

Energilager för nätanpassad krossning med stöd av solceller



Björn Strokirk, SBMI
Sten Bergman, StonePower AB

2025-09-30

Förord

Detta projekt (SBUF 14101) syftar till att öka möjligheterna till fossilfri bergmaterialproduktion med stöd av el från svaga elnät, genom att utnyttja framsteg inom energiteknikområdet. Projektet har undersökt om batterier kan vara en möjliggörare för elektrifiering av krossar – trots svagt elnät – och i så fall vilka miljömässiga, tekniska och ekonomiska nyttor som batterier kan ge, samt hur solceller kan bidra till att möjliggöra installationen och främja ekonomin.

Vi vill rikta ett särskilt tack till finansiärerna, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), samt även till SBMI, vars finansiering bidragit väsentligt. Vi vill även varmt tacka systemleverantörer /batteritillverkare som Hugo Tillqvist - Xelectric, Wangeskog – NorthVolt samt Lynx Accumalata AB (Lynx) och GPT Elkraft AB (GPT). Alla mätningar på Vikan är utförda av GPT i samarbete med Lynx, som medverkat i projektet och till Skanska i vars bergtäkt i Göteborg vi fick slutföra projektet.

Tack även till SBMIs Krossutskott där Swerock, Skanska, NCC, Heidelberg, ABT, Swevia, och Krosskonsult ingår.

Ett tack även till Eon: nätägaren vid Rotebro och Barkarby terminalerna och till Göteborg Energi som möjliggjort mätningar och tester. Stort tack även till personalen vid flera bergterminaler i Mälardalen vilka har möjliggjort mätningar och sist men inte minst: xxx-täkten i Göteborg som har ställt upp och möjliggjort mätningar före och efter installation av ett modernt batteri som stöd för elnätet och täktens kraftuttag.

Ett varmt tack riktas också till Skanska, som fungerat som projektägare/ stödmottagare. Ett speciellt tack riktas också till Kjell Frank, tidigare vid ABB, angående egenskaper hos växelriktare.

Vi hoppas att denna rapport ska bli till stor nytta för elektrifieringen av bergmaterialindustrin, och leda till en ökad effektivisering, samt bidra positivt till branschens pågående miljöarbete.

Huvudförfattarna till denna rapport är Björn Strokirk och Sten Bergman.

Stockholm 30 september 2025

Björn Strokirk/SBMI
Sten Bergman/StonePower AB

Sammanfattning

De svenska elnäten är inte byggda med tanke på den omfattande omställning som vi nu står inför. Distributionsnäten är på många håll för redan svaga och en ökande belastning gör att fler nät kommer att bli svaga. Krossanläggningar, som är stora elektromekaniska system, påverkar de lokala elnäten ogynnsamt. Det gäller både vid start genom höga startströmmar och vid krossning då lågfrekventa effektpendlingar innebär alltför höga flimmervärden.

Projektet syftar primärt till att öka möjligheterna till fossilfri bergmaterialproduktion, genom att utnyttja framsteg inom energiteknikområdet, med målet är att demonstrera den praktiska användningen av ett snabbt större energilager i befintlig elektrifierad krossverksamhet. Detta kan påvisa vilka miljömässiga, tekniska och ekonomiska nyttor som batterier kan ge i svaga elnät, samt dess möjliggörande av lokal solcellsinstallation för energilagring.

Projektet har finansierats genom SBUF och SBMI och haft som utgångspunkt att undersöka vilka metoder som finns för att både sänka startströmmar och reducera effekt-pendlingar. En viktig komponent är användning av ett större Li-jonbatteri i en teknisk demonstrator. Även andra alternativa metoder har dock diskuterats och analyserats, samt i viss mån utvärderats.

Projektet har undersökt marknad för energilager (Litium-Jon batterier) för att i praktisk drift testa hur ett sådant batteri påverkar energianvändning, effektprofil, behovet av köpt elkraft, tåktens störning på elnätet, samt hur batteri och solceller samverkar. Flera frågor kom att belysas;

- Vilken effektförmåga (kW) måste ett energilager ha för att nedbringa belastnings-svängningarna till en acceptabel nivå?
- Vilken responstid krävs från batterisystemet (millisekunder) för att möta belastningsvariationerna?
- Vilken lagringskapacitet (kWh) bör ett energilager ha i förhållande till en given solcellsinstallation och eventuella nätbegränsningar?

Det finns flera metoder att reducera startströmmar. En vanligt använd metod är att förse krossen med s.k. ”mjukstartare”. Mätningar med mjukstartare har dock påvisat att startströmmar inte reduceras i önskvärd omfattning. Många täktägare är vidare tveksamma till användning av strömbegränsare då dessa kan inverka negativt vid exempelvis start mot fylld kross.

Modernare krossar använder allt oftare frekvensomriktare för krossens motorstyrning. Prov med strömbegränsning i frekvensomriktare har visat på önskvärt resultat under startförloppen.

Andra potentiella metoder har föreslagits i projektet, som dynamisk reaktiv effektkompensering eller dieselstart med rullande infasning mot yttre nät. De två senare har ej testats praktiskt, men torde vara enkla att demonstrera.

Projektet kom tidigt att fokuseras mot att demonstrera ett större Li-jonbatteri, där batteriets ”peak-shaving” funktion skulle kunna reducera såväl startström, som minska effektpendlingar under drift.

Under 2022 startades ett samarbete med Northvolt med målet att kunna testa ett av deras stora batterier. Hösten 2022 föreslog Northvolt att projektet skulle invänta ett nytt batteri med en ny snabb reglerfunktion som borde finnas framme våren 2023.

Tyvärr drog utvecklingen ut på tiden och SBMI valde 2023 att söka samarbete med den österrikiska batteritillverkaren Xelectric:s svenska återförsäljare. Personalbrist gjorde att testerna försenades och när det var dags att genomföra testerna gick Xelectric i konkurs. Därmed hade deras svenska återförsäljare inget intresse av fortsatt samverkan med SBMI.

SBMI återgick då till Northvolt, som hade ett batteri men inte en styrutrustning som medgav att det kunde användas utomhus (inte tillräcklig IP-klass). I väntan på att Northvolt skulle ta fram en sådan styrutrustning gick tiden och vintern 2025 gick Northvolt i konkurs

I mars 2025 fick SBMI vetskap om att GPT Elkraft AB hade ett batteri på väg från Kina till Sverige. Batteriet kom att placeras i Skanskas täkt i Vikan i Göteborg i början av juni 2025. Det anslöts inledningsvis till en stor käftkross (1511).

Det är ett starkt batteri (1 MW, 2 MWh) och nätet i denna del av Göteborg är ganska svagt, vilket gör tåkten väl lämpad för att kunna verifiera batteriets förmåga att släcka ut störningar från krossar, så att inte tåkten stör andra kunder i närheten.

Mätningar under perioden 19–22 september visar att batteriet kan dämpa stora strömtoppar vilket var förväntat resultat. I Vikan-fallet upp mot 40%, då toppvärdet gick ner från 2 250 till ca 1 500 A. Med en mjuk-startare skulle strömtoppen eventuellt ytterligare kunna minskas.

Med batteriets stora kapacitet (1 MW) torde även ö-drift och start mot batteri vara möjligt för en inte alltför stor kross. Även om detta skulle innebära en något långsammare start då max-ström från batteriet ligger kring ca 1 800 A vid 110% last.

Strömpendlingar under drift minskas enligt GPT:s mätning med närmare 60%. Att kunna utjämna de aktiva strömpendlingarna ytterligare kräver troligen en helt annan regleralgoritm än den nuvarande.

Reduktionen av effekt-toppar och strömpendlingar innebär att batteridrift väsentligt skulle kunna förbättra anläggningens ekonomi, då dessa minskas med ca 1000 kW. Med dagens effektpreiser är batteri-hybrid drift alltså en stor fördel.

English summary

The Swedish electric grid is not designed for the extensive way we are now facing. The distribution networks are in many places already too weak, and an increasing load means that more networks also will be weak. Crushing systems, which are large electromechanical systems, affect the local electricity grid unfavorably. This applies both at the start through high currents and when in crushing mode a low-frequency power oscillation generates excessive flicker values.

The project is primarily aimed at increasing the opportunities for fossil-free rock material production by utilizing progress in the energy technology area, with the goal to demonstrate the practical use of a large energy storage. This can demonstrate the environmental, technical and economic benefits that batteries can provide in weak grids, as well as enabling local solar power cells for energy production and storage.

The project has been funded through SBUF and SBMI and was based on investigation of the methods available to both lower starting current and reduce power oscillations. An important component is therefore the use of a large Li-ion battery as a technical demonstrator. However, other alternative methods, than batteries, have also been discussed and analyzed, and to some extent evaluated. The project has investigated the market for energy storage (lithium-ion batteries) to test in practical operation how such a battery affects energy use, power profile, the need for purchased electric power, the disturbance's reduction on the electricity grid, and how battery and solar cells work together. Several issues came to be in focus:

- What power ability (kW) must an energy storage have to reduce the load variations to an acceptable level, during both startup and operation?
- What response time is required from the battery system to meet the load variations?
- What storage capacity (kWh) should an energy store have in relation to a given solar cell installation and typical network restrictions?

There are several methods to reduce starting currents. A commonly used method is to supply the crusher with so-called "soft starters". However, measurements with soft starters have shown that starting currents are typically not reduced to a desirable extent. This since many site owners are hesitant about the use of power limitation, as it can affect, starting up a filled crusher.

Modern crushers are increasingly using frequency inverters for the motor control. Measurements with frequency inverters have shown desirable results during the starting process.

Other potential methods have been suggested in the project, such as dynamic reactive power-compensation or diesel start with automatic phasing. The latter two have not been practically tested.

The project focused early to demonstrate a larger Li-ion battery, where the battery's "peak-shaving" function could reduce both starting current and reduce power oscillations during operation. However, in the autumn of 2022, Northvolt proposed that the project should wait for a new battery with a faster and more appropriate control function, that should be ready in the spring of 2023. Unfortunately, due to this development delay SBMI changed partner to collaborate with an Austrian battery manufacturer (Xelectric). Staff shortages at the Swedish

dealer Hugo Tillquist caused the tests to be further delayed. When it was time to conduct the tests, Xelectric went bankrupt.

SBMI then returned to Northvolt a second time, which now had a battery but not control equipment that admitted it could be used outdoor usage. Waiting for Northvolt to produce such a control equipment, time went by and in the winter of 2025, also Northvolt went bankrupt.

However, in March 2025, SBMI learned that GPT Elkraft AB had a battery which was placed at Skanska's site in Vikan/Gothenburg which was supposed to be in operation by end of June 2025.

Measurements during the period 19-22 September show that the battery can dampen large power peaks, which was expected result. In the Vikan case up to 40%, when the peak value went down from 2,250 to about 1,500 A. With a soft starter, the peak could possibly be further reduced.

With the large power capacity of the battery (1 MW), island operation and start to battery should also be possible for a not too large crusher. Although this would mean a slightly slower start as the peak current from the battery is around 1,800 A at 110% load.

Power oscillations during operation are reduced, according to GPT's measurement, by almost 60%. However, being able to equalize the active power oscillations completely – probably requires a different control algorithm than the current used one.

The reduction of power peaks and power oscillations means that battery operation could significantly improve the plant's economy, as these are reduced by about 1000 kW. With today's power prices, battery (hybrid) operation is therefore a great advantage.

Innehållsförteckning

1 Bakgrund	8
1.1 Historik för problemet.....	8
1.2 Vad man gör idag	8
1.3 Syfte och mål med projektet.....	9
1.4 Avgränsningar och projektnytta.....	9
2 Val av tåkt, upphandling, leverantörskontakter	11
2,1 Kriterier och val av tåkt.....	11
3 Robust energikoncept för demonstration.....	15
3.1 Reduktion av startströmmar	15
3.2 Minskning av effektpendlingar	16
3.3 Val av systemlösning för demo-projektet.	17
4 Projektgenomförande.....	19
4.1 Upphandlingar i projektet.....	19
4.2 Mätningar	19
5 Analyser.....	21
6 Solceller och batterier.....	23
6.1 Simuleringsstudier	23
6.2 Sammanfattning av energianalysen	24
7 Resultat från mätningar i Vikan Göteborg,	25
8 Slutsatser.....	28
8.1 Li-jonbatterier för driftoptimering av krossar.	28
8.2 Vilka alternativ finns till Li-jonbatterier?	28
8.3 Solceller och lokala energilagrar	29
8.4 Konsekvenser.....	29
9 Kommunikation av projektets resultat	33
9.1 Rapporter, presentationer och artiklar.....	33
Bilagor.....	33

1 Bakgrund

SBMI presenterade sin ”Färdplan för Fossilfri konkurrenskraft” i mars 2019. Där identifierades ett antal åtgärder för att fasa ut dieselanvändning i bergtäkter – varav elektrifiering bedömdes vara den viktigaste. Inom ramen för en SBUF-finansierad förstudie föreslogs därefter olika koncept för smart elektrifiering av mobila krossanläggningar. Elektrifieringen har visat sig ge betydande miljövinster och stora kostnadsbesparingar. Elenergin har hittills varit billig jämfört med diesel. Fördelarna att övergå från dieseldrift till eldrift är uppenbara.

1.1 Historik för problemet

Mätningar som genomfördes under förstudien påvisade stora effektvariationer under krossprocessen. Effektbehovet kunde exempelvis variera mellan 30 och 90 % inom en sekund. Låga effektfaktorer har även påvisats vid tidigare mätningar. Dessa variationer som uppkommer under krossförloppet innebär att anslutningseffekten (abonnemanget) i regel måste läggas högt och att reaktiv effekt i många fall måste kompensera för att minska nätpåverkan och för att sänka elkostnaderna.

Trafikverket, som höll på med upphandling av krossning för Norrbottnia banan informerade om att p.g.a kraftiga nätbegränsningar kunde start-strömmar högre än 1 100 A ej tillåtas. Krossleverantörerna hade därför svårigheter med detta och med stora krav på utsläpps-begränsningar bedömde många att krossningen skulle bli mycket kostsam. Åtminstone vad gällde energikostnaderna.

På Gotland har en täkt i Ethelhem nekats anslutning pga. höga strömmar och effektpendlings-problemet. I det senare fallet skulle täktägaren få bekosta en helt ny elledning i området.

En täkt nära Rimbo fick sluta krossa med eldrift på grund av de störningar som man gav upphov till på 10 kV-nätet. Till stor kostnad fick man dra en ny elledning till ett längre bort liggande 20 kV-nät och inköpa en 20 kV-transformator.

Det är högst troligt att upphandlare av bergmaterial i framtiden kommer att ställa större krav på utsläppsfrihet och att nätägare samtidigt kommer att införa hårdare begränsar vad gäller störningar på elnätet från sina kunder.

1.2 Vad man gör idag

Många har anslutit större bergtäkter till elnätet när elnät finns inom rimligt avstånd och har en tillräcklig kapacitet. Att inte samtliga bergtäkter redan elektrifierats hänger samman med den problematik som finns med brist på utbyggt elnät och svårigheter att ansluta större industrilaster i ”svaga elnät”. Lokal energiproduktion (solceller) kan undanröja sådana hinder under den ljusa delen av året. Energilager kan se till att den lokala lasten (bergkrossen) inte stör elnätet med de kraftiga effektvariationer som annars uppkommer och om tillgänglig effekt är otillräcklig kan energilagret fyllas med billigare natt-el som sedan tillförs produktionen under dagtid.

SBUF-projektet 13805 ”Hållbar smart elektrifiering av mindre bergtäkter” belyste behovet av fortsatt utveckling och pekade på vikten av praktisk demonstration i sina slutsatser.

Problemet är likartat för både stora som små företag i hela krossbranschen.

Energilager i form av större batterier har kommit i fokus av flera anledningar under senare tid. I första hand har batterier utvecklats för fordon, vilket inneburit allt kompaktare energilager. Dessa batterier kan också med fördel installeras i tillfälliga elsystem, till exempel i byggindustrin och gruvnäring.

Med lokal energiproduktion och batterilager finns också möjlighet att förse transportfordon och arbetsmaskiner med miljövänlig energi – något som vissa branscher redan börjat implementera.

Under de senaste decennierna har utvecklingen av Litium-Jon-batterier accelererat och i dag finns tillgång till energilager av betydande storlek (från hundratals kWh till flera MWh). Kostnaderna för batterier har under den senaste 10-årsperioden sjunkit med närmare 75 % och ytterligare prissänkningar är att vänta under den kommande 10-årsperioden. Ett flertal större batteriföretag har observerat behovet av större energilager för industriella processer och utveckling har kommit en bra bit på väg.

Vad som dock saknas i dagsläget är tydliga demonstratorer, där användningen av energilager för täktverksamhet belyses ur både tekniska och ekonomiska perspektiv och vad detta kan betyda för mindre täkter, samt täkter i s.k ”svaga elnät”. Sådana demonstratorer finns inte heller internationellt såvitt känt.

1.3 Syfte och mål med projektet

Projektet (SBUF 14101) syftar till att öka möjligheterna till fossilfri bergmaterialproduktion, genom att utnyttja framsteg inom energiteknikområdet – främst genom att minska störningar från kon- och spindelkrossar i svaga elnät.

Målet är att demonstrera den praktiska användningen av ett större energilager i befintlig elektrifierad krossverksamhet och påvisa vilka miljömässiga, tekniska och ekonomiska konsekvenser detta kan ge i svaga elnät, samt hur det kan möjliggöra lokal solcellsinstallation och energilagring.

1.4 Avgränsningar och projektnytta

Projektet ska undersöka marknad för energilager (Litium-Jon batterier) och i praktisk drift testa hur ett sådant batteri påverkar energianvändning, effektprofiler, behovet av köpt elkraft, och täktens störning på elnätet. Flera frågor kommer att belysas:

- Vilken effektförmåga (kW) måste ett energilager ha för att nedbringa belastnings-svängningarna till en acceptabel nivå?
- Vilken responstid krävs från batterisystemet för att möte ”belastnings-topparna”?
- Vilken lagringskapacitet (kWh) bör ett energilager ha i förhållande till en given solcellsinstallation och eventuella nätbegränsningar?

Projektet främjar elektrifiering och ökad användning av förnybar energi genom att:

- Öppna möjligheter för elektrifiering av bergtäkter i svaga elnät.
- Ge både tekniskt och ekonomiskt underlag för teknikval med mera;
- Utvärdera installation, komponenter och arbetsmässiga frågor. Det senare inkluderande drift, underhåll, mobilitet med mera. Värdet av en demonstrator är stort.
- Projektet kan bidra till att ytterligare sänka klimatbelastningen från krossning av berg i Sverige genom att påvisa hur lönsam lokal energiproduktion/energilagring kan utformas.

Nytta för bergtäktsägare

- I första hand får företagen nytta av resultaten genom att kunna referera till en utprovad fullskalig prototyp och de erfarenheter som vunnits under projektet. I svaga nät kan tåkten bli en acceptabel kund. Tekniken kan också öppna för lönsam installation av lokala solceller. Batteriet kan även möjliggöra köp av billigare el nattetid när priset är lägre.

Nytta för nätägarna

- Genom användning av energilager kommer nätstörningar att minska. Detta avser både startströmmar, transienter och övertoner/flimmer under krossning. Annars kan krossar utgöra en oacceptabel störning för känsliga användare i svaga nät. Sänkta effektkrav på anslutningar kan dessutom spara investeringar både för nätbolag och täktägare. Ökad näteffektivisering ökar också utnyttjandegraden av redan gjorda investeringar.
- Tåkten kan även sälja nättjänster till Svenska Kraftnät och bidra till nätstabiliteten. Frekvenshållning på kraftnätet ombesörjs av Svenska Kraftnät, på en marknad för olika stödtjänster (FFR, FCR-N samt FCR-D) under perioder när elnätet är ansträngt. Perioderna kan variera från några tiotal sekunder till några minuter. Reglerkraften kan hanteras av tredjepartsföretag, som aggregerar flera kunders resurser. Snabba batterier kan bidra till frekvenshållning på svenska elnätet och ge batteriägaren intäkter som kan betala hela investeringen på cirka 2 år.

Nytta för komponentleverantörer

- Genom praktisk demonstration i full skala får komponent-leverantörer värdefull kunskap om produkters prestanda och uppförande. Detta kan gagna produktutveckling och försäljning av komponenter.

Nytta för staten med dess miljömålsmyndigheter

- Tekniken främjar möjligheterna att klara gjorda miljöåtaganden. Den öppnar för lönsam installation av solceller, som ersättning eller komplement till annan energiförsörjning vid krossning. Genom övergång till nätansluten energi kan befintliga dieseldrivna anläggningar snabbare fasas ut. Möjlighet finns då även för elförsörjning av fordon och arbetsmaskiner.

2 Val av tåkt, upphandling, leverantörskontakter

Projektet har efter start genomgått flera faser - från förstudie till val av tåkt. Under projektet har tåkt undersökts, mätningar genomförts och praktiska försök planerats. Under projektets gång har flera hinder observerats. Tillgång till batteri har varit det mest utmärkande. Skifte av systemleverantör, nedstängning av Sverige pga. pandemin är andra exempel. Trots detta har värdefulla kunskaper kunnat inhämtas krossning och dess koppling till energisystemet. Nedan beskrivs i sammanfattande drag de viktigaste momenten under projektperioden.

2,1 Kriterier och val av tåkt

Inledningsvis genomfördes inventering i sju olika tåkt runt Mälardalen. Data erhöles dessutom från tidigare mätningar på Gotland. Även mätningar, som Chalmers Tekniska Högskola utfört på ett antal krossar, kunde användas som referensmaterial.

När demoanläggningen utsetts skedde förnyade och mer detaljerade mätningar i Rotebro, där det fanns gott om plats för solcellsanläggningen. Efter någon tid upphörde dock krossningen i Rotebro och krossarna flyttades till en annan anläggning.

Då identifierades bergterminalen i Barkarby som hade alla fördelar som fanns i Rotebro, men dessutom var ansluten till ett svagare nät, vilket gör testerna mer tillförlitliga. Terminalen i Barkarby kom under projektperioden även att förses med en elektrifierad förkross.

Startströmmar och effektpendlingar dokumenterades. Resultaten blev samstämmiga, men med individuella skillnader genom att vissa tåkt t ex använde dubbla linor för parallell krossning (Rotebro). Andra genom att elnätet var mer eller mindre svagt (Barkarby)

Mätningarna i Barkarby har visat att startströmmar uppgår till nästan 1800 A och uppträder under ca 3 till 5 sek efter start. Strömbegränsaren kopplas in vid ca 1200 A men toppvärdet kommer ändå upp i ca 1750 A. Under starten sjunker spänningen med minst 10 % från 400 V till ca 360 V. Detta tyder på att elnätet är förhållandevis svagt nät och att reaktiv effekt påverkar systemets spänningsnivå.

Vid krossning pendlar strömmens RMS-värde mellan 500 och 900 A. Pendlingsfrekvensen är 4,08 Hz vilket svarar mot krossens rotorfrekvens (245 rpm) då motorn är en 10 polig asynkronmaskin, vilken drivs med 50 Hz.

För att testa batterifunktionen och dess samverkan med krossen, vad gäller start och drift-optimering kom projektet att inriktas mot anslutning av ett större Li-jonbatteri (250 kWh) parallellt med ingående matning.

Upphandling av leverantör(er)

En offertförfrågan sändes till fyra intresserade leverantörer. Dessa var Northvolt, Epiroc, Stella Futura samt Hugo Tillqvist.

Epiroc, som meddelat att man börjat använda uttjänta batterier från gruvnäringen till energilager var det företag som ansågs vara bäst lämpad för att leverera ett testbatteri till projektet. Prislappen var bra och företaget ansågs också vara kompetent för uppgiften.

När beställningen lagts återkom dock Epiroc och meddelade att man inte kunde ta sig an projektet. Huvudsakligen pga brist på batterier och att man i grunden var helt beroende av Northvolt för leveranser av nya (oanvända) batterier.

Stella Futura hade i sitt offertsvar en prislapp för leasing av batteriet som projektet ansåg vara alltför hög för att projektet skulle kunna genomföras inom budget. Företaget anlätades dock för leverans av solceller för demonstration.

Hugo Tillqvist, Xelectric

SBMI fick i det läget kontakt med Hugo Tillqvist AB, en svensk återförsäljare av ett liknande batteri, men från den österrikiska batteritillverkaren Xelectric.

På grund av personalbrist hos Hugo Tillqvist AB dröjde de praktiska testerna ett år och när de äntligen skulle genomföras gick dessvärre Xelectric i konkurs. Hugo Tillqvist AB såg därmed ingen affär i att medverka i de planerade testerna, eftersom sådana tester inte kunde leda till nya affärer.

Northvolt/Wangeskog

SBMI hade tidigt i projektet (2022) etablerat kontakt med Northvolt, som var intresserade att ett samarbete med SBMI rörande försök att med deras stora batterier (275 kWh/250 kW) reducera strömtoppar och pendlingar från krossar anslutna till elnätet till en acceptabel nivå eller om möjligt helt eliminera dessa. Efter knappt ett år (2023) meddelade dock Northvolt att de beslutat att dra tillbaka de batterier som då var färdiga, för att ta fram ett nytt och bättre batteri. SBMI tog då kontakt med Hugo Tillqvist AB (se ovan).

Efter Hugo Tillqvist dragit sig ur projektet pga Xelectric's konkurs tog SBMI förnyad kontakt med Northvolt under 2023: De kunde då berätta att de om några månader skulle ha de första batterierna av den nya typen klara för egen testverksamhet.

Som ofta tar saker och ting längre tid än planerat. Efter sommaren 2024 räknade Northvolt med att ha ett par batterier klara för industritest. För att genomföra testen krävdes dock ytterligare säkerhets- och styrningsutrustning. Sådan utrustning beräknades kosta 200 000 kronor att utveckla.

Ingenjörsfirman **Wangeskog AB**, som beställt ett antal batterier från NorthVolt erbjöd sig ta fram en sådan, eftersom de såg en framtida affär i att kunna erbjuda potentiella kunder en möjlighet att kunna elektrifiera tåker i svaga elnät.

Northvolt berättade under 2024 att de höll på att utveckla en programvara som skulle göra att batteriet skulle kunna anslutas till nätet utan en "Distributionsbox" för 200 000 kronor. Denna skulle testas i maj 2025 om allt gick enligt plan. Men Northvolt gick i konkurs i mars 2025.

Projektet har på grund av batteritillgången alltså kommit att utsträckas i tiden från 2022 till 2025, huvudsakligen pga brist på större Li-jonbatterier. En bidragande orsak har naturligtvis varit att batteritillverkaren skulle ställa upp med batteriet nästan gratis.

INKOM

En kontakt etablerades i början av 2025 med Industrikomponenter AB (INKOM), som representerar ett tyskt företag vilket marknadsför superkondensatorer och styrutrustningar. Diskussioner med dessa påbörjades för att undersöka möjlighet att i stället testa dessa. Tyvärr var de endast intresserade av att sälja en anläggning (6 Mkr alt. en mindre utrustning för 1,5 Mkr) inte att hyra ut för test under kortare tid.

GPT Elkraft

GPT Elkraft AB i samarbete med Lynx Accumulata AB placerade i juni 2025 ett större Li-jonbatteri i Vikan-täkten i Göteborg. Batteriet skall användas för att stabilisera spänningen i ett relativt svagt elnät, kunna faskompensera (framför allt ”kapacitiva kablar”) och kunna erbjuda nättjänster för frekvenshållning. Batteriet kostar 4–5 Mkr och uppskattad återbetalningstid för batteriet anges till cirka 2 år, med dagens ersättningsnivåer.

GPT Elkraft AB kommer innan dess att mäta på nedsidan av en av två transformatorer i Vikan innan det stora batteriet på 20 ton ansluts, så att det finns en ”referens-mätning” hur det ser ut innan batteriet ansluts.

Batteriet anslöts inledningsvis till en transformator som matade en stor käftkross (1511). Denna flyttas vartefter den krossar upp material från salvan och innan mätningar blev gjorda hade krossen kopplats loss från transformatorn och kördes på diesel. För övrigt har inte käftkrossar en särskilt ojämn belastning eftersom energi kontinuerligt laddas upp i den stora roterande vikten som ombesörjer krossningen, när käftarna nyper materialet.

I början på september beslöt ägaren till batteriet (GPT) att det skulle flyttas, men erbjöd SBMI att de skulle ansluta det till den ursprungligen valda transformatorn som ger ström till två spindelkrossar och en konkross – vilka alla har problematiken med kraftigt varierande effektuttag under olika delar av krossprocessen. Ibland kommer dessa variationer att i stort ta ut varandra och ibland kommer de att samverka och förstärka varandra beroende på att de inte går med exakt samma varvtal.

Enligt uppgift har batteriet har en reaktionstid om 40 millisekunder för strömökning mellan 0 och 1 800 A (110% last).



Fig. 1: Batteriet i Vikan/ Göteborg – mätningar pågår.

Elnätsfrågor

För att ansluta ett batteri och/eller en solcellsanläggning till ett lokalt elnät kräver elnätsbolagen som regel att en förhandsanmälan görs. En sådan kan enligt vissa ta allt mellan 5–40 veckor. I och med att testerna kunde göras på redan installerat batteri var tillståndsfrågan löst.

Projektdeltagare och ansvariga

Huvudprojektledare har varit Björn Strokirk, SBMI och teknisk projektledare Sten Bergman, StonePower AB. SBMIs Krossutskott har varit styrgrupp för projektet.

Tidplanen i projektet

Det kan konstateras att projektets tidplan hela tiden förskjutits. Detta beroende på att tillgång till lämpligt batteri har saknats. Projektet har beviljats förlängning till oktober 2025.

Inledningsvis (2022) planerades samverkan med Northvolt och då identifierades terminalen i Rotebro som lämplig för prov, men där stängde krossarna innan prov hann genomföras och Northvolt tog ”time-out” för att förbättra batteriet.

En ny terminal lokaliserades i Barkarby och en ny batterileverantör (Xelectric) under 2023, men det kom ytterligare förseningar att uppstå då batterileverantören inte kunde avvara lämplig expert. Senare när allt var klart för prov (2024) försattes Xelectric i konkurs. Projektpartnern Hugo Tillqvist drog i detta läge sig ur projektet.

Ett nytt försök skedde 2024 med NorthVolt, som vid upprepade tillfällen flyttade fram leveranstidpunkt för ett demobatteri under 2024 och till tidigt 2025. Prov med batteriet och en ny programvara skulle kunna ske tidigt 2025. Projektet inväntade således ett möjligt prov under våren 2025 när Northvolt gick i konkurs i mars 2025.

Parallellt med förberedelserna genomfördes under hösten 2024 kompletterande studier av strömbegränsning med hjälp av växelriktare. Även en mindre utredning om andra alternativ än batterianvändning för pendlingsbegränsning påbörjades.

Projektets styrgrupp:

Medlemmar från SBMIs krossutskotts största företag utgör styrgrupp, dvs Magnus Niklasson (Skanska), Niklas Oswaldsson (Swerock), Kristoffer Hofling (NCC), Niclas Pettersson (Heidelberg) och Jonas Altermteg (ABT). Hela Krossutskottet har utgjort en referensgrupp.



Fig. 2: Projektets styrgrupp besöker bergtåkten i Vikan i Göteborg 25 juni 2025

3 Robust energikoncept för demonstration

För att lösa problemet med (1) höga startströmmar, (2) stora effektpendlingar i svaga nät och (3) otillräcklig tillgänglig effekt – har flera konceptuella förslag diskuterats. bland annat:

- att förse tåkten med energiförsörjning via solceller och ett större Li-jon batteri. (1–3)
- att starta krossar i ö-drift med lokal diesel, för att sedan synkronisera mot yttre nät (1)

De koncept som har kommit att behandlas inom projektet avser framför allt att kunna minska påverkan på elnätet under startförlopp, samt att kunna minska eventuella spänningsvariationer (flimmer).

3.1 Reduktion av startströmmar

Projektet har undersökt fyra metoder och tekniker för att minska startströmmar. Dessa är:

- Mjukstartare
- Växelriktare
- Start i ö-drift/synkronisering
- Reaktiv effektkompensering

Minskning av startströmmar kan ske genom att krossen förses med s.k. mjukstartare. En sådan reglerar initialt ned spänningen till motorn som därmed får ett mindre startmoment (lägre spänning/ström). Varvtalet ökar succesivt på krossmotorn och mjuk-startaren reglerar upp spänningen till nominell nivå (400 V) och drivs till nominellt varvtal, varefter den som regel kopplas ur. Skälet till urkoppling är främst att mjukstartare kräver forcerad kylning och att i kross-sammanhang är detta svårt med tanke på den lokala luftkvaliteten (mycket stendamm).

Mätningar på ett flertal krossar visar dock att dessa mjukstartare sällan reglerar ned strömmen till önskade värden. Ett typexempel visas i figur 1, där man kan se hur spänningen (trots mjukstartare) sjunker med närmare 10% under startförloppet.

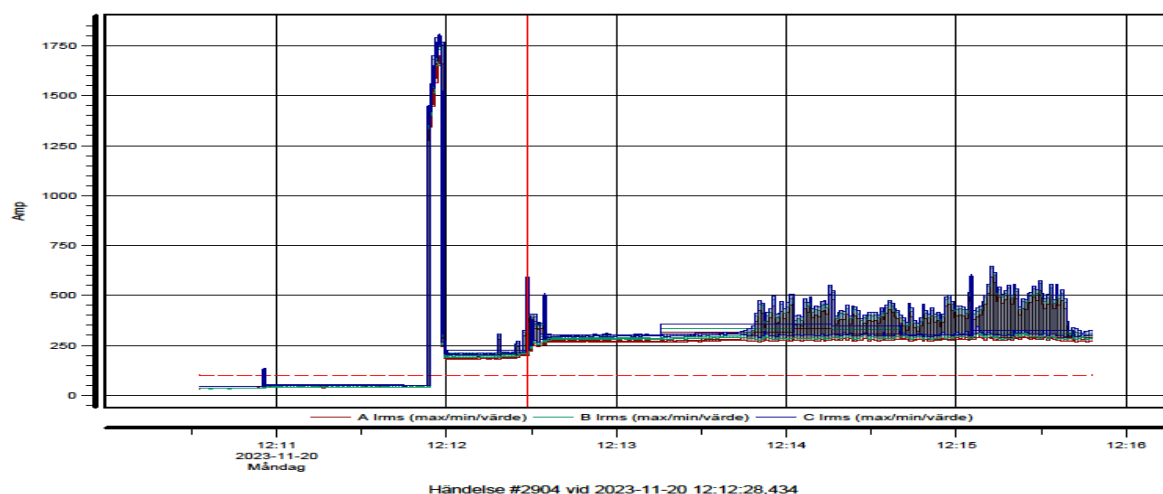


Fig. 3: Startförlopp för konkross Barkarbyanläggningen. Max ström 1750 A

Start i ö-drift och synkronisering mot yttre nät

Stora spänningssänkningar i samband med start, hänger intimt ihop med ledningsimpedanser både före och efter transformatorn. Även transformators dimensionering kan spela en viss roll. Spänningsprofilen kommer därför att vara mer känslig i svaga elnät dvs elnät som är hårt belastade i förhållande till sin kapacitet – hela tiden eller under vissa perioder.

Startas krossen på eget elverk kan spänningskällan i regel betraktas som ”styv” och upprullningsförloppet sker snabbare. En omkoppling till yttre nät är därför en teknisk möjlighet, som dock ej provats för krossanläggningar vad vi vet.

Reaktiv effektkompensering

Den reaktiva effekten, som huvudsakligen används för att skapa nödvändigt magnetiskt moment i motorn, kan dock kompenseras lokalt med hjälp av lokala kondensatorbatterier. Dessa dimensioneras dock efter ett statiskt läge och reducerar i regel den köpta elenergin genom att minska den totala strömmens värde. Den reaktiva effekten har alltså en avgörande påverkan på ström, spänning men även på övertoner/flimmer.

För en mer dynamisk reaktiv effektkompensering föreslår bl a ABB och Hitachi användningen av en system-lösning, som går under varumärket Dynacomp.

Dynacomp reglerar två faser med hjälp av tyristorer. Den reaktiva effekten kan därmed kompenseras dynamiskt efter driftläget. På så sätt kommer spänningsvariationer att kunna minskas vid större laständringar. Lasten varierar upp mot 90-100 % beroende på var i krossfasen man befinner sig. Metoden med dynamisk kompensering har tillämpats med framgång både i större lyftkranar i hamnanläggningar, industrimotorer i pappersindustrin och för svetsutrustningar. Processer där laster plötsligt varierar stokastiskt. Metoden skulle kunna testas på krossar om det gått att hyra en Dynacomp, men projektet erbjöds enbart att köpa en anläggning för drygt 6 Mkr.

3.2 Minskning av effektpendlingar

Mätningar har skett på ett flertal tåkter i Sverige. Gemensamt för dessa är att krossningsförloppen uppvisar höga effektpendlingar. Ett exempel ges i nedanstående figur, där minsta och största strömvärde mätts under 1-sek intervall.

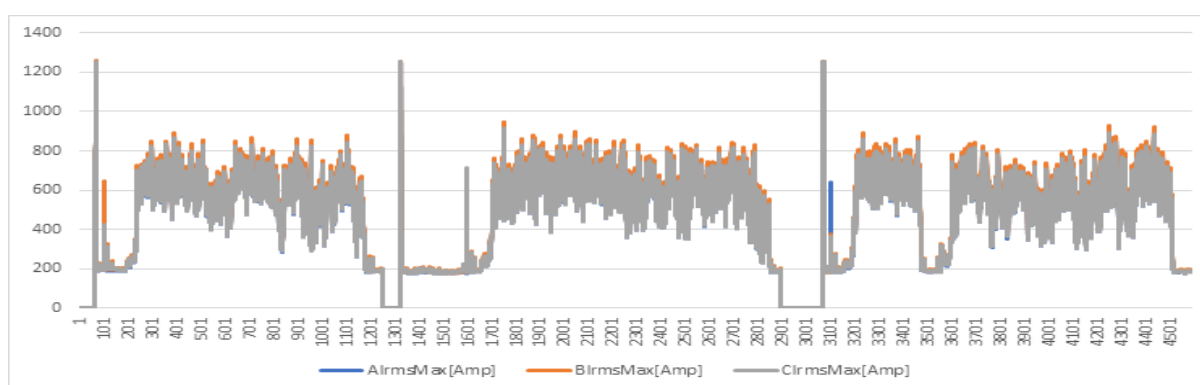


Fig. 4 Strömmätningar på krossanläggning under en hel arbetsdag

Om den första prioriteten i projektet varit att kunna reducera höga ström-peakar vid start, har den andra prioriteten handlat om möjligheter att reducera de stora lågfrekventa effektvariationer, som normalt uppkommer vid krossningen. Dessa svängningar, typiskt mellan 4-5 Hz, tenderar att bli mer problematiska ju svagare elnätet är. Svängningarna orsakar i vissa fall oacceptabla flimmer-värden. Elnätsföretagen upplever därför krossar som problemlaster.

Orsaken ligger i den elektro-mekaniska resonans, som uppträder pga. krossningens cykliska natur och elnätets påverkan (både aktivt och reaktivt) av de elektriska parametrarna. Resultatet blir en s.k. "limit-cycle" svängning som uppkommer pga. spänningsfall i det svaga elnätet som därmed påverkar drivande moment. Momentvariationerna i sin tur påverkar varvtalet på krossen, som därmed kommer i resonans med elnätet. **Ju svagare nät desto större svängning.**

Metoder för att möta detta innebär att krossmotorer kan regleras med hjälp av frekvensomriktare. Dessvärre medför dessa omriktare energiförlust under drift, så många operatörer kopplar därför bort frekvensomriktaren efter start av krossen. Energiförlusten i växelriktaren blir till värme, som måste kylas bort och externa kylsystem är känsliga för stendamm.

Från mätningar genomförda den 15 nov 2024 i Småland, ser man att växelriktar-styrning leder till lägre tomgångsström (45 A) jämfört med en oreglerad maskin (135 A). Pendlingen är således reducerad med ca 60% med växelriktare inkopplad. Vid full last torde nog reduktion bli något lägre.

Detta hänger samman med att utan motorreglering övermagnetiseras asynkronmotorn lätt vid låga laster. Spänningen styrs således ned vid låglast men överkompenseras vid höglast. Denna funktion kan dessvärre förvärra egenresonanser i systemet, då en olinjaritet införs i reglerprocessen.

Ur mätningar på konkrossen i Småland avseende spänningsvariationers utseende vid växelriktardrift uppgår dessa till ca 3,3%. Strömvariationerna uppgår däremot till ca ± 150 A, kring ett medelvärde av ca 330 A. Det verkar således från dessa data som reglerfunktionen hos växelriktaren inte kan kompensera för egenresonansen (ca 4 Hz, vilken är ca 12 ggr lägre än grundtonen på 50 Hz).

Efter kontakt med en av Sveriges främsta specialister på frekvensomriktare, (Kjell Frank, ABB) förslogs dock att försöka testa en annan styrning av växelriktaren, nämligen **kapacitiv styrning**. Denna form skapar en virtuell kapacitans vilken innebär att växelriktaren blir mer känslig för låga frekvensvariationer och den ger inom detta frekvensområde en ökad och förbättrad reglerkapacitet. (Enligt Kjell Frank borde moderna växelriktare kunna ha den funktionen inbyggd).

3.3 Val av systemlösning för demo-projektet.

I detta projekt analyserades inledningsvis en mängd data och kriterier kring ett sju bergtäkter i Mälardalen. Valet för en praktisk demonstrator föll på en bergterminal i Barkarby som drivs av NCC. Denna bedömdes vara lämplig för en praktisk test baserad på flera faktorer.

- Den låg den lämpligt till med gott om utrymme för att ställa upp solceller
- Det fanns en störning i tälkten som innebar att parallella krosslinor påverkade varandra med stora sammanlagrade effektsvängningar.
- Avstånd mellan kross och transformator relativt kort.

Tälkten hade inledningsvis endast konkross ansluten till elnätet, men fick under våren 2024 även käftkrossen ansluten till elnätet. En fördel med den anläggningen var att den var ansluten till ett relativt svagt elnät, vilket ger tydligare störningar att kompensera. Nätföretaget var EON. Inledande mätningar gjordes i tälkten vid ett par tillfällen under 2023/2024.

Den valda systemlösningen föreslog att ansluta ett batteri från Xelectric (Hugo Tillqvist), samt ansluta en mindre solcellsanläggning (10 kWp) som parallell kraftinmatning.

Systemlösningen i detta fall kunde dock inte provas, då leverantören Xelectric försattes i konkurs under hösten 2023 och projektpartnern Hugo Tillqvist, drog sig ur projektet.

Systemlösning i fallet NorthVolt/Wangeskog

Northvolt återkom efter förnyad kontakt med besked att en enklare test-box fanns att tillgå, men denna saknade dessvärre CE-märkning. I princip skulle tester kunna ske med denna men skulle i så fall innebära en hel del omkopplingar och den måste fraktas och förvaras i helt vädersäker container. Ingenjörfirman Wangeskog skulle kunna medverka till detta. SBMI ansåg att detta inte skulle gagna projektet då det initiala problemet i princip visade sig vara kontrollerbar med växelriktare.

Möjligheten att studera peak-shaving vid start samt dess funktion under drift var dock en prioriterad funktion, som Northvolt sade sig arbeta med. Indikationer tydde på att den funktionen kan läggas helt i mjukvaran som styr batteriet. En omprogrammering som skulle kunna vara tillgänglig under våren 2025. I mars 2025 gick dock Northvolt i konkurs.

Systemlösning i fallet GPT Elkraft AB

GPT installerade i början av september 2025 ett större batteri till en kon- och två spindelkrossar i Vikan i Göteborg. Elnätet är relativt svagt i denna del av Göteborg, vilket gör det till en lämplig demonstrationsplats. Batteriet är stort: effekt 1 MW, och det kan lagra 2 MWh.

Även en mindre solcellsanläggning om 10 kWp (se kap 6) som SBMI har inköpts och skulle ha anslutits, men blev inte inkopplad mot batteriet på grund av tidsbrist i slutskedet av projektet.

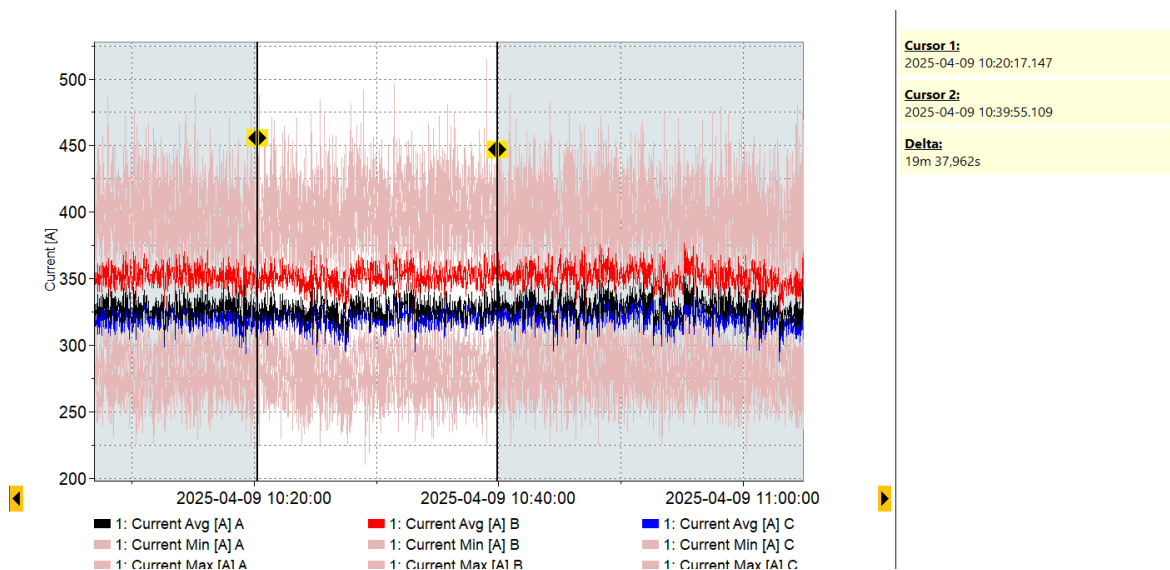


Fig. 5: Mätningar i VIKAN på förkrossen (1511) som visar medelvärden (mörka) och toppvärden (ljusare) av de tre fasströmmarna till motorn (svart, blå, röd).

4 Projektgenomförande

Projektet har varit inriktat mot en praktisk demonstration och verifiering. Av det skälet har basinformation och referensdata också varit av primär betydelse. Mätningar har skett vid ett flertal tillfällen och resulterat i ökad förståelse för både start och drift av krossar, samt hur problembilden varierar grundad på krossinfrastruktur, elnätet kapacitet, transformatorns placering och övriga maskiner i omgivningen.

4.1 Upphandlingar i projektet

Diskussionerna återupptogs 2024 med Northvolt, som under tiden tagit fram sitt andra generationsbatteri för industri-tillämpningar. Den nya systemlösningen fick dock justeras med hänsyn till hur batteriet utformats för s.k. ö-drift och peak-shaving. I princip samma som i förgående fall men med justering att krossar startas upp i ö-drift för en senare synkronisering mot yttre nät.

Flera fördelar kunde ses i denna systemlösning.

- Inga strömspikar vid start kommer ut på elnätet pga. ö-driften vid start.
- Synkronisering sker i tomgångsdrift, med liten eller ingen påverkan på yttre nät.
- Möjlighet att ställa in peak-shaving funktion hos batteriet vid stora effektoppar/pendlingar under drift
- Möjlighet till kontrollerad nedstängning vid plötsligt spänningsbortfall på yttre nät. Dvs en värdefull UPS-funktion.
- Möjlighet att ladda batteriet under kortare eller längre driftstopp.
- Möjlighet att ladda batteriet med egenproducerad el från lokala solceller.

Fördelarna med denna systemlösning kompletteras av möjligheten att kunna använda batteriet under både drift och stilleståndsperioder för olika externa nättjänster, som frekvensreglering, nöd/hjälpkraft med mera mot Svenska Kraftnät som ger god ekonomisk ersättning.

Dessutom kan batteriet laddas med billig natt-el som kan användas för driften dagtid. I tåktär där kapaciteten i intilliggande elnät bara räcker till halva elbehovet för krossar, siktar och transportörer kan således halva elenergiebehovet laddas upp under natten och under dagtid hämtas halva elenergiebehovet från elnätet och halva från batteriet. Batteriet möjliggör elektrifiering trots svagt elnät.

4.2 Mätningar

För att testa batterifunktionen i dess samverkan med krossen har projektet kommit att inriktas mot att ansluta Li-jon batteriet parallellt med ingående matning från yttre nät.

Att införa batterilager och framför allt deras växelriktare har varit omgärdat av tillstånd från nätägarna. Med den massiva utbyggnad som sker av solcellsanläggningar har många elnätsbolag svårt att ge drifttillstånd utan krävt en s.k. *föranmälan*. En sådan kan ta allt från några veckor till många månader att erhålla.

Då projektet bedömdes vara ett kontrollerbart experiment ansökte vi tidigt om att föranmälan ej borde behövas. EON som ansvarar för elnätet i Barkarby, meddelade projektet att man kunde göra ett undantag och i stället för en sådan skulle det enbart krävas en enkel driftanmälan till företagets driftcentral i Norrköping och Stockholm. Provets omfattning rörde enbart någon timmes drift, under kontrollerade former.

Den utrustning som NorthVolt kunde tillhandahålla hade dock en kraftig begränsning. Motorbrytaren (Q31 i nedanstående figur) var dimensionerad för högst 400 A.

Detta skulle inte vara tillfyllest för tester vid krossning där medelvärdet av strömmen ligger på ca 350 - 400 A och ström-toppar upp mot 850 A. För inkoppling och start i ö-drift torde det dock vara möjligt att använda utrustningen.

Wangeskog AB erbjöd sig initialt att bygga en lämplig ny test-box för anslutning till elnät och kross/batteri. De kom att dra tillbaka erbjudandet när de ekonomiska problemen för Northvolt uppmärksammades under slutet av 2024. I början av 2025 gick Northvolt i konkurs.

Senare 2025 fick SBMI vetskap om att ett större batteri 1 MW, 2 MWh planerade att anslutas till tårnen i Viken i Göteborg. Efter flera turer kunde SBMI i september 2025 få batteriet anslutet och tester genomförda, så att detta projekt i huvudsak kunde fullbordas (test med solceller kunde inte genomföras).

Mätningar kunde ske i slutet av september 2025 och genomfördes både av GPT Elkraft AB och Svanströms EL & VVS.

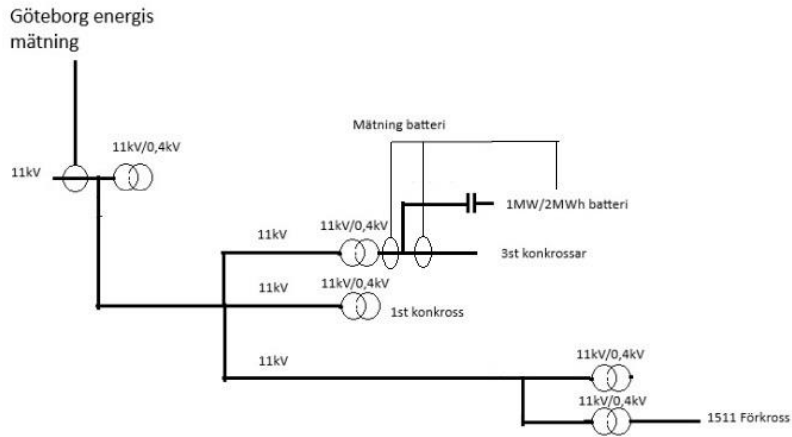
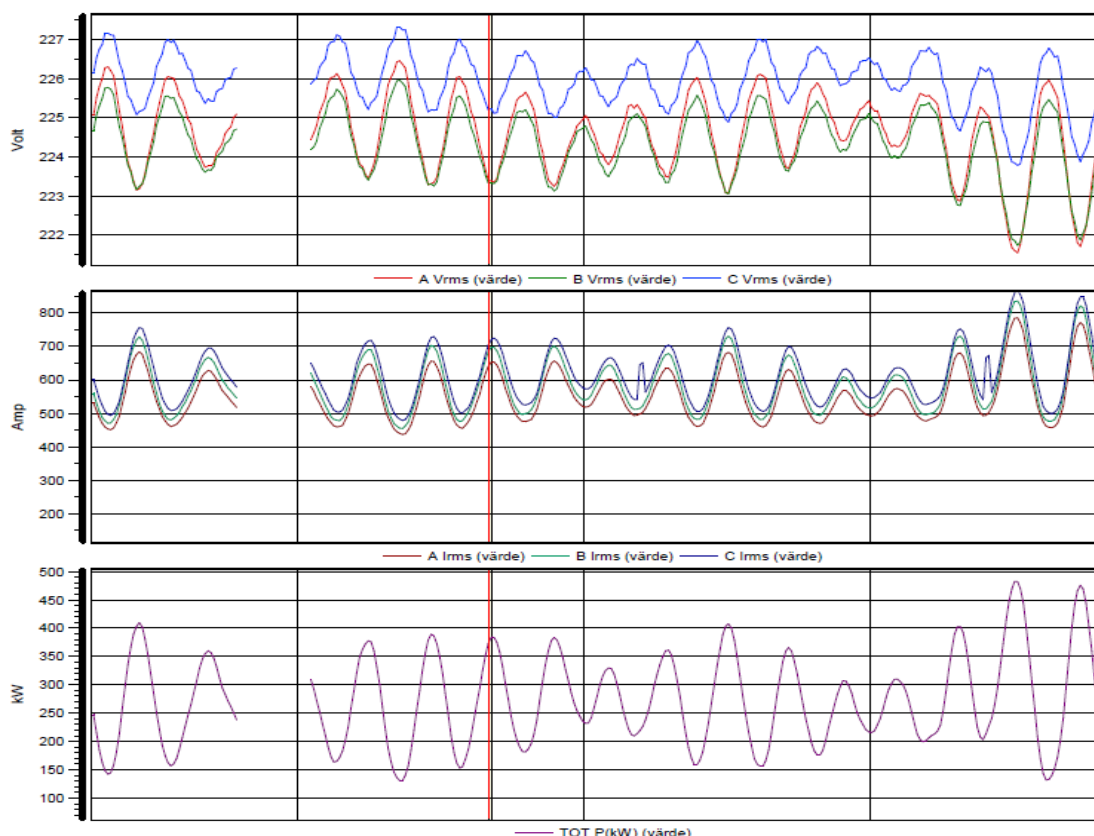


Fig. 6: Enlinjeschema för VIKAN tåkten som visar var batteriet är anslutet

5 Analyser

Mätningar i bergtäkter genomfördes i tidigare projekt genom Chalmers och i detta projekt i flera täkter av CLEPS AB, samt i Barkarbyanläggningen av EKAB.

Mätningarna avsåg att dokumentera situationen under normal start och normal drift. Nedanstående figur visar effektpendlingar under normaldrift från mätningar genomförda under våren 2024.



Figur 7: Mätning av pendlingsförloppen (ca 4 Hz) hos konkross i Barkarby som visar sambandet mellan spänning och strömsvängningar

Mätningar i på krossanläggning i Småland under hösten 2024, där en växelriktare användes för att ström-begränsa under uppstart, visar att vid omkoppling från växelriktardrift till direktdrift (obelastad maskin) kan man observera att effektpendlingarna ökar till mer än det dubbla. Detta beror högst sannolikt på att vid direktdrift kommer spänningsvariationerna att öka och därmed ökar varvtalsvariationen hos krossmotorn.

Självsvängningen som underhålls av krossens egenrotation innebär att spänning- och varvtalsvariationen kommer att uppvisa större svängningar, framför allt i ett svagt elnät, dvs spänningen påverkas negativt när strömmen ökar (derivatan är positiv). Processen vänder när krossningen genomförs och lasten minskar. Då händer att spänningen återställs, momentet ökar som i sin tur innebär att varvtalet kommer att öka. Strömmen minskar därefter tills lasten återkommer, varefter proceduren upprepas. I ett oreglerat system kommer denna kombinerade elektro-mekaniska svängning att upplevas som en "resonans".

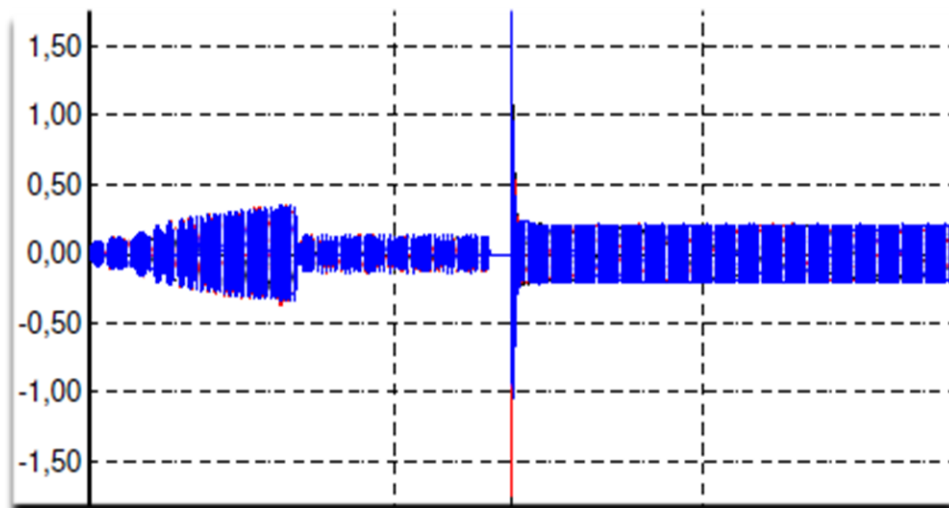


Fig. 8: Startström med inkopplad växelriktare, samt efter bortkoppling av densamma. Strömpendlingen i detta fall ökar från 45 A till 135 A. Maximala strömmen vid start är i princip helt bortreglerad via växelriktaren

6 Solceller och batterier

En fråga som kom upp till diskussion i projektets inledningsfas var om det finns något optimalt förhållande mellan krossens effektbehov, installerad batterikapacitet (kWh) och storlek på lokal solcellsinstallation (kWp)?

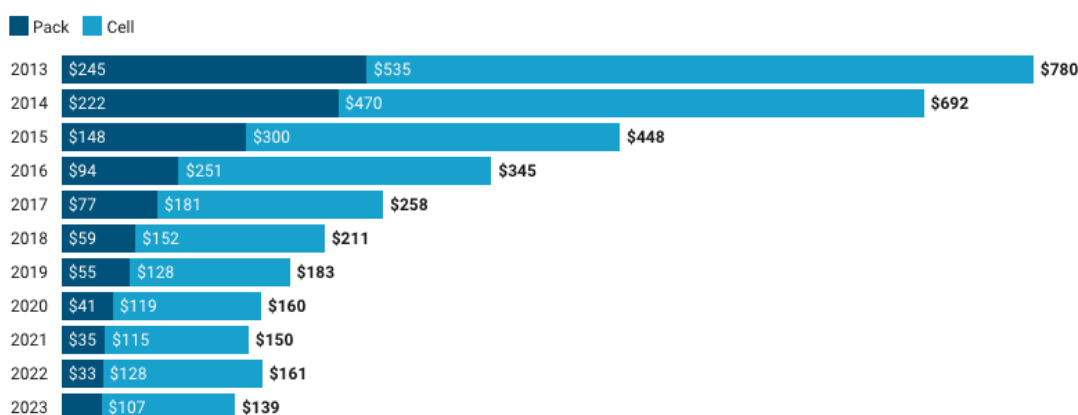
6.1 Simuleringsstudier

Frågan utreddes med hjälp av simuleringsstudier och finns dokumenterad i rapporten (Batteri Solrapport-2024). Två faktorer som kom att visa sig utslagsgivande i dessa beräkningar var (1) kostnaden för solceller, samt (2) batterikostnaden. Även om en viss känslighetsanalys genomfördes, så har verkligheten kommit att ändra sig mer än uppskattningarna gav vid handen då studien genomfördes.

Senaste årens prisreduktion av Li-jon batterier, med närmare 50 %, har ritat om kartan för energilagring rejält. Ett batteripaket kostade 2013 närmare 780 USD/kWh. Under 2023 var priset nere på 139 USD/kWh. I år uppskattas batteripriset i större volymer ligga på 78 USD/kWh. Det svarar således mot en 90 % prisreduktion över senaste 10 års perioden.

Kinesiska batteritillverkare har nu en full produktionsvolym och en inbromsad elbilsförsäljning i västvärlden har sänkt batteripriser med närmare 50%.

Prisutveckling litiumjonbatteripack, 2013-2023



Priserna är omvandlade för att ta hänsyn till inflation och motsvarar dollarns värde 2023.

Chart: Allt om Elbil • Source: BloombergNEF • Created with [Datawrapper](#)

Fig. 9: Prisutveckling på Li-jonbatterier under tio år

Prisutveckling för batterier

CleanTechnia, ett nyhetsföretag i USA som noga bevakar energibransch, fordonsindustri, batteritillverkare med flera, angav helt nyligen att priset för kinesiska battericeller (LFP) nu är så lågt som 66 USD/kWh. Detta innebär en allt snabbare kostnadssänkningstakt för större batterier än vad som förutspåts.

Likaså har kostnaderna för solceller fortsatt sjunka. Somliga anger priser för solcellspaket till så lågt som 4 000–5 500 kr/kW. Andra anger värden kring 10 000–20 000 kr/kW. Oavsett vad som är ”sanning” är trenden att kostnaden för solceller sjunker.

Tittar man på produktionskostnader för kiselbaserade solceller ligger dessa idag kring 100–150 USD/kW. Priset för en anläggning handlar därmed mer om hur stor anläggning som ska byggas samt vilka övriga krav som ställs. De höga priserna gäller i regel småskaliga anläggningar (privatkunder) medan industriella satsningar hamnar betydligt lägre.

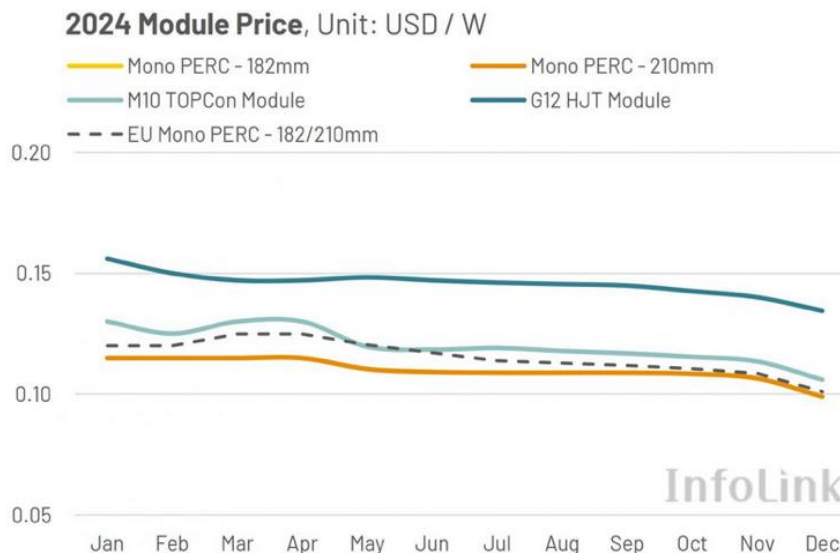


Fig. 10: Prisutveckling solcellsmoduler enbart under 2024
kurvan visar på nästan 20% nedgång

6.2 Sammanfattning av energianalysen

Sammanfattningsvis kan man säga att genom solcellernas snabbt förändrade prisbild blir energiproduktionskostnaden för egen el ca 40 öre/kWh, eller lägre för större anläggningar. Detta räknat på "normalår" vad gäller soltimmar. Enligt uppgift har Sverige 1 898 timmar med högre instrålning än 120 W/m².

Egenproduktion av el i en bergtäkt kan idag inte motiveras enbart av ekonomiska incitament för krossverksamhet. Denna ofta är begränsad till 4–5 veckodagar och inte under en period då solinstrålningen är som störst (juli - semesterperioden).

En solcellsinstallation bör därför bedömas ifrån ett annat, mer övergripande systemperspektiv, då elen kan nyttiggöras tex i ett bredare nätperspektiv, till gagn för andra elabonnenter och då elen kan lagras i ett batteri och användas till nättjänster.

En fråga som kom upp till diskussion i projektets inledningsfas var om det finns något optimalt förhållande mellan krossens effektbehov, installerad batterikapacitet (kWh) och storlek på lokal solcellsinstallation (kWp)?

7 Resultat från mätningar i Vikan Göteborg,



Fig. 11: Foto av batteriets styrutrustning

Den 12–23 september 2025 genomfördes ett antal mätningar i Vikan. Avsikten var att studera nätbelastning, med och utan batteri.

Batteriet kan ta hand om stora strömtoppar vid tex uppstart via peak-shaving funktion. Detta sker genom batteri-styrningens funktion att reglera en acceptabel spänningsnivå. Batteriet kan även ställas in för reaktiv effektkompensering. I Vikan var denna ställd till 300 KVar, samt peak-shaving vid mätningen.

Mätningarna genomfördes vid uppstart, under kontinuerlig drift, samt med och utan ”peak-shaver”. Nedanstående figur visar startförloppet för en konkross där max strömmen uppgår till 2055 A. Startförloppet är ca 2 sek. Strömreduktionen i detta fall uppgår till ca 1000 A

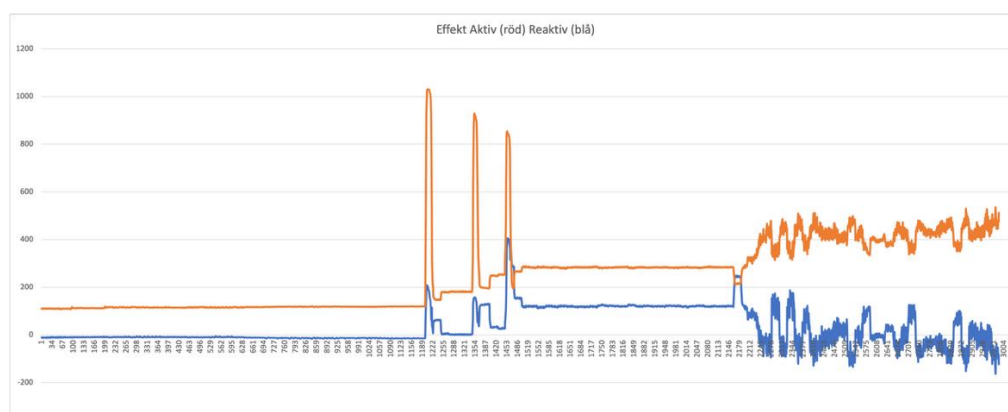


Fig. 12. Startförlopp i Vikan för konkross. Röd= aktiv effekt batteri, blå= reaktiv effekt batteri

Figur 12 visar att batteriet under krossning kompenserar för aktiva effekter runt 400 kW medan det reaktiva effektbidraget pendlar mellan -100 till +200 kVar.

Den mest intressanta mätningen visas dock i nedanstående figur, där man samtidigt kan se strömmar från, nät, batteri och vad som går till krossarna.

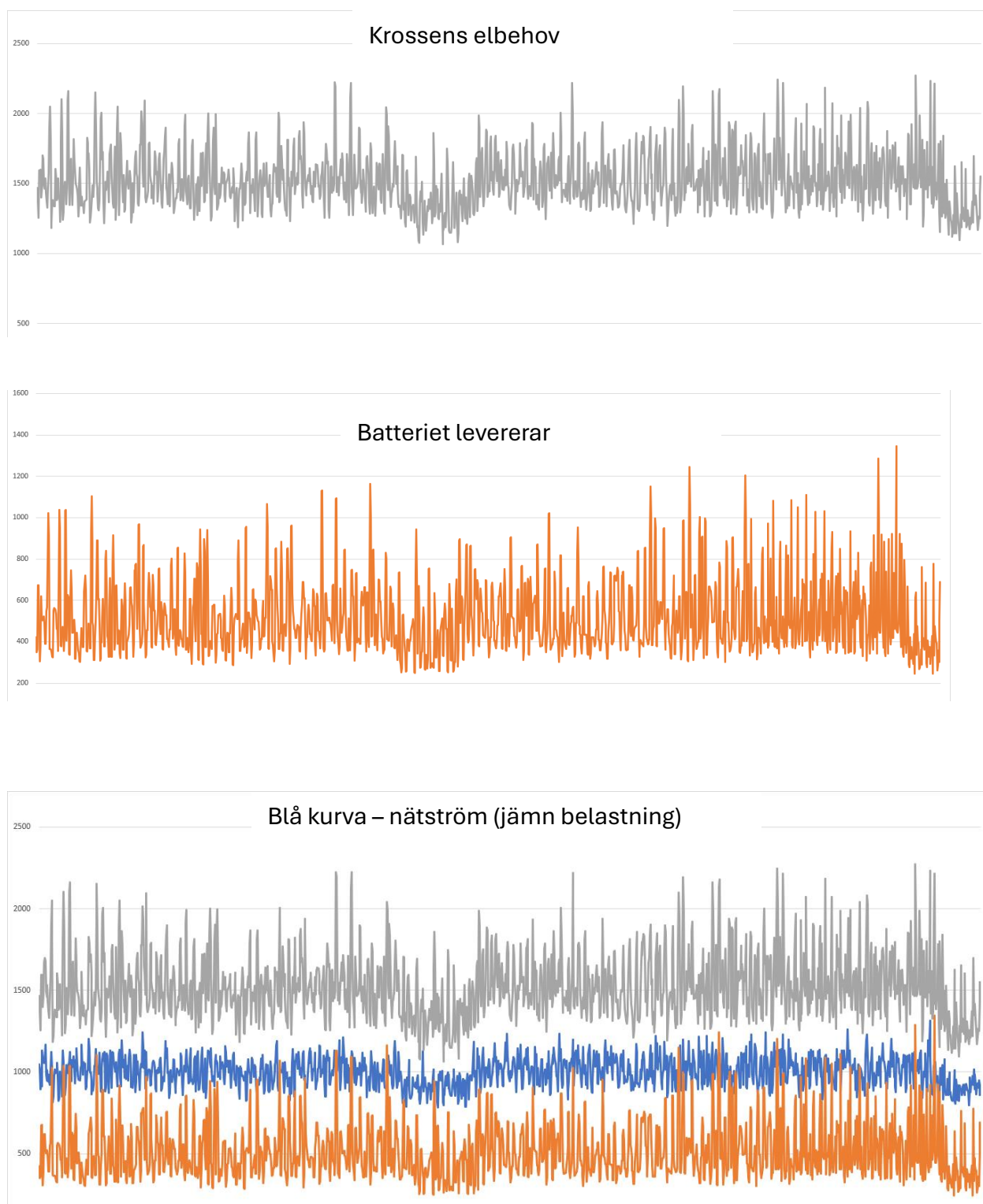


Fig. 13a, b, c Jämförelse mellan strömbehovet för krossarna (grå), vad batteriet levererar (röd). samt nätströmmen från elnätet (blå)

Mätningarna i Vikan visar, enligt uppgift från GPT, på att peak-shaving funktion fungerar enligt önskemål. Tex från 2500 A till ca 1500 A. Batteriet stöttar således med drygt 1000 A.

Detta gäller även vid drift då batteri-peakar uppgår till 1 300 A som mest. Nätströmmen kommer enligt mätningen att bli utjämnad och stabiliserad med mindre fluktuationer till följd.

Med dagens effektpriser borde detta vara en bra affär för tåkten då batteriet kan sänka nät-kostnaden. Dessutom kan batteriet vara en möjliggörare för tåkten om nätet är svagt och det ligger känslig industri i närheten (tex elektronikindustri)

8 Slutsatser

Projektet har genom framför allt mätningar och analyser kommit fram till värdefulla insikter om krossanläggningar och hur dessa påverkar/påverkas av anslutande elnät. Projektets två huvudmålsättningar rörande (1) startströmmar och (2) effektpendlingar har således tagit ett kliv framåt.

Vad rör startströmmar har **flera metoder påvisats kunna sänka dessa**. Växelriktare, omvänd fasning och ö-start mha batterier eller dieselmotorer för start, är alla möjliga metoder. Batteriet i Vikan ger en strömsänkning vid start om ca 1 000 A (ca 40%) enligt mätningar genomförda av GPT Elkraft AB.

Vad gäller strömpendlingar (resonanser) har orsaken analyserats och olika metoder föreslagits men ännu ej tydligt kunnat demonstreras inom detta projekt. Flera orsaker till detta har berörts. Däremot har det klarlagts att **stabilisering av svaga nät mha av ett externt Li-jon batteri kan resultera i en viss reduktion effektpendlingar ca 50-60%.**

(Även användning av växelriktare kan ge lägre pendlingar som vistas under krossning enl. mätningar i Småland.)

8.1 Li-jonbatterier för driftoptimering av krossar.

En av de primära frågorna som behandlats under projektet är vad ett större Li-jonbatteri skulle kunna erbjuda en krossanläggning? Analyser har påvisat att batterier inte enbart skulle kunna bidra med att begränsa startströmmar eller minska effektpendlingar. Andra nyttor kan också vara av stort värde.

Dessa nyttor omfattar även batteriet som ett energilager, där lokal energiproduktion helt eller delvis kan ersätta köpt elenergi. Om tillgänglig effekt från elnätet inte räcker för tåktens elbehov, så kan batteriet under de 14 timmar som tåkten inte producerar varje dygn, laddas med natt-el så att elektrifiering av tåkten dagtid ändå möjliggörs.

Batteriet kan användas för s.k. arbitrage där batteriet köper/lagrar elenergi vid låga elpriser och använder energin vid höga elpriser. Ett förfarande som kommer att accentueras i och med elbolagens övergång till effekttariffer.

Vidare kan batteriet ses som en energireserv då nätbortfall inträffar. Krossen kan därvid stoppas på ett kontrollerbart sätt. Batteriet kan vidare användas för s.k. nätnytta då det vid tillfällen med effektbrist kan delta i frekvensregleringstjänster åt Svenska Kraftnät. En tjänst som för dagen är relativt lönsam.

8.2 Vilka alternativ finns till Li-jonbatterier?

Li-jon batterier är dock ej det enda som skulle kunna förbättra situationen. En teknik som använts i industriprocesser med framgång, är ABBs Dynacomp, en utrustning för **snabb reaktiv effektkompensering**. Utrustningen använder elektronisk tyristorstyrning av externa kapacitanser och kan erhållas i olika storlekar. Den har huvudsakligen utvecklats för stora industri-laster som, hamnkranar, valsverk, ljusbågsugnar, m.m. Metoden skulle eventuellt kunna testas för en krossanläggning.

En annan föreslagen och enklare metod (Kjell Frank, ABB) är att låta motorernas växelriktare gå över i s.k. **kapacitiv styrning**, vilket i praktiken ersätter extern faskompensering. Detta innebär i korthet att motorstyrningen premierar stabil spänning, före ett konstant varvtal. Även denna metod skulle enkelt kunna testas och om den fungerar, möjligen vara ett kostnadseffektivt sätt att minska effektpendlingarna.

Superkondensatorer, som alternativ till Li-jonbatterier, skulle kunna erbjuda en annan möjlighet. Skillnaden ligger framför allt i komponenternas snabbhet och deras livslängd. Superkondensatorer behöver inte heller vara så stora då deras effektförmåga överstiger batteriernas. Ser vi till förmågan att kompensera svängningar i såg 4 Hz området med toppvärden runt 150 kW, blir energibehovet i superkondensatorn endast 15 kW (dvs 4 Wh).

Antalet pendlings-cykler kommer att röra sig om ca 20 miljoner per år torde dock inte vara ett problem, då dessa kondensatorer inte kräver kemisk omvandling, utan är fysikaliska komponenter, avsedda för många lastväxlingar.

8.3 Solceller och lokala energilager

En fråga som tidigt ställdes i projektet var om det fanns någon koppling mellan val av batterianläggningens storlek visavi storlek på en eventuell solcellsinstallation. Det enkla svaret är att det beror på. Nämligen vad kostar elenergin, solcellerna och batteriet?

Olika scenarier har studerat alternativa lösningar där både batteristorlek (kWh) respektive installerad toppeffekt (kWp) av solceller kombinerats, för att beräkna systemets totala kostnader och ROI.

Batteriet i en krossanläggning finns efter installation tillgänglig 24 tim/dygn under hela året, medan själva krossen används endast under 1000 - 1500 tim och då dagtid under 4 - 5 dagar per vecka. Företrädesvis sker krossningen under perioden mars-november, med undantag för juli, då semesterperioden infaller.

Analysen (Bilaga 1) visade att givet en viss batteristorlek är det optimalt att investera så mycket man kan av solceller. Givet en begränsad solcellsinstallation, gällde dock det omvända. Detta på grund av kostnadsdifferenserna mellan batterier/solceller. Ett förhållande som dock snabbt håller på att förändras. Den snabba kostnadssänkningen på större Litiumbatterier bådär nämligen gott för krossbranschen på sikt.

Idag erbjuds till exempel kinesiska LFP batterier för ett pris om 66 USD/kWh med indikation om ännu lägre priser under 2026. CATL, säger att det redan nu går att köpa LFP celler för 56 USD/kWh. Batterier i bergtäkter, skulle om detta infrias i den svenska marknaden då kunna räkna hem investeringar inom 3 till 4 år, eller kortare tidsperiod.

8.4 Konsekvenser

En fråga som faller sig naturlig är vilka konsekvenser som höga startströmmar respektive höga effektpendlingar för med sig? Kan eventuella åtgärder motiveras ekonomiskt? (En mer detaljerad analys finns att läsa i Bilaga 2: Orsaken till effektpendlingar i konkrossar)

Konsekvenser av höga startströmmar

Om vi börjar med startströmmarna har dessa redan visat sig i praktiken. Trafikverket ställde som krav vid byggnaden av Norrbottnia-banan att startströmmar måste begränsas till max 1100 A, pga. det svaga elnätet. Detta ledde till att diesel användes för drift av vissa krossar.

Konsekvens blev således att energikostnaderna blev minst dubbelt så höga som de skulle ha blivit vid eldrift på grund av att krossar kördes på diesel.

Konsekvenser av stora effektpendlingar

Spänningsvariationer kan leda till oacceptabelt flimmer. Normer för detta finns och problemet accentueras när elnäten är svaga. Tärter på exempelvis Gotland har nekats anslutning, med hänvisning till effektpendlings-problematiken och risken för störningar av andra kunder.

En tärkt nära Rimbo fick sluta krossa med eldrift på grund av de störningar som man gav upphov till på 10 kV-nätet. Tärkten fick till stor kostnad dra en ny elledning till ett längre bort liggande 20 kV-nät plus kostnaden för inköp av en 20 kV-transformator.

I en framtid, med övergång till nyare effekttariffer och kortare mätintervall. (15 sek eller kortare) som nu införs för att kunder ska kunna påverka sitt tillfälliga effektbehov, kommer effektpendlingar inte längre att smetas ut över timmedelvärden.

I stället har föreslagits att högsta effektvärdet under en dag vägs samman med ytterligare toppvärden kommande två dagar för att sätta maxvärdet i effekttariffens avgift. Detta kommer att innebära att den som kan minska sin effektvariation (eller specifikt sitt maximala toppvärde) kommer att spara pengar med den nya tariffen, då inte längre energin kommer att vara den främsta styrande kostnaden. Med ökad last i elnäten torde just flimmerproblemet kunna bli en begränsande faktor i framtiden.

Konsekvens av elektromekaniska svängningar

Konsekvensen av de elektromekaniska svängningarna är lite mer osäkert att sia om. I praktiken behövs faktiska värden från drift. Dessa kan idag vara behäftade med att underhållskostnaderna är onödigt stora, då vibrationsamplituder har en stor inverkan på livslängden av nyckelkomponenter, som bärande delar, lager etcetera.

Om vi utgår från att den elektromekaniska resonansen pga. krossningen så kommer en kross att uppvisa ca 14 - 20 miljoner cykler per år. En minskning av amplituden, med till exempel 25 % kan innebära att livslängden på maskinen ökar i motsvarande grad, dvs upp mot 25 %.

Man skulle kunna resonera att i praktiken innebär det en sänkning av underhållskostnaden om svängningsamplituden kan minskas.

Samtidigt som amplituder minskar kan kanske även risken för allvarliga händelser som haverier, axelbrott m.m. minska. De ekonomiska vinsterna kan därmed bli stora.

Andra effekter av resonanser/stokastiska störningar

Det kan nämnas att mätningar i Froby (Västerås) hösten 2023 gav intressant information kring en kross som uppvisade ett onormalt beteende. Ett fel i transformatorn, troligen en dålig anslutning, orsakade mycket stora effektpendlingar. 200 - 900 A, men också att anläggningen matade ut upp mot 100 kW till nätet under korta perioder ("gratis" utan ersättning). Denna kross gick alltså som generator periodvis och hade troligen därmed ett översynkront varvtal (se figur på nästa sida).

Transformatorn brann upp en kort tid efter mätningen och fick ersättas med ny.

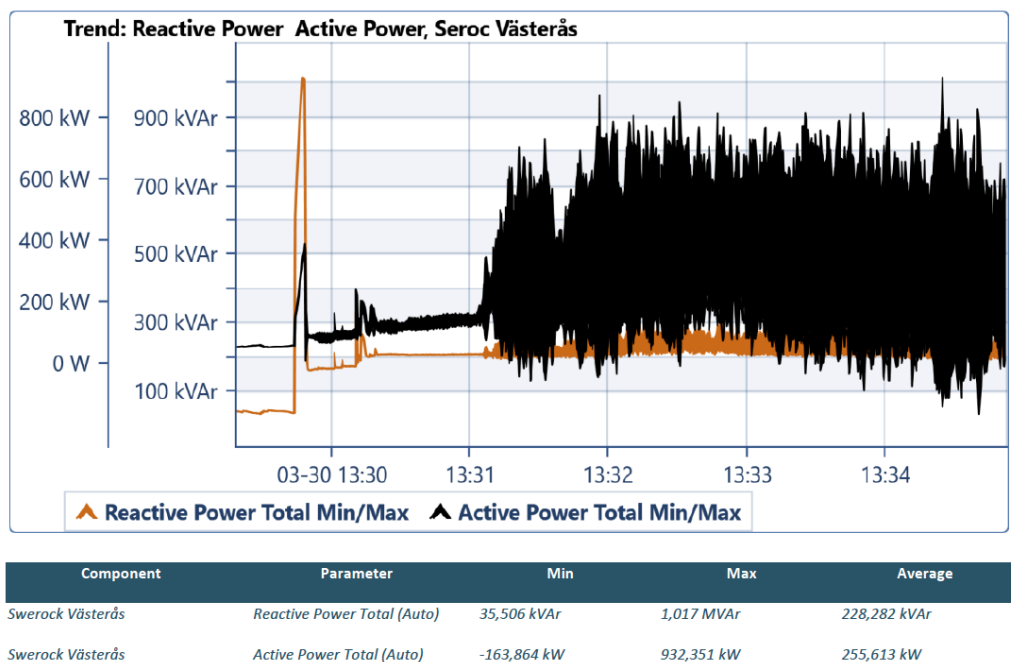


Fig. 12: Stora effektpendlingar vid Froby-krossen i Västerås

8.5 Erfarenheter från industriell samverkan rörande batteritester

Projektet har drivits under perioden 2020–2025. Tidpunkten för slutredovisning har av flera skäl kommit att flyttats fram pga. pandemin, leveranssvårigheter, konkurser, vilket skapat problem med tillgång till större Li-jonbatterier.

Erfarenheterna från det industriella samarbetet har sammanställts under följande rubriker:

- Utvecklingssamarbete
- Ekonomiskt risktagande
- Kompetensfrågor

Utvecklingssamarbete

Inom projektet har flera samarbeten inletts, testats och avslutats. I samband med offertförfrågningar framkom ganska snart vilka företag som kunde tänkas ingå i samverkan. Några utvalda leverantörer erbjöd endast direktköp eller partiella hyrköpsmodeller. Undersökningar, mätningar och analyser har i stor omfattning genomförts med mätexpertis och resultaten har granskats av branschföreträdare. Delresultat har också redovisats vid större branschdagar för ett flertal intressenter.

Några parter, bla NorthVolt och Wangeskog, deltog mycket aktivt i utvecklingssamarbetet, medan andra i regel hänvisade till leverantörer och utländska experter (Xelectric). Det framkom att den tillämpning som avsågs inte hade varit föremål för några omfattande utvecklingsinsatser tidigare. Vad gäller batteritillämpningar handlade det mest om energilagring samt möjliga framtida intäkter från nätstödtjänster.

Problematiken med effektpendlingar var mest en nätfråga och risken för störningar från krossanläggningar mot närliggande nätkunder. Krossningen ansågs normalt resultera i spänningsvariationer och nätkoderna fokuserade därför framför allt på flimmervärden och dess gränser.

Med ökad andel känsliga laster och att näten blir alltmer belastade uppstår en konsekvens som kan beskrivas som "svaga elnät". Få insatser har gjorts för att bemöta detta problem mellan nätägare och krossbransch.

Ekonomiskt risktagande

Projektet har i sin helhet visat att, förutom de tekniska svårigheter som uppstått hos batteritillverkare, också att den ekonomiska risken har varit svår att möta. Varken batterileverantör, systemleverantör eller krossföretag har varit villiga att ensamma ta någon större ekonomisk risk för att ens testa idén om batteriers möjlighet till effektivisering av krossprocessen.

Utvecklingsprojektet har i stället för en konventionell upphandling, också varit beroende av in-kind insatser, som mer haft karaktär av rent utvecklingssamarbete (Xelectric, Northvolt). där batteriet inte upphandlats traditionellt, utan snarare kostnadsfritt ställts till projektets förfogande. Detta pga. den ekonomiska ram som projektet måste hålla sig inom.

Det var i sista stund som projektet räddades av GPT Elkraft AB /Lynx som välvilligt och i samarbete projektet har lånat ut ett batteri, installerat det, gjort anpassningar i mjukvara utefter önskemål samt genomfört mätningar på olika driftfall.

Kompetensfrågor

Under projektets gång har ofta kompetensfrågor kommit att belysas. När det gäller krossning, dess arbetsprocess och maskiner är uppfattningen att branschen som helhet är väl insatt i frågeställningar, teknik, problematik m.m. och att kunskapen i regel är hög.

När det gäller elmaskiner, som asynkronmotorer, elektroniska drivsystem, elnätsfrågor, styrning/reglering, liksom energilagring i batterier, är det stor skillnad på kompetenser. Kunskapen verkar mest koncentrerad till underleverantörer, batteritillverkare och diverse specialister.

Här finns troligen mycket att göra för flertalet krossföretag för att säkerställa en långsiktig och tillfredställande kompetensförsörjning.

9 Kommunikation av projektets resultat

Resultat från projektet, liksom de affärsmässiga förändringar som skett under projektets gång har regelbundet redovisats för projektets styrgrupp.

- Presentation av pågående projekt och vissa delresultat har presenterats vid branschdagar i Jönköping, Stockholm och Umeå.
- Artiklar har presenterats i branschtidningen Stenkoll
- Delresultat har presenterats vid branschdagar i Jönköping, Stockholm, Göteborg och Umeå.

9.1 Rapporter, presentationer och artiklar

Smart Hybrid bergkrossning

Energilager för nätanpassad krossning med stöd av solceller

Angående reduktion av startströmmar

Batteri-Solcell rapport

Orsaken till effektpendlingar i konkrossar.

Ny teknik i täkterna (Presentation)

Elkvalitet i Bergtäkter (Presentation)

Artiklar i Stenkoll

Bilagor

B1: Solceller och batterier i krossanläggningar; Sten Bergman, StonePower AB

B2: Orsaken till effektpendlingar i konkrossar; Sten Bergman, StonePower AB, 2025