elkvalitet definieras därför utifrån toleranser för bland annat:

- **Spänningsnivå och variationer:** Tillåten avvikelse från nominell spänning.
- **Frekvensstabilitet:** Normalt $\pm 0,1$ Hz kring 50 Hz i det nordiska synkronområdet.
- **Övertoner:** Förekomst av multiplar av grundfrekvensen som förvränger vågformen.
- **Spänningsdippar och transienter:** Snabba förändringar som kan påverka känslig utrustning.
- **Flimmer:** Variationer i spänning som kan orsaka synbart flimmer i belysning.
- **Obalans:** Skillnader mellan faser i ett trefasssystem.

God elkvalitet innebär att dessa parametrar ligger inom specificerade gränser och inte ger märkbara störningar för slutanvändare eller påverkar nätets funktionalitet. Dessa faktorer kan antingen påverka nätet lokalt eller på större skala (inom det nordiska synkronområdet). Med undantag från frekvensstabilitet, som är gemensamt för hela det nordiska synkronområdet, är de övriga fenomenen primärt lokala.

2.2 RELEVANTA REGELVERK

För att kvantifiera och övervaka elkvalitet används internationella och nationella standarder:

- **Energimarknadsinspektionen (Ei):** Ställer krav på nätbolag att upprätthålla spänningskvalitet och har mandat att ingripa vid långvariga brister. Det finns nio elförordningar, även refererade till som nätkoder, var av tre behandlar anslutning. De primära nätkoder som appliceras för ett batterilager och påverkar elkvaliteten är Nätanslutning av generatorer (RfG) och Anslutning av förbrukare (DCC).
- Utöver nätkoderna finns även Ei:s föreskrifter och allmänna råd. Dessa skall uppfyllas i syfte att garantera att överföringen av elektrisk energi är utav god kvalitet (EIFS 2023:3).
- **Nordiska systemansvariga (Svenska kraftnät i Sverige):** Definierar krav för frekvenshållning och systemtjänster som indirekt påverkar elkvalitet.

- **SS-EN 50160:** Anger vilka gränser som gäller för spänningskvalitet i allmänna elnät. Den beskriver bland annat acceptabla nivåer för spänningsavvikelser, frekvensvariationer, övertonshalt (Total Harmonic Distortion, THD), dippar och transienter.
- **AMP (Anslutning av produktionsanläggningar till mellanspänningsnätet):** Används av svenska nätägare för att reglera vilka tekniska krav som gäller vid anslutning av produktionsanläggningar till mellanspänningsnätet. Dessa omfattar till exempel begränsning av maximalt effektuttag i förhållande till transformatorns kapacitet. För större produktionsanläggningar finns ASP och för anslutning av elproduktion till lågspänningsnätet ALP.
- **EN/IEC 61000-X-X:** Utgörs av flertalet internationella standarder för immunitet, emissioner, mätning med mera för olika elkvalitetsmått, däribland övertoner. IEC 61000-3-2 behandlar specifikt gränser för emission av strömövertoner.

Dessa regelverk är viktiga eftersom de skapar en gemensam teknisk och juridisk grund för vad som är "godtagbar elkvalitet" och hur ansvaret fördelas mellan nätägare, producenter och kunder.

2.3 ORSAKER TILL FÖRSÄMRAD ELKVALITET

Elkvalitet avser i grunden elnätets förmåga att leverera elektrisk energi med rätt spänning, frekvens och ren sinusformad vågform. Dessa faktorer är avgörande för att ansluten utrustning ska fungera korrekt och ha lång livslängd. Försämrade elkvalitet kan uppstå från olika källor varav nedan följer tre centrala orsaker.

2.3.1 Förnybar produktion och kraftelektronik

Variabel elproduktion (likt sol- och vindkraft) och ökad användning av kraftelektronik i distributions- och transmissionsnät utgör övertonskällor. Variationen i produktionen kan leda till spänningsfluktuationer och frekvensvariationer, samtidigt som växelriktarkomponenter kan introducera högre övertonsnivåer.

2.3.2 Långa kabelförbindelser och kapacitiva effekter

När elnätet stäcks ut över stora avstånd ökar impedanser och kapacitiva/induktiva effekter vilket kan medföra spänningsfall, obalanser och resonansfenomen som påverkar vågformen.

2.3.3 Nätets kortslutningseffekt

Nätets förmåga att absorbera störningar påverkas av dess kortslutningseffekt, eller nätimpedans. Ett nät med låg kortslutningseffekt vid en viss punkt har mindre "styvhet" genom en hög impedans mellan anslutna objekt och det överliggande nätet och är därmed mer känsligt för störningar, övertoner och stora lastförändringar.

2.3.4 Industriella laster

Dåligt byggda eller obalanserade anläggningar kan introducera störningar i nätet, vilket drabbar både nätbolaget och närliggande kunder. I större industrier med icke-linjära laster som ljusbågsugnar och frekvensomriktare kan industriernas drift resultera i spänningsdippar, övertoner, obalanser och andra elkvalitetsfenomen.

2.4 OMRIKTARTEKNOLOGI OCH FILTER FÖR ELKVALITET

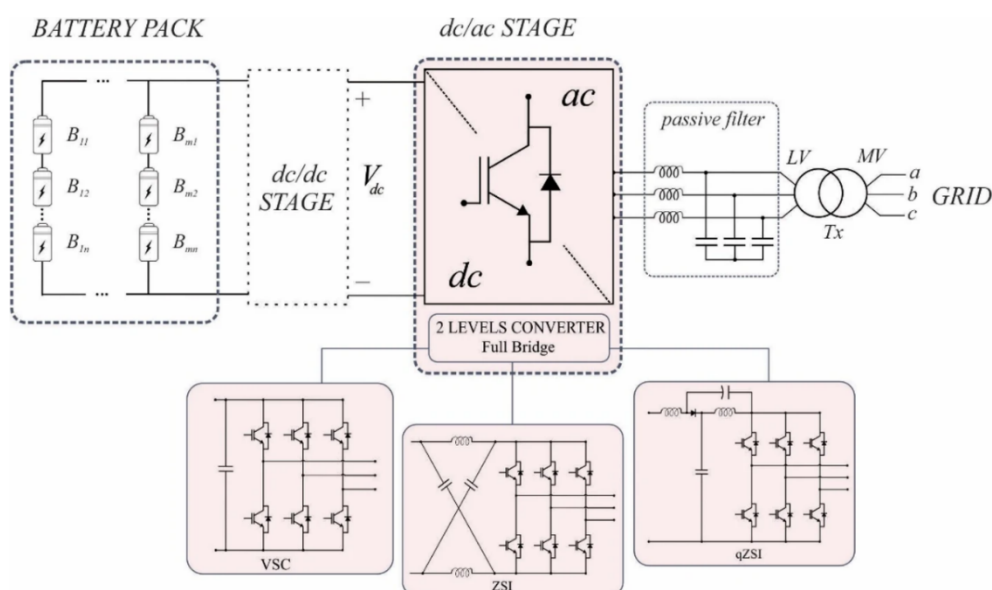
Ett antal olika omriktarteknologier används i omriktarna tillhörande batterilagren på marknaden. Området är under ständig utveckling och nya funktioner implementeras allt eftersom regelverken utvecklas. För att få en överblick presenteras nedan tre vanliga tekniker som används i dagsläget 00:

- Two-level Voltage Source Converter (VSC)
- Three-level Neutral-Point Clamped (NPC)
- Modular Multilevel Converter (MMC)

Av de tre batterilagren som provats i föreliggande projekt använder sig ett av three-level tekniken medan de övriga leverantörerna inte uppger vilken teknik de använder. En sammanställning av de tre batterilagren ges i **Tabell 1**.

2.4.1 Traditionell Two-level VSC

En variant av two-level omriktare för BESS-applikation är VSC på grund av dess enkla konstruktion 0. Den kanske största bristen med VSC, också relaterat till elkvalitet, är att transistorerna i de båda benen inte kan vara aktiverade samtidigt. En överblick av teknologin med dess ingående delar ges i **Figur 1**.



Figur 1: Tre olika varianter av den traditionella two-level teknologin 0.

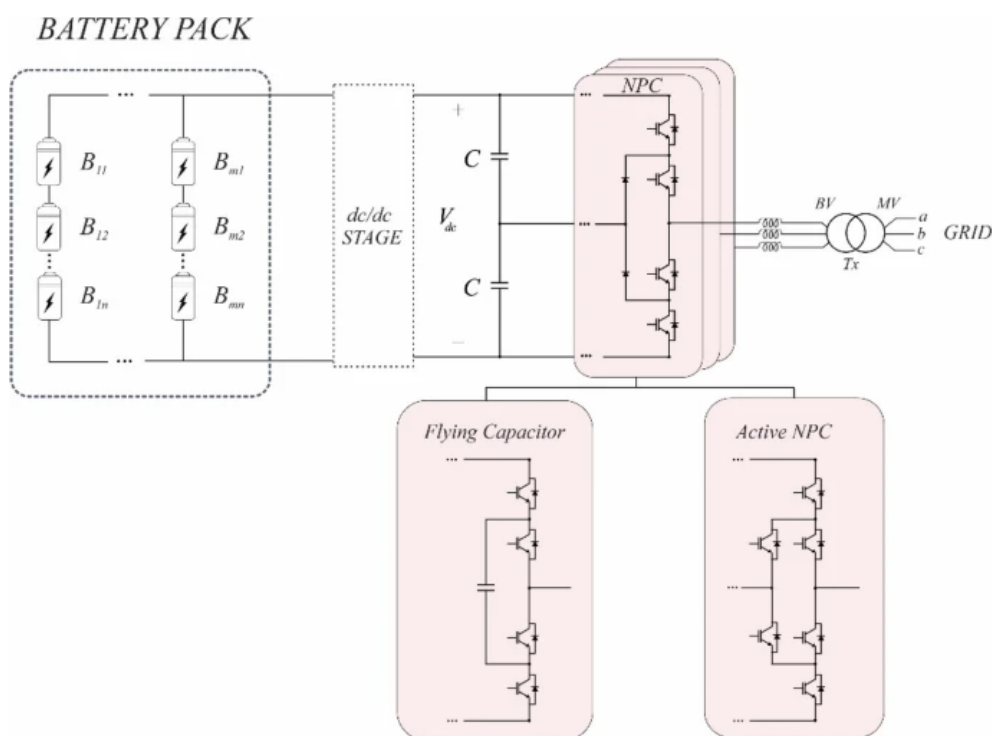
Ett typisk BESS med two-level VSC består av ett batteri, ett DC/DC-steg, ett DC/AC-steg, passiva filter samt en transformator ut mot överliggande nät. Deras roll är enligt följande:

1. Batteriet: Används för energilagring.
2. DC/DC-steget: Då spänningen hos batteriet varierar med dess State Of Charge (SOC) är det fördelaktigt med ett DC/DC-steg för att reglera spänningen som går till omriktardelen. Genom att styra DC-spänningen till omriktaren kan en mer optimerad design fås, genom att samtliga delar i BESS kan drivas vid en mer optimal driftpunkt. Batterierna behöver inte vara överdimensionerade och verkningsgraden hos omriktaren blir högre. Andra värdefulla aspekter med DC/DC-steget är att de kan användas som skydd och strömbegränsare.
3. DC/AC-steget: Är det traditionella växelriktarsteget för att omvandla spänningen från DC till AC. Omvandlingen till AC görs genom att de olika "transistor-benen" i växelriktarkonfigurationen aktiveras och avaktiveras för att modulera en eftersträvd referensvåg. Referensvågen ska vara vad som önskas genereras ut mot nätet.
4. Moduleringen av varje fasspänning görs genom att referensvågen jämförs med en triangelvåg med mycket högre frekvens på upp till några kHz, där ett tillslag av utgående spänning fås när referensvågen är högre än triangelvågen, och ett fråslag av utgående spänning fås då referensvågen är lägre än triangelvågen. Metoden gör att medelvärdet av den utgående spänningen uppgår till den eftersträvide referensvågen.
5. Det är alltså antingen den övre **eller** den undre transistorn som är aktiverad i varje "ben" åt gången. Genom att de tre faserna interagerar med varandra flödar strömmen dem emellan beroende på vilken/vilka transistorer som är aktiverade i den övre respektive undre delen av omriktaren.
6. Passiva filter: I och med den ständiga av- och på-aktiveringen genereras en vågform med en grundton och mängder av övertoner på grund av den switchade spänningen. Moduleringen görs så att de låga övertonerna uteblir, men de höga frekvenserna finns kvar ut från omriktaren. För att förbättra vågformen implementeras därför passiva filter vid utgången vilka absorberar de högfrekventa komponenterna.
7. Transformator: För att ansluta upp mot överliggande nät används en transformator.

2.4.2 Three-level NPC

Three-level omriktare är en teknik som möjliggör bättre kontroll av den utgående spänningsnivån vilket leder till en förbättrad elkvalitet. Att spänningsformen är bättre leder till ett minskat behov av filtrering. Den ökade komplexiteten i styrningen av transistorernas aktivering är en central styrka hos en Three-level NPC, eftersom den bidrar till förbättrad spänningskvalitet och prestanda. Dock kan komplexiteten resultera i en större investeringskostnad 0.

Som namnet indikerar är det tillgången till ytterligare en spänningsnivå i växelriktarsteget, en neutralpunkt, som utgör skillnaden mot two-level omriktaren. I modulationen av önskad sinusspänning går det därmed att redan innan ett eventuellt filtersteget generera en bättre vågform. I övrigt innehåller ett BESS med denna teknik liknande övriga komponenter, se **Figur 2**.

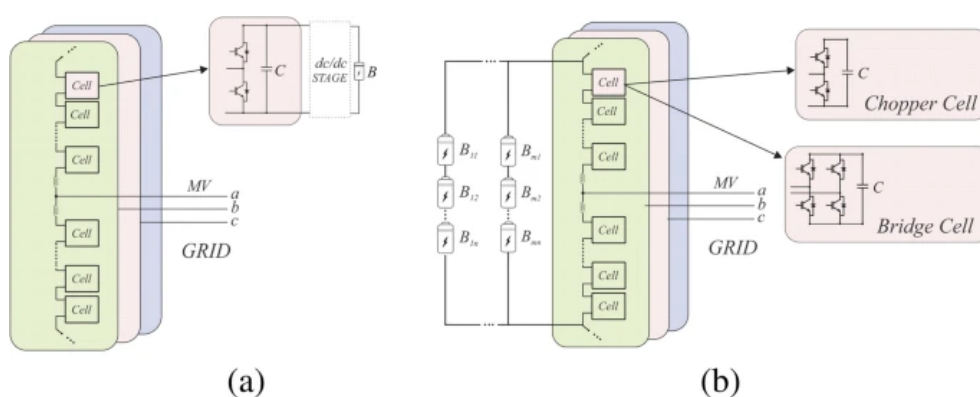


Figur 2: Tre varianter av three-level omriktare 0.

2.4.3 Modular Multilevel Converter

Tekniken MMC bygger på att många mindre celler bygger upp batterilagret. Beroende på vilken typ av MMC avviker designen dock olika mycket från de mer traditionella typerna nämnda tidigare. **Figur 3** redogör för två varianter.

Utöver fördelen med att kunna generera en renare vågform i och med de många nivåerna, finns det flera andra fördelar som användandet av lågspänningstransistorer, feltålighet och lägre switchfrekvens. Nivåerna möjliggör också för en direktkoppling till distributionsnätet utan en mellanliggande transformator, vilket reducerar förlusterna. En sådan konfiguration tar dock bort den galvaniska isoleringen av en transformator gentemot nätet vilket försämrar säkerheten för batterilagret.



Figur 3: Två varianter av MMC där (a) batterierna antingen är integrerade i cellerna eller (b) sammansatta separat för att bygga upp en DC-spänning 0.

3 Branschfarenhet - sammanställning av intervjuer med elnätsbolag

3.1 BIDRAGANDE ELNÄTSBOLAG OCH DERAS NULÄGE

I arbetet med denna rapport har tre elnätsbolag bidragit med sin erfarenhet av batterilager.

Lokalnätsbolag:	Abonnenter:	Elområde:
Jönköping Energi Nät AB	57 000 st	SE3
Habo Energi Kraft AB	5 200 st	SE3
Varberg Energi Elnät AB	25 000 st	SE3

Utöver medverkan i referensgrupp och intervjuer har även mätningar gjorts i bolagens elnät, se Kapitel 4.

3.1.1 Jönköping Energi Nät AB

Jönköping Energi beskriver under intervjun att deras nät generellt håller en god elkvalitet, men att vissa störningar återkommande orsakas av yttre faktorer likt åsknedslag i regionnätet. Utöver problematik med spänningsdippar orsakade av åsknedslag upplever Jönköping energi en viss problematik på landsbygden vid reservmatning. Ett fåtal kundanläggningar har även visats sig vara bristfälligt byggda, vilket bidrar till lokala elkvalitetsproblem. Hos dessa kunder drivs en hög andel av belastningsobjekten via omriktare och då uppstår också övertoner, vilka på sikt kan orsaka skador på motorlager och annan känslig utrustning. Det stora batterilagret hos Jönköping Energi är placerat vid kraftvärmeverket i Torsvik, och storleken är 10 MW/10 MWh. Anläggningen har levererats av PSW och är utrustad med Danfoss-omriktare. Valet av anläggning grundas på en marknadsutredning där PSW bedömdes ge bäst balans mellan pris och funktion. Anläggningen är utformad för att klara stödtjänster (mFRR, FCR-D och periodvis även FCR-N), men är även dimensionerad för att kunna användas i ö-drift.

Drifterfarenheterna är i huvudsak positiva. Batteriet har visat sig minska övertoner och samtidigt skapa intäkter genom försäljning av stödtjänster. Mätningar bekräftar en renare 50 Hz-signal med reducerad total harmonisk distorsion. Däremot uppstod resonansproblem vid driftsättningen, när samtliga nio omriktare belastades samtidigt. Detta problem löstes genom justeringar i LC-filtret och genom att tillverkaren ändrade programvaran i omriktarna. Sammantaget bedömer Jönköping Energi att anläggningen idag fungerar stabilt, även om den fortfarande innehåller en viss teknisk komplexitet som kräver erfarenhet och kunskap hos driftpersonalen.

Bolaget framhåller att batterilagrets elkvalitetsnytta är positiv, men inte tillräcklig för att ensam motivera investeringen. De menar att ekonomin i investeringen vilar i första hand på intäkterna från stödtjänster, vilket är en marknad nätbolaget inte får delta på. De betonar även vikten av enkelhet och robusthet i tekniska lösningar, samt behovet av tydliga standarder för framtida satsningar.

3.1.2 Habo Energi Kraft AB

Habo Energi förvaltar ett mindre elnät som domineras av villor, butiker och lätt industri. Nätet beskrivs som "snällt" eftersom det i huvudsak inte uppvisar några större elkvalitetsproblem. De avvikelser som identifieras handlar framför allt om kapacitiva tomgångsströmmar som orsakar måttliga spänningshöjningar. Mätningar har exempelvis visat upp 244 V under 90 sekunder. Den totala harmoniska distorsionen ligger på ungefär två procent, vilket betraktas som en låg nivå. Tidigare loggningar har inte heller visat större problem.

När andelen solcellsanläggningar ökade för några år sedan genomförde bolaget extra mätningar och gjorde vissa nätomläggningar för att förbättra topologin. Detta var tillräckligt för att upprätthålla god elkvalitet och inga större tekniska investeringar krävdes.

I elnätet är ett medelstort batterilager installerat, levererat av Powerworks och baserat på Sungrows teknik, med en kapacitet på 2 MW och 2 MWh. Batteriet placerades i en mottagningsstation och dimensioneringen gjordes med utgångspunkt i AMP:s krav, vilket begränsade anslutningen till 20 procent av transformatorns märkeffekt. Huvudsyftet var att använda batteriet för stödtjänster och handel (arbitrage), snarare än för elkvalitet.

I drift har batteriet fungerat utan problem, och bolaget har inte noterat någon märkbar skillnad på elkvaliteten sedan driftsättningen. Standardloggningar enligt SS-EN 50160 har genomförts, men inga särskilda prov kopplade till batteriets funktion har utförts. I efterhand konstaterar bolaget att det hade varit värdefullt att inkludera möjligheten till reaktiv effektkompensering i planeringen då det eventuellt kan bli ett problem i framtiden.

Habo Energi framhåller att elkvalitet i sig inte kan motivera investeringar i batterilager. För att satsningen ska vara ekonomiskt försvarbar krävs en kombination av andra nyttor, exempelvis stödtjänster. Bolaget betonar dessutom vikten av standardisering och branschgemensamma riktlinjer, något de menar är särskilt viktigt för mindre nätbolag som har begränsade resurser.

3.1.3 Varberg Energi Elnät AB

Varberg Energi driver ett nät som är starkt tack vare kopplingen till 130 kV-regionnätet, vilket innebär att elkvaliteten i grunden är stabil. De problem som har observerats är främst mindre spänningsdippar och förhöjda övertonshalter i områden med mycket vindkraft. Halterna ligger dock inom godtagbara gränser. För att övervaka situationen genomförs regelbundna mätningar, särskilt i nätets ytterområden.

I praktiken har Varberg Energi ingen erfarenhet av att använda batterier specifikt för elkvalitet. De har visserligen kondensorbatterier i nätet, men dessa används i mycket begränsad utsträckning som en följd av överliggande näts riktlinjer. Det största batteriet i nätet är ett Huawei BESS med kapaciteten 14 MW/14 MWh, installerat vid en av mottagningsstationerna. Anläggningen driftsattes 2023 och uppgraderades 2025 från 11 MW till 14 MW genom tillägg av fler moduler och omriktare. Batteriet används i första hand för stödtjänster via aggregatorer, men även för effekttoppskapning, exempelvis under vintern 2024/2025. Därutöver finns ett mindre batteri på 400 kW samt flera kundägda system.

Drifterfarenheterna är i huvudsak positiva. Bolaget har inte observerat några negativa effekter på nätet, och ingen skillnad i elkvalitet har kunnat identifieras efter installationen.

Varberg Energi anser att elkvalitet inte i sig kan motivera investeringar i batterilager. Ekonomiska faktorer och regulatoriska hinder är avgörande. Dagens regelverk innebär att nätägare inte får använda batterier direkt för elkvalitet, och styrningen sker i praktiken enbart via aggregatorer på marknadssignaler. Detta innebär att nätägaren saknar direkt kontroll över batteriets drift. För att batterier ska kunna användas för elkvalitet krävs därför både enklare regelverk och högre grad av styrbarhet.

3.2 SAMMANSTÄLLNING AV INTERVJUER

Intervjuerna med de tre nätbolagen visar på både gemensamma drag och tydliga skillnader i synen på elkvalitet och batterilager. En gemensam nämnare är att elkvalitet inte ses som ett tillräckligt motiv för att investera i batterilager, utan man prioriterar att bygga ut elnätet. En viktig förklaring till detta är att inget utav bolagen har några egentliga problem med elkvalitet. I stället betonas vikten av att kombinera elkvalitetsnytta med andra nyttor, framför allt stödtjänster (frekvensreglering) och effekttoppskapning vilket i förlängningen innebär att elnätbolaget ej kan ha batteriet i egen regi enligt rådande regelverk.

Jönköping Energi har visat på mätbara förbättringar av elkvaliteten, i form av minskade övertoner, men betonar samtidigt att den ekonomiska nyttan ligger i stödtjänstmarknaden. Habo Energi har inte kunnat påvisa någon skillnad på elkvaliteten efter installation av sitt batterilager, men ser en potentiell framtida möjlighet i reaktiv effektkompensering. Varberg Energi, slutligen, menar att deras starka nät gör att batteriernas påverkan på elkvaliteten är marginell. För deras del framstår underhållsfrågan och regelverken som viktigare faktorer än elkvaliteten i sig.

De medverkade nätbolagen upplevde att de installerade batterilagren fungerar mycket bra och att de inte ger upphov till några elkvalitetsproblem.

Samtliga tre bolag efterfrågar tydligare riktlinjer och standarder som kan underlätta planering och beslutsfattande. De understryker också att jämförande ekonomiska kalkyler mellan batterilösningar och traditionella nätförstärkningar är avgörande för att motivera framtida investeringar.

Idag begränsas nätägarens möjlighet att aktivt använda batterilager för elkvalitet av Energimarknadsinspektionens (Ei) tolkning av ellagen, som förbjuder direkt användning av lagring för nästöd om den påverkar marknaden. Detta minskar möjligheten till direkt styrning vid lokala elkvalitetsproblem.

För att batterilagret ska användas som aktivt filter eller för reaktiv kompensering i nätbolagens regi i framtiden behöver tydliga marknadsroller etableras. En möjlig väg är att nätägare kan avropa elkvalitetstjänster från tredjepartsaktörer mot ersättning, på liknande sätt som dagens stödtjänstmarknad. Detta kräver dock standardiserad mätbarhet, verifiering av tjänstens effekt samt tydlig ansvarsfördelning. En annan möjlighet är att ställa krav på kunder med stora elkvalitetsrelaterade problem, som övertoner, att installera batterilager i anslutning till deras anläggning.

4 Elkvalitetsmätning - resultat från mätningar i fält

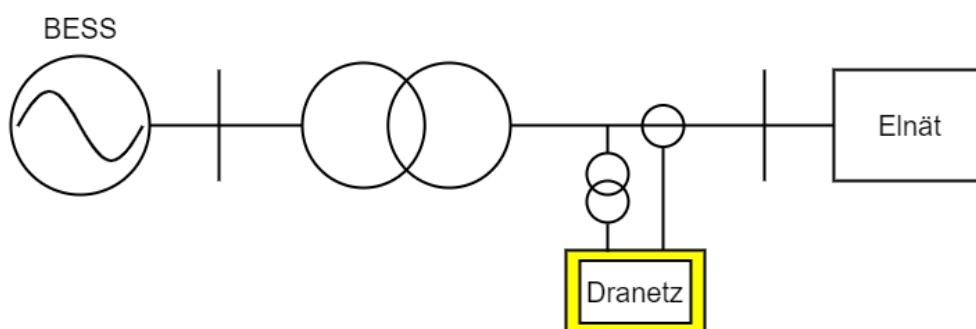
4.1 MÄTFÖRUTSÄTTNINGAR

För att kunna utvärdera hur batterilager med omriktare påverkar elkvaliteten i ett verkligt elnät har tre mätningar genomförts och analyserats. Mätningarna har genomförts på tre existerande batterilager i elnätsbolagen Jönköping Energi Elnäts och Habo Energis regi: två i Jönköping och ett i Habo.

Mätningarna genomfördes med hjälp av mätutrustningen Drantez PowerVisa. Första mätningen för Jönköping och mätningen i Habo genomfördes genom att utrustningen var inkopplad på anslutningspunktens spännings- och strömtransformatorer enligt **Figur 4**. Andra mätningen i Jönköping utfördes genom inkoppling på lågspänningssidan i nätstationen ut mot elnätet.

Mätsekvenserna använda till analysen innehåller ett antal olika driftlägen där batterilagret hos de olika nätbolagen var AV/PÅ med olika lastnivåer. En jämförelse kan på så vis göras av hur de varierande driftlägena påverkar elkvaliteten.

Det är önskvärt att mäta både spänning och ström för att kunna jämföra övertonsinnehållet i de olika parametrarna, samt därifrån kunna dra mer djupgående slutsatser. Vid sista mätningen i Jönköping fanns inte förutsättningar för detta varför enbart spänningsvärden redovisas.



Figur 4: Illustration över mätning i anslutningspunkten.

4.2 RESULTAT

Tabell 1 ger en sammanställning kring batterilagrens specifikationer samt elnätsförutsättningarna i form av kortslutningseffekt.

Tabell 1: Sammanställning av batterilagren.

Information	Jönköping BESS 1	Habo BESS	Jönköping BESS 2
System PCS	VACON NXI inverters	Sungrow SC2000UD	HUAWEI LUNA2000-200KTL- H0
Omriktarteknologi	-	Three-level	-
Kapacitet	10 MWh	2 MWh	4 MWh
Maxeffekt S [MVA]	10 MVA	2 MVA	4 MVA
Reaktiv effektförmåga	Enligt skenbara effekten ±100 %	Enligt skenbara effekten ±100 %	Enligt skenbara effekten ±100 %
Reglermod för reaktiv effekt under elkvalitetsproverna	Q(P)*	Q	-
Kortslutningseffekt i anslutningspunkten	298 MVA	104 MVA	64 MVA

*En felaktig inställning gjorde att reaktiva effekten överkompenserade för den aktiva uteffekten, synligt i **Figur 5**.

Batterilagren är anslutna i olika miljöer och har således olika förutsättningar. Vid en jämförelse av nätförhållandena för respektive batterilager bör kortslutningseffekten relativt batterilagrets storlek användas.

- Det större av de analyserade batterilagren i Jönköping (Nr 1) har sin anslutningspunkt i nära anslutning till ett av de lokala kraftvärmeverken, vilket påverkar hur elkvaliteten ser ut i området, då mycket av lasten tillhörande kraftvärmeverket är omriktarstyrd. Vid jämförelse av kortslutningseffekterna i **Tabell 1** kan noteras att nätet är betydligt starkare vid denna anslutning än för de övriga batterilagren, men relativt sett svagare än Habos batterilager.
- Batterilagret i Habo är anslutet till ett distributionsnät bestående mest av bebyggelse. Det finns lite industriell last i omgivningen men inget som har särskilt stor påverkan på elkvaliteten. Relativt sett har Habos batterilagret det starkaste nätet av de jämförda.
- Det mindre av batterilagren i Jönköping (Nr 2) är lokaliserat på landsbygden utanför stan och är nätmässigt anslutet i närheten av vindkraft.

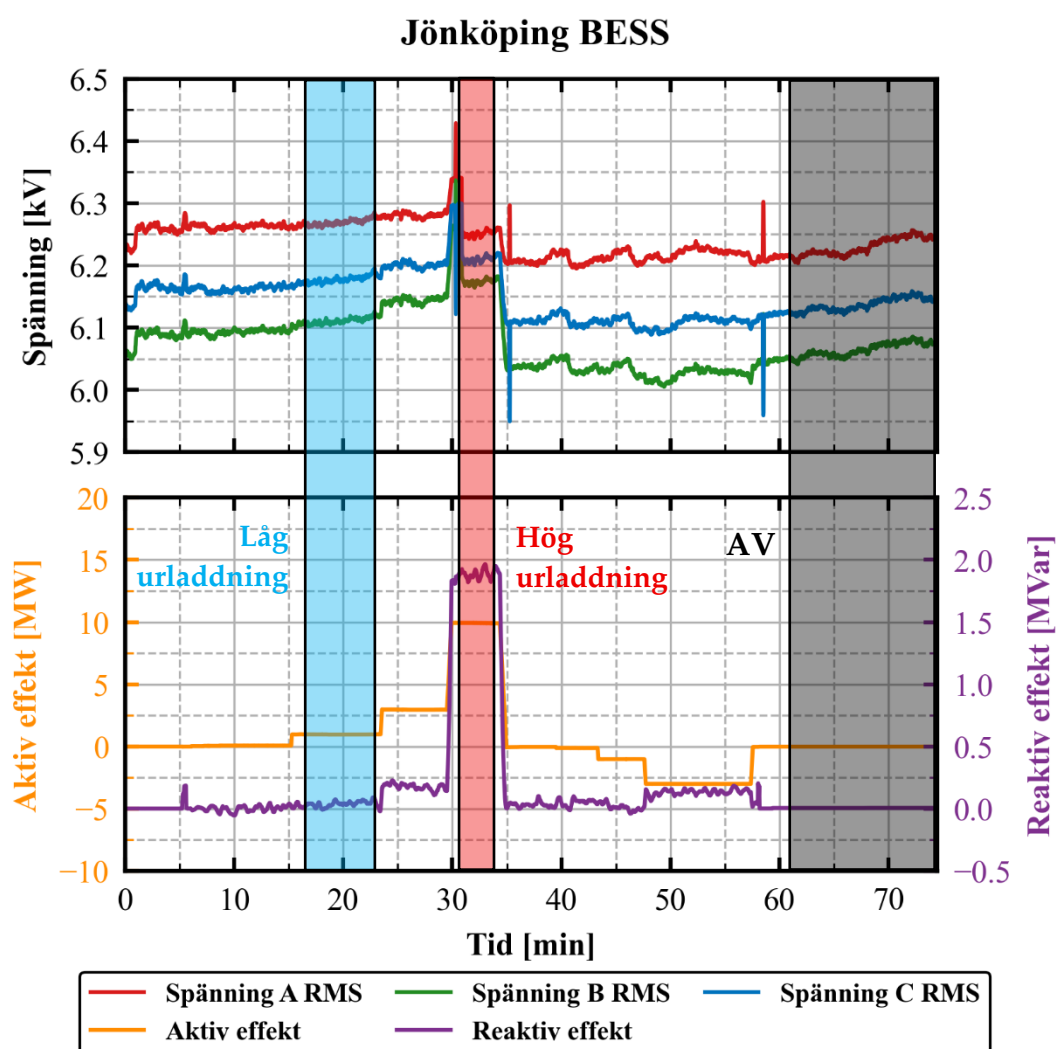
Vid jämförelse batterilagren emellan är det viktigt att ha ovan förutsättningar i åtanke, då dessa ligger till grund för batterilagrens förmåga att kunna påverka omgivningen.

4.2.1 Övertoner Jönköping Nr 1

Figur 5 redogör för mätsekvensen på batterilager Nr 1 i Jönköping. Mätsekvensen uppmättes ursprungligen i ett annat sammanhang varför mättiderna inte är så långa. Insamlad data bedöms dock oavsett vara tillräcklig för att kunna dra relevanta slutsatser.

Tre olika färgfönster är inlagda för jämförelse av tre olika driftlägen:

- Blå: Batterilagret urladdas med låg aktiv effekt 1 MW.
- Röd: Batterilagret urladdas med hög aktiv effekt 10 MW.
- Svart: Batterilagret är fränkopplat med den interna brytaren.

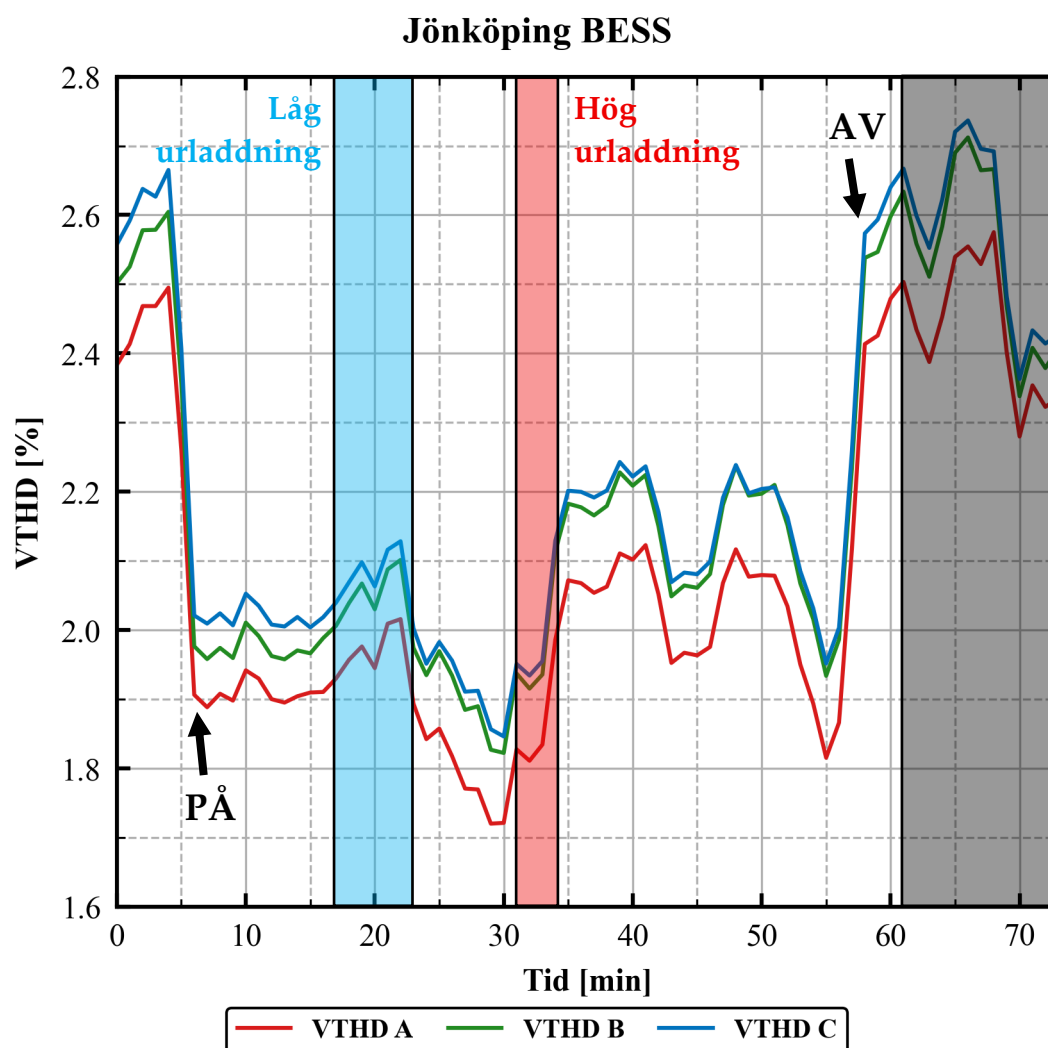


Figur 5: Översikt över mätning Nr 1 genomförd hos Jönköping Energi.

Spiken av reaktiv effekt i det röda bandet är en konsekvens av en felinställning av reaktiv effektkompensering vid mättillfället. Detta anses dock inte påverka mätningen och justerades i efterhand.

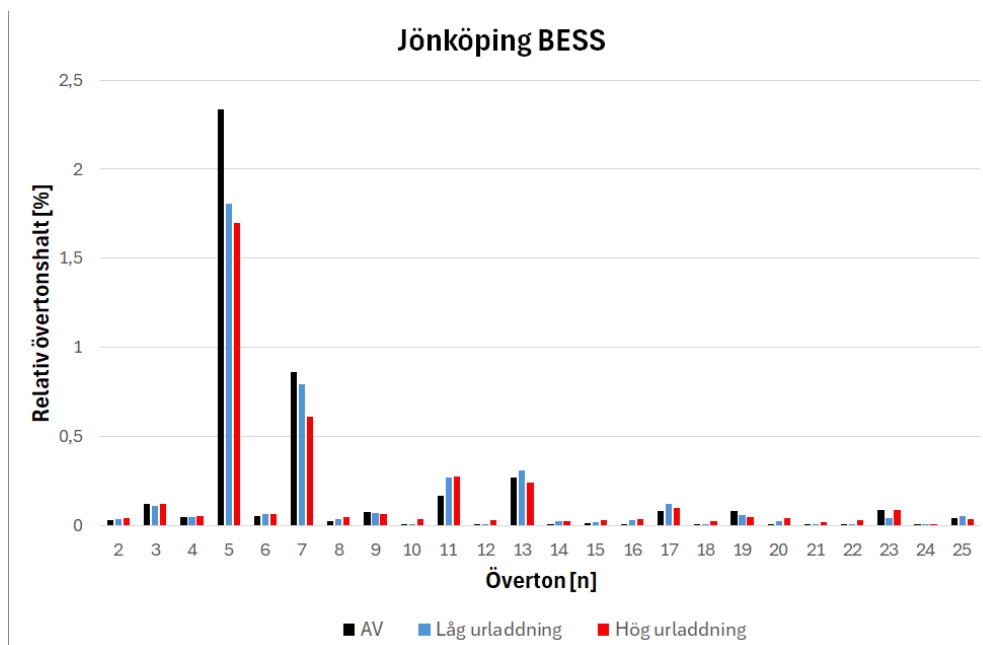
Figur 6 visar spänningsövertonsnivån VTHD för de olika faserna under mättiden. Det kan konstateras att den totala övertonsnivån var låg till att börja med, ca 2,5 %. Slutsatserna som kan dras är att vid inkoppling av batterilagret fås en förbättring av elkvaliteten. En distinkt förändring fås både inkoppling och urkoppling av batterilagret.

Gällande eventuella skillnader i påverkan beroende på effekt ger tyvärr inte mätsekvensen tillräcklig information för att kunna göra en bra bedömning. Elnätet utsätts ständigt för förändringar beroende på närliggande produktions och lasters beteende. Så var även fallet under denna mätning, synligt i att VTHD förändras även inom de olika driftlägenas intervall.



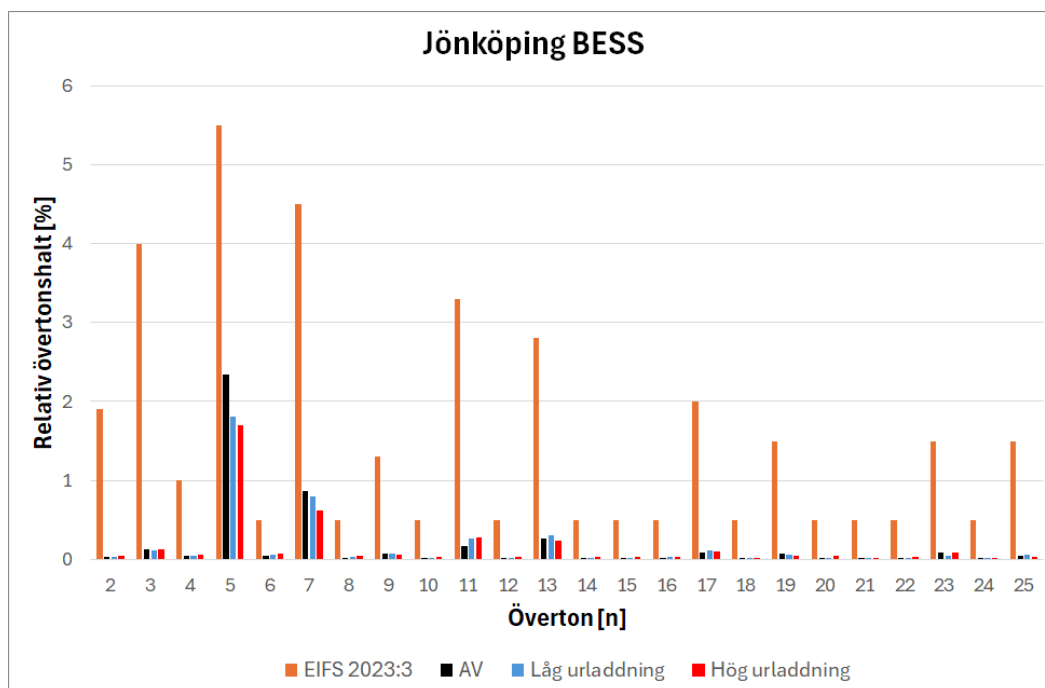
Figur 6: Spänningsövertonsnivå VTHD för de olika faserna vid de olika driftlägena.

Figur 7 redogör för de individuella övertonerna hos varje driftläge, upp till och med 25e multipeln. Värdena är medelvärdesbildade över alla tre faserna. Det är den dominerande 5e multipeln som framför allt påverkas och leder till den lägre VTHD. Även den 7e övertonen minskar något.



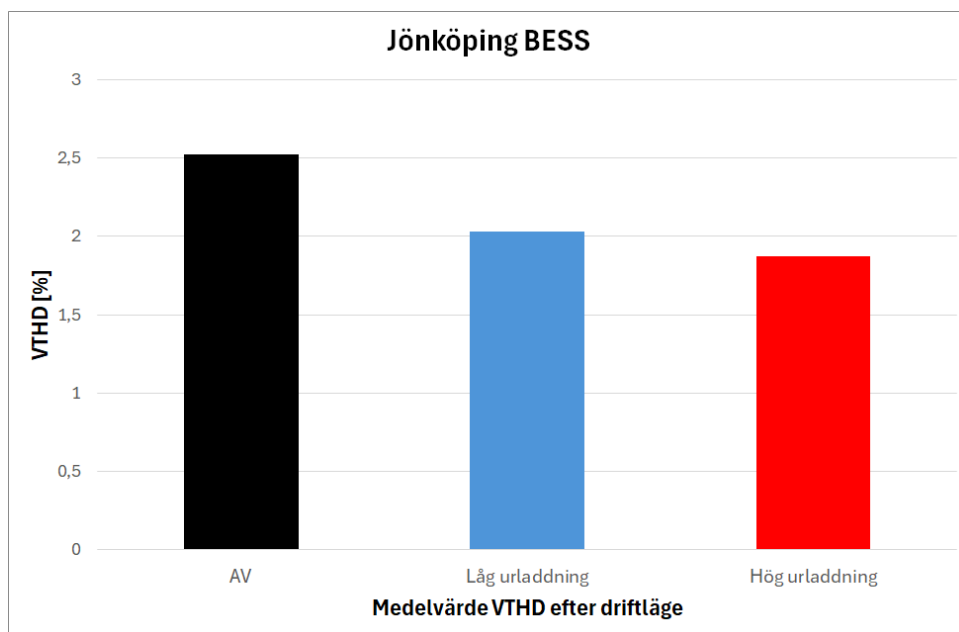
Figur 7: Jämförelse av den relativa övertonshalten för de olika driftlägena upp till den 25e multipeln.

För jämförelse har de individuella övertonshalterna lagts in tillsammans med föreskriften EIFS 2023:3 i **Figur 8**. Slutsatsen från jämförelsen är att elkvaliteten vid samtliga driftlägen hade god marginal till gränsvärdena.



Figur 8: Jämförelse av den relativa övertonshalten för de olika driftlägena med föreskriften EIFS 2023:3 (referensspänning 1-36 kV).

Sammanfattningsvis för mätning Nr 1 i Jönköping visar **Figur 9** medelvärden av VTHD för alla faserna för de olika driftlägena. Likt tidigare konstaterat ses en förbättrad elkvalitet med batteriet inkopplat än då det var frånkopplat.



Figur 9: Sammanställning av VTHD för de olika driftlägena vid mätning Nr 1 i Jönköping.

Två olika möjliga orsaker bedöms kunna ligga bakom att batterilagret minskar övertonsnivån i elnätet:

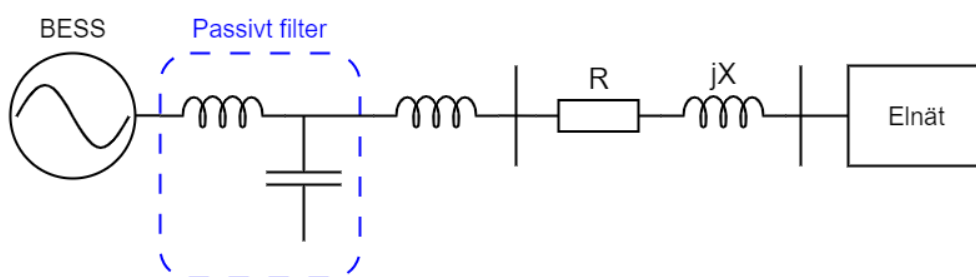
1. Batterilagret agerar som en spänningskälla med en impedans sett från elnätets perspektiv. Batterilagret absorberar därmed en del av strömövertonerna som genereras i objekt i intilliggande kraftvärmeverk vilket sänker nivån på spänningsdistorsionen. Batterilagret gör alltså nätet i anslutningspunkten starkare, vilket minskar påverkan från övertonerna som genereras i närliggande objekt.
2. Det passiva filtret vid batterilagrets utgång är i första hand dimensionerat för att dämpa högfrekventa övertoner som genereras av omriktarens switching, och har därmed begränsad påverkan på grundtonen vid 50 Hz samt lågt ordnade övertoner, såsom 5e, 7e, 11e och 13e. Hantering av övertoner över ett bredare frekvensområde möjliggörs i stället genom aktiv filtrering, där en återkopplingsslinga används för att aktivt motverka övertoner i omgivningen.

I **Figur 10** visas en enkel illustration av representationen av batterilagret med sin transformator.

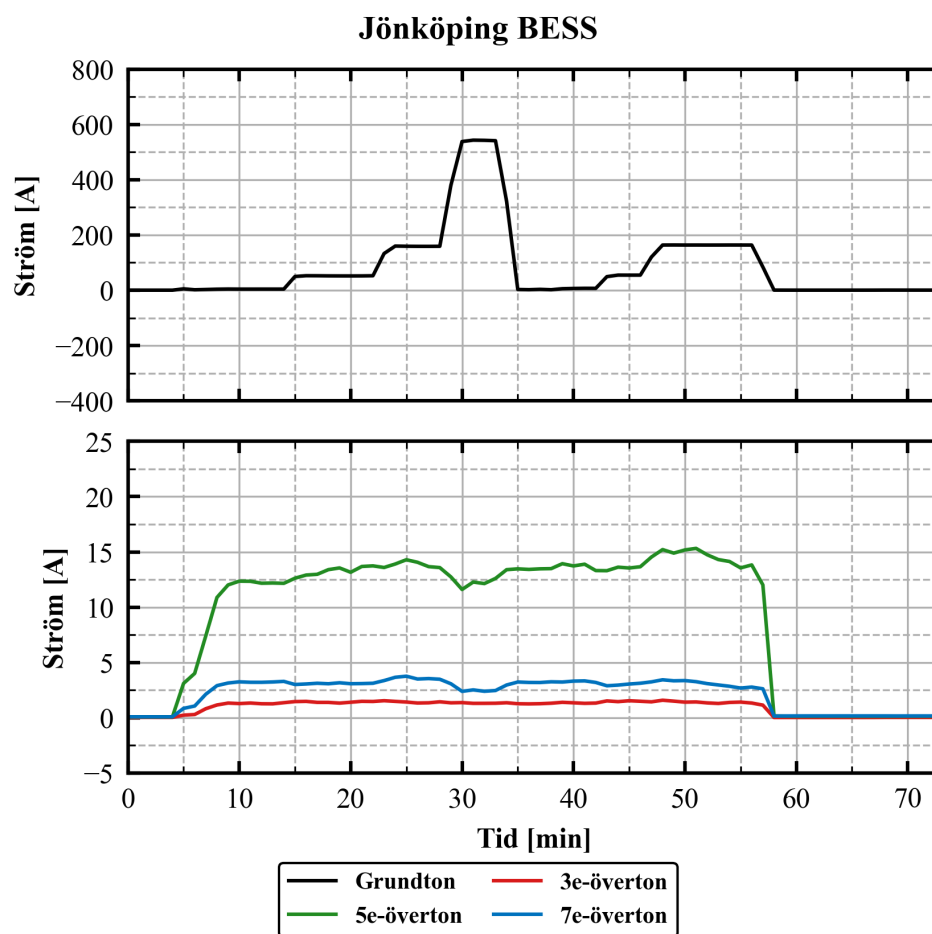
Figur 11 visar ett urval av strömövertoner från mätningen Nr 1 i Jönköping: Grundtonen, 3e-övertonen, 5e-övertonen och 7e-övertonen. Vid analys av de signifikanta udda övertonerna 5e och 7e ses att batterilagret absorberar en ström. Strömmen för den 5e övertonen är störst enligt **Figur 7** vilket stämmer väl med att spänningsnivån som driver strömmen är högst för 5e.

Det konstaterades att lastnivån inte påverkar batterilagrets förmåga att dämpa övertoner, vilket syns i **Figur 11** som visar att övertonsströmmarna är relativt konstanta. Lastnivån påverkar enbart grundtonens amplitud samt riktning, och batterilagrets impedans kan därmed ses som konstant gällande absorption av externa övertoner.

Det finns en stor potential att djupare studera orsakerna till batterilagrets positiva effekter på elkvaliteten genom detaljerade EMT-simuleringar och mer mätningar, något som inte fanns utrymme för i det här projektet.



Figur 10: Illustration av batterilagrets förhållande ut mot elnätet.

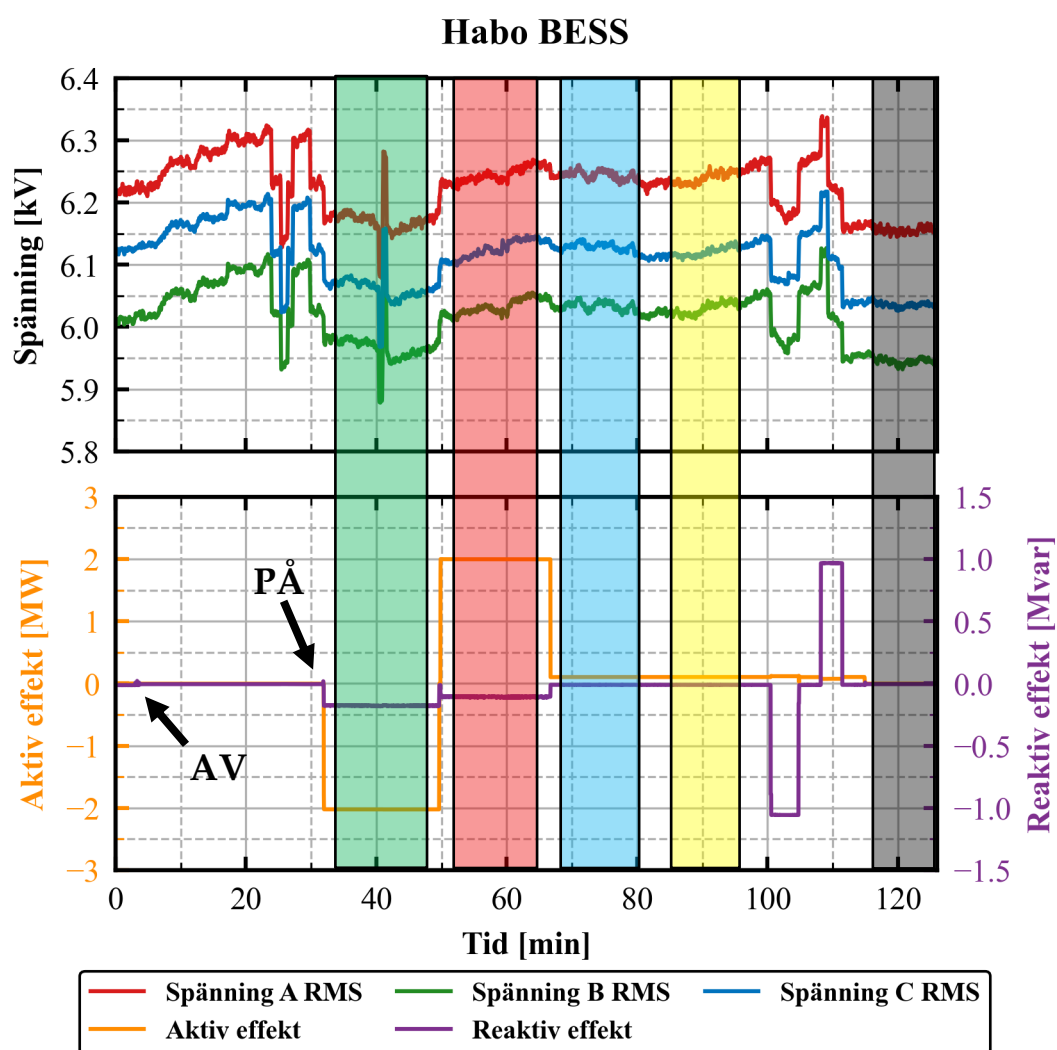


Figur 11: Urval av strömövertoner från mätningen Nr 1 i Jönköping.

4.2.2 Övertoner Habo

Figur 12 redogör för mätsekvensen på batterilagret i Habo. Fem olika färgfönster är inlagda för jämförelse av fem olika driftlägen:

- **Grön:** Batterilagret laddas med hög aktiv effekt 2 MW.
- **Röd:** Batterilagret urladdas med hög aktiv effekt 2 MW.
- **Blå:** Batterilagret urladdas med låg aktiv effekt 0,1 MW.
- **Gul:** Batterilagret urladdas med en låg aktiv effekt 0,1 MW och aktiv filtrering aktiverades "Harmonic Suppression Enabling".
- **Svart:** Batterilagret är fränkopplat med den interna brytaren.

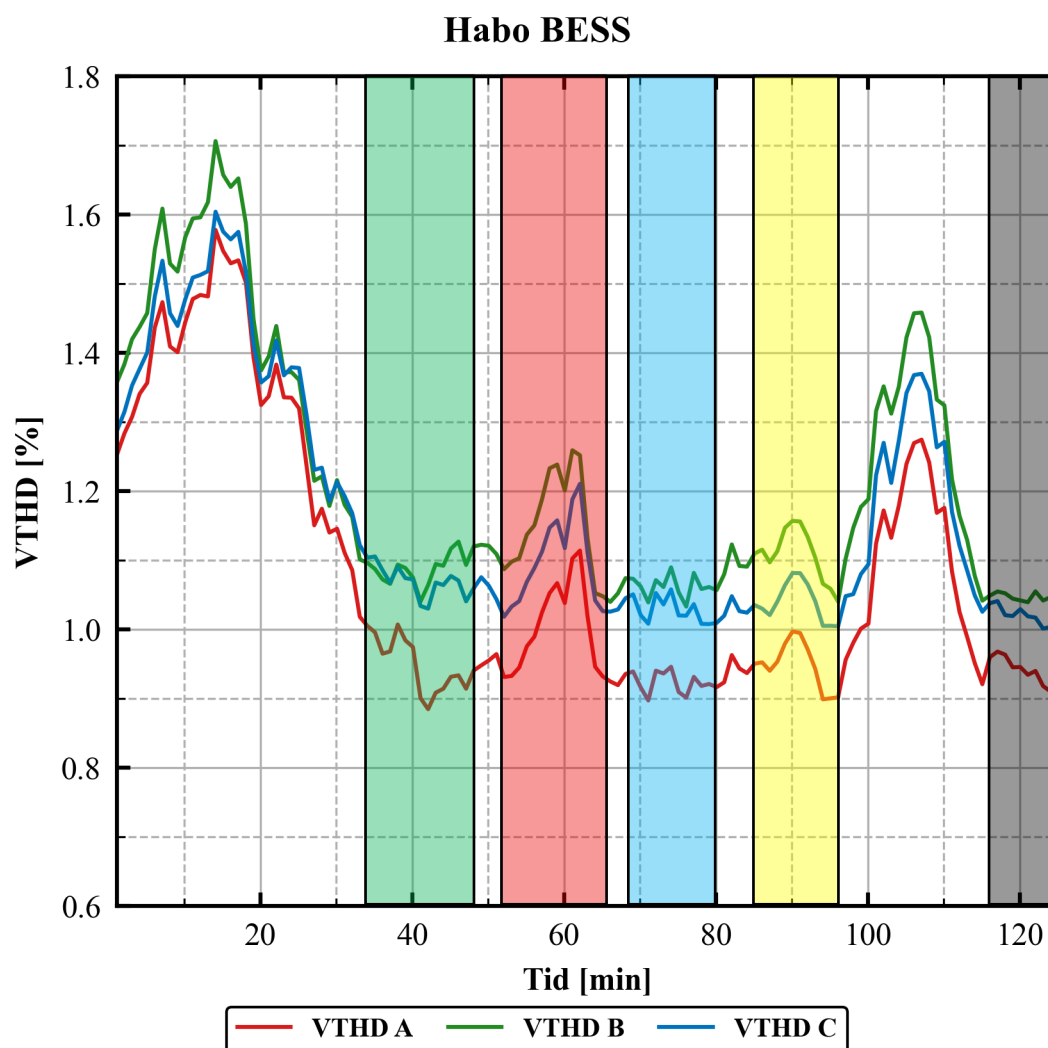


Figur 12: Översikt över mätningen genomförd hos Habo Energi.

Figur 13 visar spänningsövertonsnivån VTHD för de olika faserna under mättiden. Det går att konstatera att den totala övertonsnivån var mycket låg till att börja med, ca 1,3 %. Under mättiden varierade elkvaliteten i elnätet oberoende av batterilagret. De första 30 minuterna då batterilagret var fränkopplat visar en varierade VTHD med ca $\pm 0,3$ %. På grund av den stora variationen i början av mätsekvensen valdes i stället slutet av mätdata för att visa på driftläget AV.

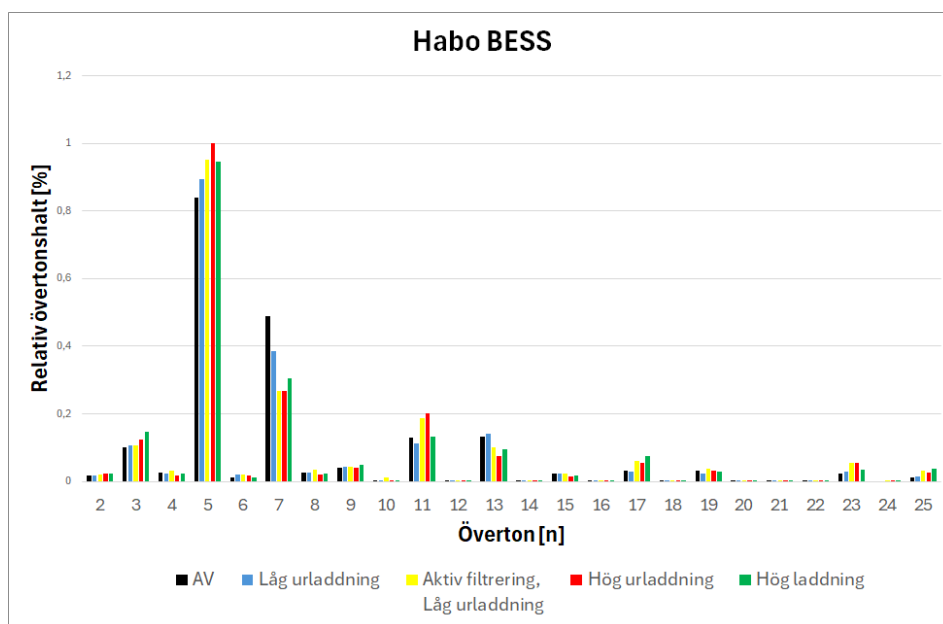
Jämfört med resultaten från mätning Nr 1 i Jönköping ses inte liknande fenomen med lägre VTHD vid batteriet inkopplat än fränkopplat. Skillnaden i påverkan kan bero på olika faktorer, men för de aktuella fallen bedöms de olika nätförhållandena vara orsaken. Övertonsnivåerna är lägre vilket gör att batterilagret inte har samma möjlighet till att påverka. Batterilagret har ju självt en vis övertonspåverkan om än låg och det kan också förklara att vid en viss lägsta nivå i nätet blir det inte bättre. Kortslutningseffekten är relativt sett högre än i Jönköping Nr 1 så det bör inte utgöra en förklaring till skillnaden.

Den för anläggningsägaren sedan tidigare okända funktionen "Harmonic Suppression Enabling" (aktiv filtrering) aktiverades vid låg urladdning för att kunna utvärderas. Funktionen ska enligt tillverkaren hjälpa till med att dämpa övertoner. Enligt vad som visas i **Figur 13** orsakar inte funktionen någon definitiv skillnad. Att så var fallet var dock inte helt oväntat då elkvaliteten redan från början var bra. Det fanns därmed mycket lite spelrum för funktionen att kunna göra skillnad. En dålig elkvalitet säkerställer dock inte att funktionen skulle haft en annan inverkan, då ingen dokumentation fanns tillgänglig.

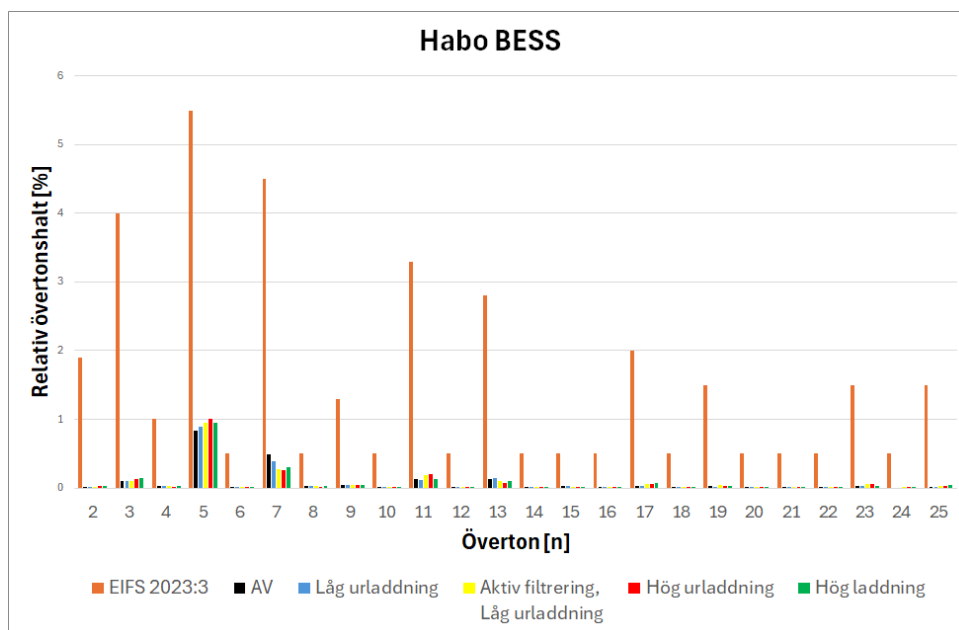


Figur 13: Spänningsövertonsnivå VTHD för de olika faserna vid de olika driftlägena.

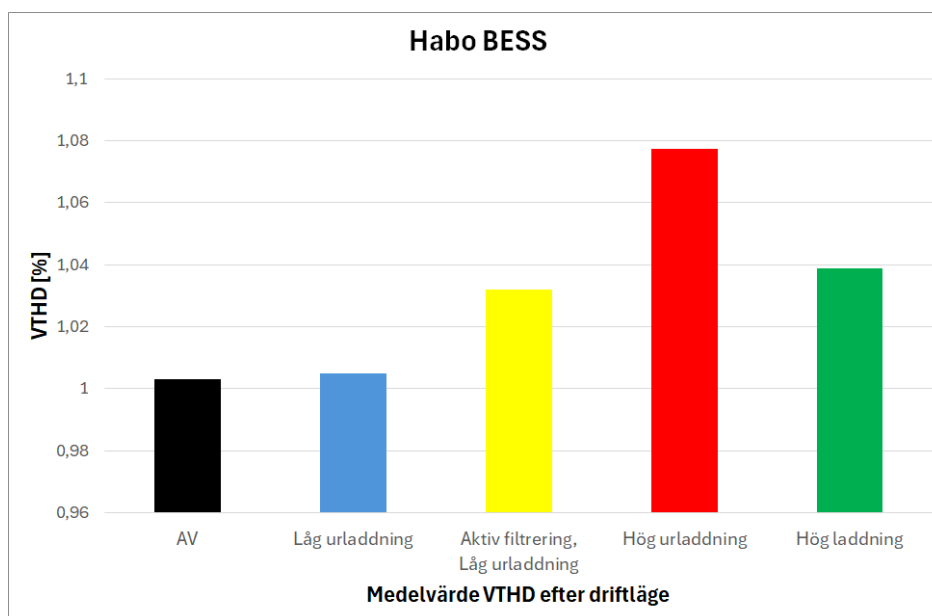
Figur 14 redogör för de individuella övertonerna hos varje driftläge, upp till och med 25e multipeln, och **Figur 16** visar en sammanställning av VTHD. Värdena är medelvärdesbildade över alla tre faserna. Resultaten visar att batterilagret inte påverkar elkvaliteten, varken positivt eller negativt, för något av driftfallen. Att resultaten varierar något kan härledas till de naturliga nätvariationerna.



Figur 14: Jämförelse av den relativa övertonshalten för de olika driftlägena upp till den 25e multipeln.



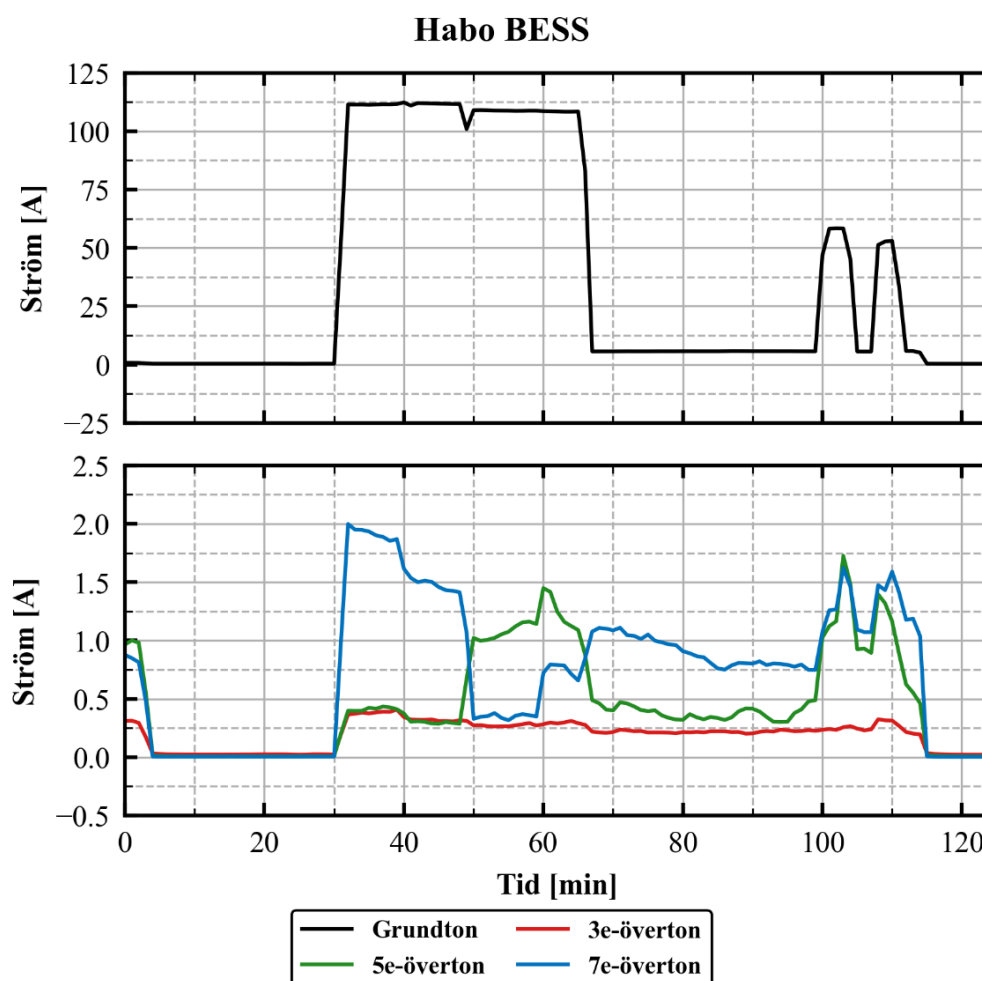
Figur 15: Jämförelse av den relativa övertonshalten för de olika driftlägena med föreskriften EIFS 2023:3 (referensspänning 1-36 kV).



Figur 16: Sammanställning av VTHD för de olika driftlägena vid mätning i Habo.

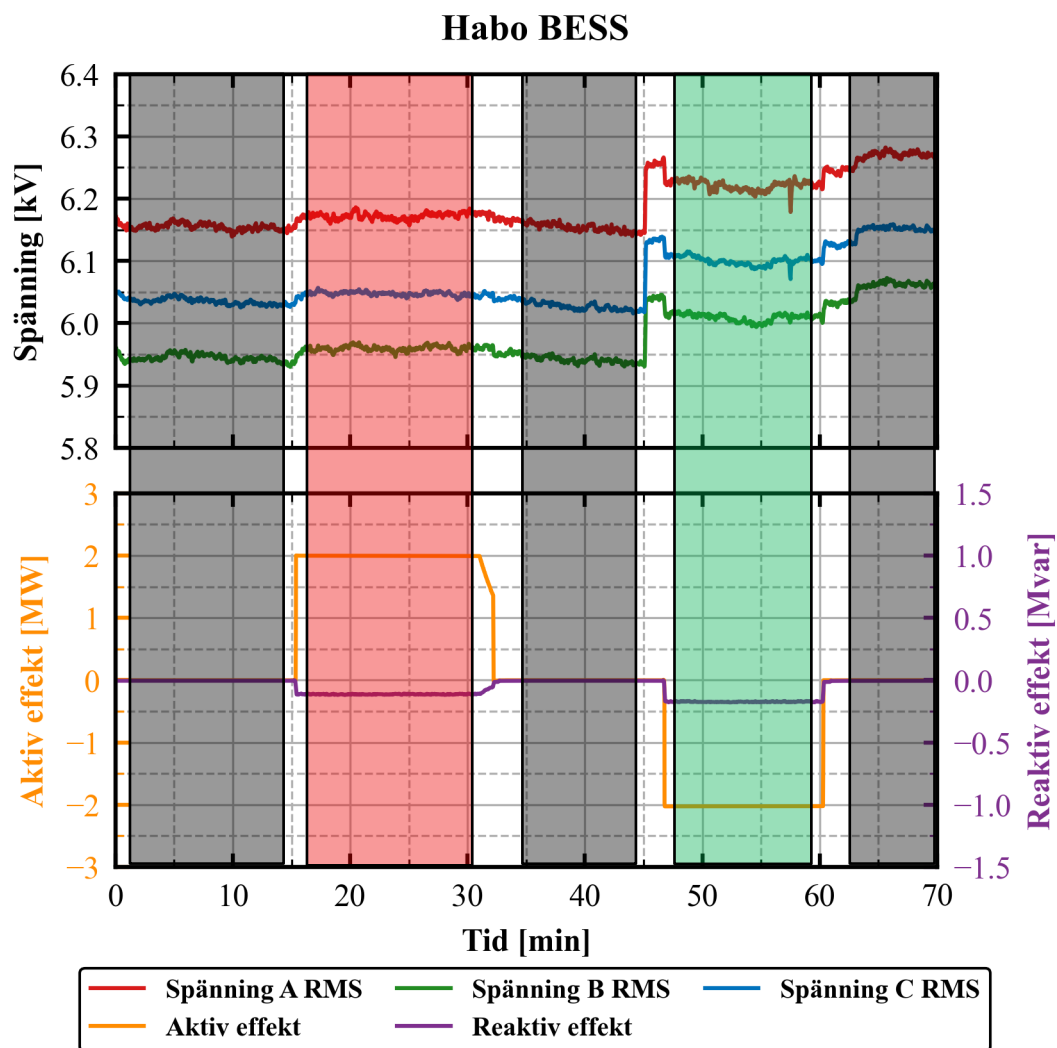
Figur 17 visar ett urval av strömövertoner under hela mätsekvensen från Habo. Resultaten från mätningen är inte lika tydliga som för mätning Nr 1 i Jönköping. Strömövertonernas amplitud är låg och varierar något även under driftlägena. Samma slutsatser kan dock dras, för hur spänningsövertonernas nivå och relation till kringliggande elnät påverkar BESS möjligheter till elkvalitetsförbättringar, som för Jönköping.

Att spänningsövertonerna är lägre resulterar i lägre förmåga till att driva en övertonsström till batterilagret. Habo har också annorlunda nätförhållanden med lite industriell last, vilket kan liknas med en högre reaktans mellan batterilagret och källan till övertonerna. Båda samverkar troligtvis till att strömövertonsnivån är lägre i **Figur 17**, och därför till att spänningsövertonsnivån inte dämpas av batterilagrets inkoppling.

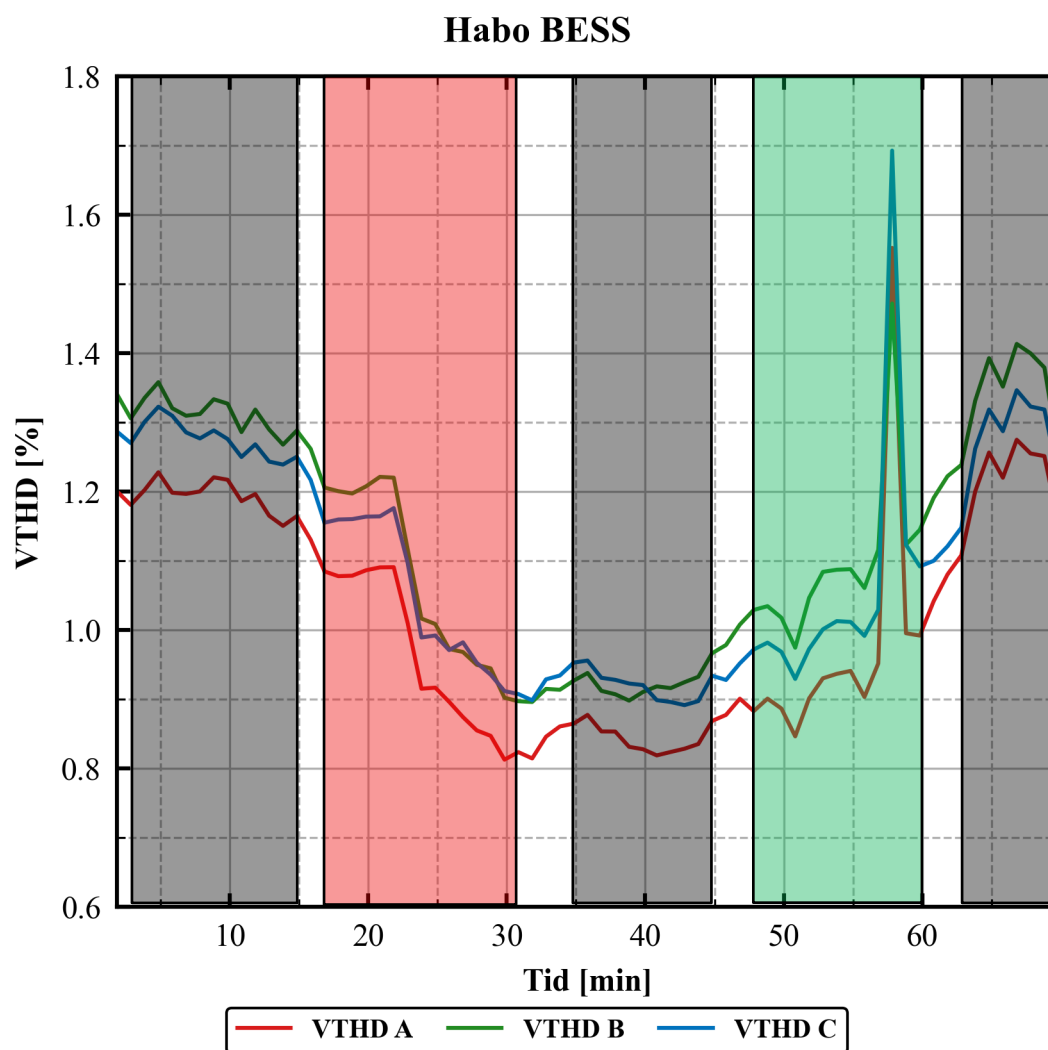


Figur 17: Urval av strömövertoner från mätningen i Habo.

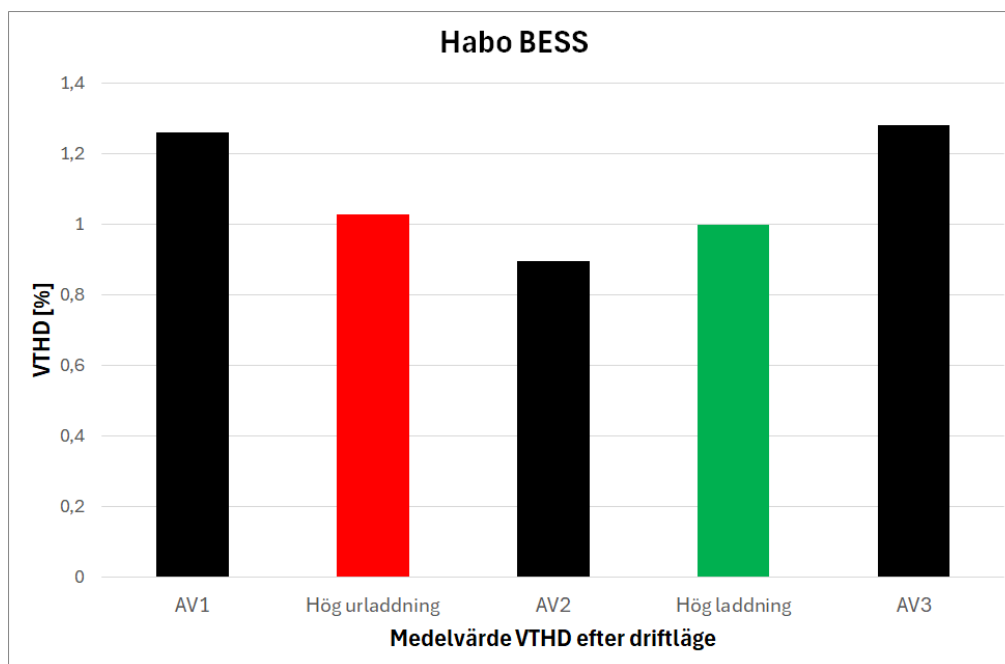
För att verifiera den tidigare dragna slutsatsen genomfördes ytterligare en mätsekvens där driftläget varierades mellan AV – Urladdning – AV – Laddning – AV. Resultaten visas i **Figur 18** och **Figur 19**. Samma mönster som tidigare observerats kunde återigen ses i att det enbart var den naturliga variationen av elkvaliteten i elnätet som påverkade VTHD.



Figur 18: Extra mätsekvens från Habo med driftlägena AV och urladdning/laddning.



Figur 19: Extra mätsekvens från Habo visandes VTHD för varje fas.



Figur 20: Sammanställning av VTHD för den extra mätsekvensen vid mätning i Habo.

4.2.3 Övertoner Jönköping Nr 2

Figur 21 redogör för mätsekvensen på ytterligare ett batterilager hos Jönköping Energi. Mätsekvensen uppmättes i samband med ett annat prov varför mättiderna inte är så långa.

Till skillnad från de andra mätningarna utfördes denna på lågspänningssidan i nätstationen för anslutning ut mot nätet, och inte i anslutningspunkten. Strömmätning var inte möjlig vid provtillfället. Datan bedöms oavsett vara tillräcklig för att kunna dra relevanta slutsatser.

Följande moment genomfördes i samband med det primära provet:

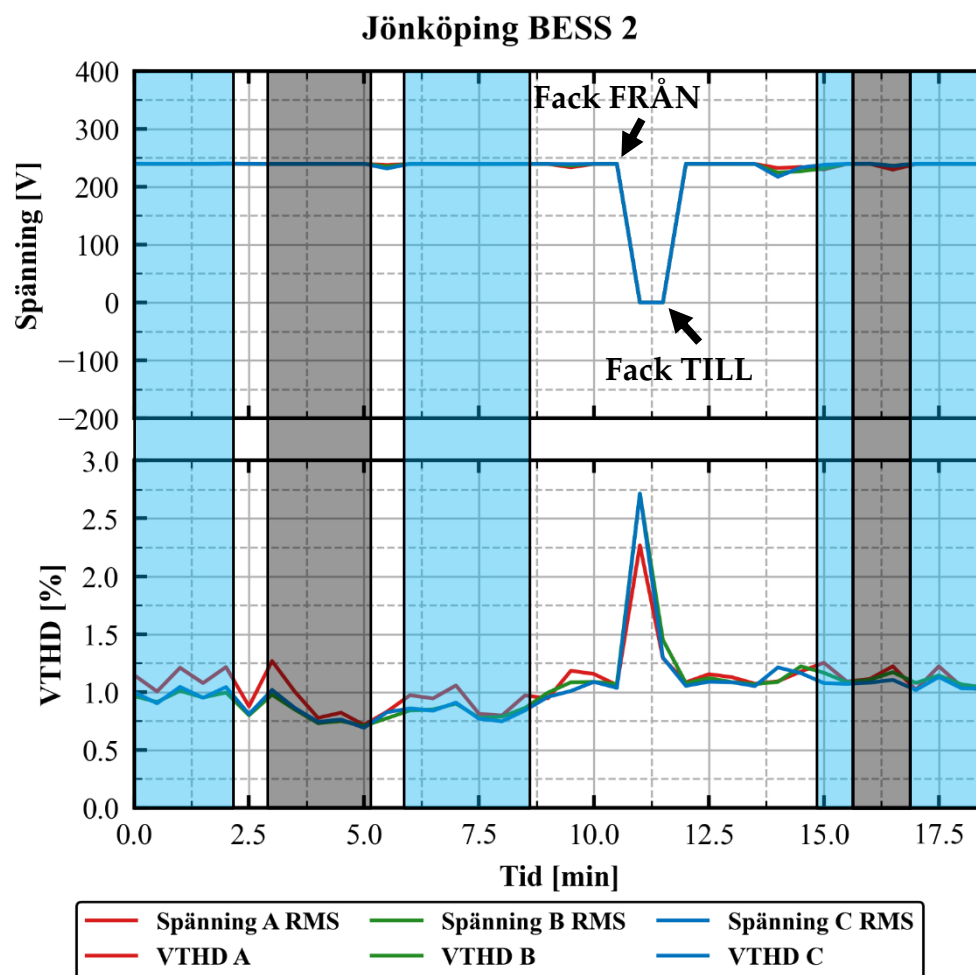
1. BESS slås FRÅN
2. BESS slås TILL
3. Närliggande vindkraft slås FRÅN (tid 8,5 min)
4. Utgående fack i fördelningsstation FRÅN
5. Utgående fack i fördelningsstation TILL
6. Närliggande vindkraft slås TILL (tid 13,5 min)
7. BESS slås TILL
8. BESS slås FRÅN
9. BESS slås TILL

Två olika färgfönster är inlagda för jämförelse av två olika driftlägen:

- **Blå:** Batterilagret anslutet till nätstationen.
- **Svart:** Batterilagret är fränkopplat.

Det går att konstatera att den totala övertonsnivån var mycket låg till att börja med, ca 1,1 % VTHD. Under de olika driftlägena varierade elkvaliteten något i elnätet oberoende av batterilagret. Baserat på mätningen går det inte att se någon påverkan från batterilagret.

Mätningen bekräftar slutsatserna för de två tidigare batterilagren. Övertonsnivåerna var mycket låga till att börja med vilket gör det svårt för batterilagret att kunna påverka till det bättre. Kortslutningseffekten var relativt sett i samma storleksordning som hos det första i Jönköping Energis regi. Efter analys av mätningarna går det konstatera och dra slutsatsen att batterilagren inte försämrar elkvaliteten i något av fallen.



Figur 21: Spänningsövertonsnivå VTHD för de olika faserna vid de olika driftlägena.

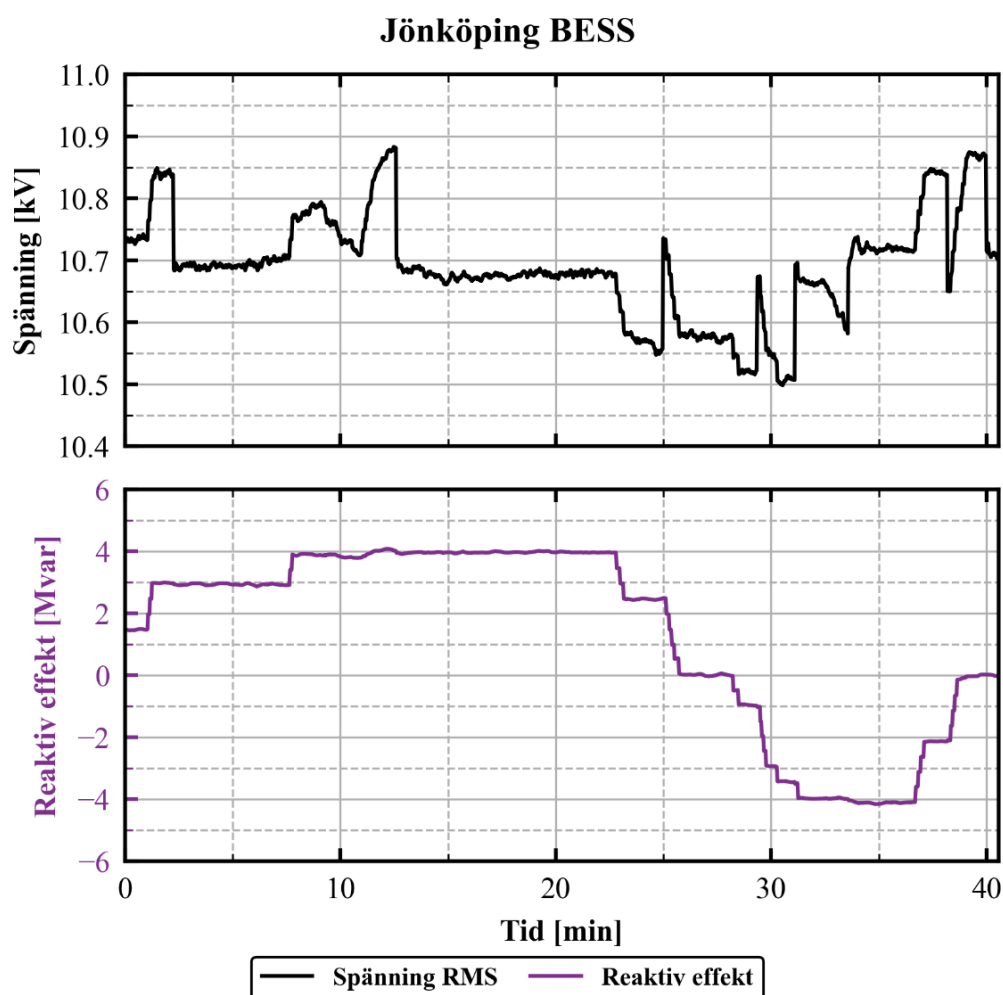
4.2.4 Reaktiv effekt

Batterilagrens förmåga till att reglera den reaktiva effekten provades genom att applicera steg i det reaktiva effektbörvärdet. Generellt är det batterilagrens kapabilitetsdiagram och spänningen på omriktarsidan som sätter begränsningarna

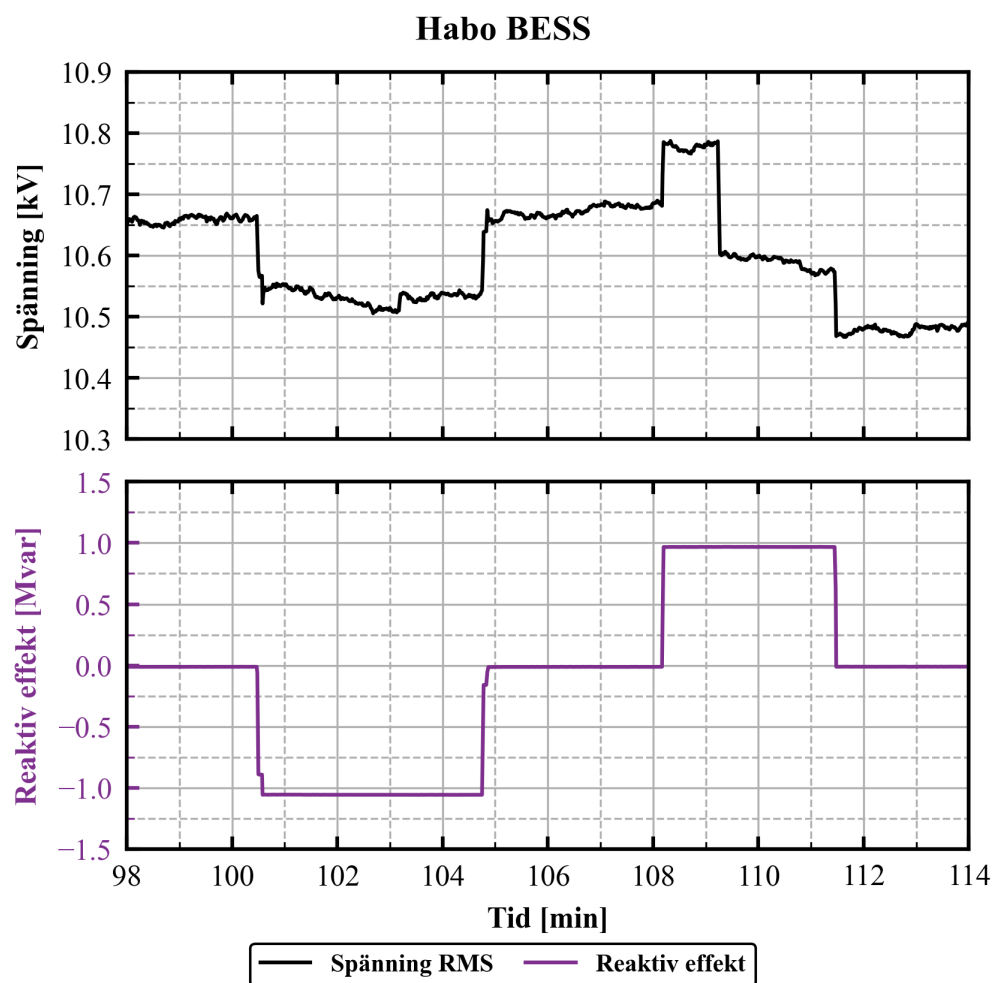
för hur mycket reaktiv effekt som kan produceras, baserat på den maximala skenbara strömmen. För att inte påverka nätspänningen för mycket begränsades den reaktiva effekten till ± 4 Mvar för Jönköping Nr 1 och ± 1 Mvar för Habo, se **Figur 22** och **Figur 23**. Trots begränsningarna går det att observera hur närliggande lindningsomkopplare aktiverades för att hålla korrekt nätspänning.

Inget av de provade batterilagren hade någon reglermod för aktiv spänningsreglering mot ett spänningsbörvärde implementerad vid provtillfället. Möjligheten till att implementera reglermoden finns dock.

Resultaten visar att batterilager har en bra förmåga till att stötta med reaktiv effekt, och att responstiden efter applicerat steg är kort (150 ms upp till 2 s beroende på stegets storlek).



Figur 22: Steg i det reaktiva effektbörvärdet för batterilagret i Jönköping.



Figur 23: Steg i det reaktiva effektbövärdet för batterilagret i Habo.

5 Slutsatser

5.1 ÖVERTONER

Efter genomförda mätningar kan ett antal slutsatser dras relaterat till hur batterilager påverkar elkvaliteten i elnätet. Slutsatserna är följande:

1. Ett batterilager kan, om nätförhållandena tillåter, absorbera strömövertoner vilket hjälper till med att förbättra elkvaliteten. Exakt vad i batterilagret som absorberar strömövertoner är inte fastställt, men härleds till en kombination av att
 - a. batterilagret höjer kortslutningseffekten i nätet, dvs. sänker nätimpedansen, och därmed absorberar strömövertoner
 - b. alternativt att ett aktivt filter mäter och kompenserar övertoner i elnätet genom en feedback-loop och det passiva filtret interagerar med de egna övertoner.

Vid inkoppling till elnätet agerar därför batterilagret som ett filter som absorberar strömövertoner för de spänningsövertoner som existerar i närliggande elnät. Detta sker oberoende av vilket driftläge batterilagret ligger i.

2. Hur pass bra batterilagret kan absorbera strömövertoner, och på så sätt reducera spänningsövertoner, beror på följande faktorer: amplituden på spänningsövertoner som driver strömmen, batterilagrets position relativt övertonernas källa (vilket kan relatera till kortslutningseffekten beroende på nättopologin) samt eventuellt batterilagrets interna passiva filter.

Utifrån vad som går att påverka som nätägare; om avståndet elektriskt sett är långt till spänningsövertonernas källa blir den mellanliggande reaktansen stor, vilket reducerar batterilagrets förmåga till att absorbera strömövertoner. Vid placering av nya batterilager kan det därför vara strategiskt att placera dessa i nära anslutning till anläggningar och objekt vilka försämrar elkvaliteten i elnätet.

Projektet har inte kunnat visa på hur aktiv filtrering i batterilager kan användas för att förbättra elkvaliteten. Funktionen har provats i Habo men inte observerats leda till positiv påverkan, vilket kan bero på de redan låga övertonsnivåerna eller att det aktiva filtret inte var implementerat alternativt inte intrimmat med relevanta nätdata.

En sammanfattande slutsats kring övertoner och batterilager är att inte vid något av provtillfällena har en försämring kunnat observeras med hänsyn till elkvaliteten, som konsekvens av batterilagrets inkoppling.

5.2 REAKTIV EFFEKT

Resultaten från provningen visar att batterilager är en bra resurs avseende hantering av reaktiv effekt. De har en snabb respons och levererar den efterfrågade reaktiva effekten baserat på önskat börvärde.

Även om inget av de provade batterilagren hade en implementerad reglermod för automatisk spänningsreglering vid provtillfället, så kan batterilager med sin prestanda kring reaktiv effekt hjälpa till med spänningsreglering om reglermoden implementeras/aktiveras.

5.3 EKONOMISK OCH REGULATORISK BEDÖMNING

De genomförda mätningarna och intervjuerna visar att elkvalitet i sig inte är tillräckligt för att motivera investering i batterilager. Kostnaden per installerad MWh är betydligt högre än nyttan av förbättrad elkvalitet. Den ekonomiska lönsamheten uppstår endast när batteriet samtidigt används för stödtjänster, elhandel eller effekttoppskapning.

Från ett regelverksperspektiv finns dessutom hinder:

- Nätägare får i nuläget inte driva batterier aktivt för nätändamål.
- Aggregatorer styr driften av batterier på affärsmässiga grunder, vilket begränsar möjligheten att använda batteriet för lokal elkvalitet.

För att batterilager ska kunna utnyttjas bredare för elkvalitet krävs:

1. Förtydligande av ellagen så att nätägare kan använda batterilager för nätstöd.
2. Standardiserad mätmetodik för verifiering av elkvalitetstjänster.
3. Ekonomiska incitament.

5.4 KRAVSTÄLLNINGENS ROLL FÖR BIBEHÅLLEN ELKVALITET

Mätresultaten visar att de studerade batterilagerinstallationerna inte ger upphov till förhöjda nivåer av övertoner eller andra elkvalitetsstörningar, utan snarare att de har en positiv påverkan på övertonsnivån. Den observerade frånvaron av elkvalitetsproblem bedöms i hög grad vara en följd av den kravställning som följer av bland annat nätkoderna RfG och DCC med Ei:s tillhörande föreskrifter, vilka föreskriver tekniska minimikrav avseende bland annat övertonsinnehåll, reglerbarhet och reaktiv effekthantering. Dessa krav implementeras vidare genom nätägarnas anslutningsvillkor, vilket skapar en nedåtgående kravkedja som säkerställer att anläggningarna dimensioneras och styrs i enlighet med nätets tekniska förutsättningar.

Resultaten indikerar därmed att batterilager inte utgör en elkvalitetsrisk i dagens nätmiljö, förutsatt att aktuella nätkoder och tekniska kraven efterlevs. Detta understryker nätägarnas centrala roll i att genom sin kravställning möjliggöra fortsatt integration av batterilager utan negativ påverkan på elkvaliteten.

5.5 REKOMMENDATIONER TILL NÄTÄGARE OCH BESLUTSFATTARE

Projektet mynnar ut i följande rekommendationer till nätägare och beslutsfattare, baserat på teorienomgång, intervjuer och mätningar:

1. Integrera elkvalitetsnytta i flerfunktionsstrategier

Batterilager bör planeras för flera användningsområden (stödtjänster, reservkraft, elkvalitet) för att motivera investeringar. Då måste regelverk stödja nätägares användande av batterier i flera syften för att de ska kunna reservera delar av batteriets kapacitet.

2. Standardisera mätning och rapportering

Inför en gemensam metod för att kvantifiera elkvalitet före och efter installation.

3. Utveckla regler för styrbarhet och ansvar

Klargör vem som får styra batteriet vid elkvalitetsproblem. Är det nätägare, aggregatorer eller systemoperatör?

4. Genomför regelbundna mätningar

För att möjliggöra för tydlig statistik bör elkvalitetsmätningar genomföras med intervaller om 6–12 månader, där svaga nätdelar med kända elkvalitetsproblem inkluderas.

6 Fortsatt arbete

För att vidareutveckla kunskapen om batterilagers roll i elkvalitet rekommenderas fortsatt arbete inom följande områden:

- Kartläggning av var och i vilken omfattning elkvalitetsproblem förekommer i dagens elnät, samt vilka källor som orsakar dessa problem.
- Fördjupad analys av huruvida elkvalitet i praktiken utgör ett växande problem, eller om anslutning av batterilager och solkraft i många fall bidrar till en förbättrad spänningskvalitet jämfört med tidigare antaganden.
- Studier av kombinerad användning av batterilager tillsammans med synkronkondensatorer, SVC och STATKOM, med fokus på samordnad styrning, optimerad reglerstrategi och påverkan på nätets stabilitet och övertonsnivåer.

7 Referenslista

- Xavier, L.S., Amorim, W.C.S., Cupertino, A.F. *et al.* Power converters for battery energy storage systems connected to medium voltage systems: a comprehensive review. *BMC Energy* **1**, 7 (2019).
<https://doi.org/10.1186/s42500-019-0006-5>
CC BY 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- G. Wang *et al.*, "A Review of Power Electronics for Grid Connection of Utility-Scale Battery Energy Storage Systems," in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 1778-1790, Oct. 2016,
doi: 10.1109/TSTE.2016.2586941.

ELKVALITET OCH BATTERILAGER

Batterilager kan förbättra elkvaliteten i elnätet genom att minska övertoner och tillhandahålla reaktiv effekt, särskilt i svaga nät. Denna studie visar på att tekniken fungerar i praktiken men att den ekonomiska nyttan är begränsad om elkvalitet är det enda syftet. För att investeringar ska bli lönsamma behöver batterilager kombineras med exempelvis stödtjänster.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

