

Hur kan elförbrukningen i lågspänningsanläggningar reduceras?

-En analys av den faktiska belastningen på UPS och Rectiverter systemen i två befintliga anläggningar



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggteknik - Järnvägsteknik**

Examensarbete:
Filip Andersson

© Copyright Filip Andersson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2023

Förord

Det här examensarbetet har utförts på uppdrag av Sweco Rail. Detta är den avslutande delen av min högskoleingenjörsutbildning inom järnvägsteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Jag vill först och främst tacka Anders Nordström, Lågspänningsprojektör på Sweco, som varit till stor hjälp för att samla kritisk information under hela arbetet. Jag vill även passa på att tacka Tomas Höber, Lågspänningsprojektör, och Helena Svensson på Lunds Tekniska Högskola för bra handledning igenom arbetet.

Jag vill även passa på att tacka följande personer för deras inblandning i detta examensarbete:

Mattias Lang, Sweco
Anna Wiberg, Trafikverket
Lena Eriksson, Sweco

Filip Andersson, 2023-05-24 Helsingborg

Sammanfattning

Sveriges elförsörjning av järnvägen kostar årligen 2,5 miljarder kronor och det är därför viktigt att samtliga investeringar leder till att en energieffektivitet uppnås och att systemen nyttjas till sin fulla kapacitet. En felaktig dimensionering kan komma att kosta väldigt mycket pengar över tid och det är därför det är viktigt att dimensionera lågspänningssystemet efter driftplatsens förbrukning. Ett för stort system kräver mera elektricitet och används inte till sin fulla potential medan ett för litet system inte kan hantera de strömmarna som uppstår vilket leder till driftstörningar.

I denna rapport analyseras hur dimensioneringen av Rectiverter och UPS systemens storlek är anpassade för driftsplatsernas faktiska elförbrukning och vilka potentiella lösningar som finns för att effektivisera användandet av systemen för att minska elförbrukningen. Effektiviserandet av driftsplatsernas system kommer att leda till en kostnadseffektivare anläggning. För svenska lågspänningsanläggningarna har det arbetats fram en standard som används, vilket har medfört brist på innovation inom området för lågspänningsanläggningar.

Syftet med arbetet var att analysera två driftplatser, där fokuset har varit på lågspänningsanläggningarnas elförbrukning. Anläggningar drivs av olika system där det ena är ett UPS system och den andra anläggningen drivs av ett Rectiverter system. Storleken på UPS- och Rectiverterens kapacitet granskades och jämfördes med den utgående förbrukningen. Detta för att studera hur mycket elektricitet som kan sparas samt för att hitta en kostnadseffektiv utformning sett till investering och underhållskostnader. Driftplatserna som studerades var Lina älv och Kirunavaara. De delarna som kräver mest elektricitet i anläggningen är växeldrivsmotorerna och ljussignalerna. Växeldrivsmotorernas uppgift är att lägga om och säkra växelns läge efter kommando från signalställverket.

Genom mätningar med mätinstrumentet Argus på den utgående elektriciteten för växeldrivsmotorerna vid en växelomläggning kunde mätresultat tas fram för de olika systemens förbrukning. Det tar cirka 3 sekunder för växlarna att läggas om och dokumentera mätningarna. Mätningar gjordes även på fördröjningen mellan växeldrivsmotorer på samma sätt fast istället för att mäta samtliga växlar i anläggningen mättes det bara i en enskild växel.

För att testa och anpassa storleken för Rectiverter systemet började mätningarna göras med 24 moduler. Vid nästa mätning plockades det bort ett antal moduler och slutligen testades det att lägga om växlarna igen. Detta gjorde att samtliga storlekar kunde testas och anpassningsbara storlekar kunde tas fram.

För UPS systemet så gjordes det olika sorters tester på den befintliga storleken av systemet. Där testades hur förbrukningen såg ut vid växelomläggningar och hur fördröjningen mellan växeldrivsmotorerna såg ut.

Arbetet visar att lågspänningssystemet i Lina älv var överdimensionerat och att det i Kirunavaara var underdimensionerat. Vidare visar den ekonomiska beräkningen att Rectiverter systemet är billigare än UPS systemet. Det finns även potentiella åtgärder för båda driftplatserna i form av en minskning av Rectiverter systemet och en ökad kapacitet av UPS systemet vilket hade lett till en mer lämplig dimensionering sett till lågspänningsanläggningens förbrukning. Detta hade lett till ett bättre användande av systemen och minskat utgifterna genom att undvika för stora system och även minskat riskerna för driftstörningar vilket även det kostar mycket pengar för Trafikverket. Den felaktiga dimensioneringen visade sig kosta 360 000 kronor över en 30-årsperiod. Summan i sig är inte speciellt stor men beräkningarna är endast på en driftplats. Sverige har 917 driftplatser som kan ha potentiella liknade problem och summorna blir då betydligt större.

Nyckelord:

Rectiverter, UPS, lågspänningsanläggning, avbrottsfri kraft, favoriserad kraft

Summary

The electricity supply of the Swedish railway costs SEK 2.5 billion annually and it is therefore important that all investments lead to achieving energy efficiency and that the systems are used to their full capacity. An incorrect dimensioning can cost a lot of money over time and that is why it is important to dimension the low-voltage system according to the consumption of the operating site. A system that is too large requires more electricity than what is supplied and is not used to its full potential, again a system that is too small cannot handle the high levels of electricity and instead operational disturbances occur.

This study analyses how the dimensioning of the Rectifier and UPS systems is adapted to the consumption of the operating sites and what potential solutions exist to make the systems more efficient both from an economically and sustainable point of view. A standard usage has been developed in low-voltage facilities, which has led to a lack of innovation in the field.

The purpose of the work was to analyze two existing operating sites, where one low-voltage facility is powered by a UPS system and the other is powered by a Rectifier system. The capacity of UPS and Rectifiers is reviewed and compared to the output consumption. This is to save as much electricity as possible and find a cost-effective solution in terms of investment and maintenance costs. The operating sites studied were Lina älv and Kirunavaara. The parts that require the most electricity in the plant are the gear motors and light signals. The task of the gear drive motors is to change and secure the position of the gear following a command from the signal switchgear.

By measuring with the instrument Argus on the output electricity of the gear motors during a gear change, measurement results could be obtained for the consumption of the various systems. Measurements were also made on the delay between gear motors in the same way, but instead of measuring all gears in the plant, it was only measured in a single gear.

To test and adjust the size of the Rectifier system, measurements were made that started with 24 modules. After that several modules were removed and tested again. Finally, after a change of the gears, measurements were made again. This meant that all sizes could be tested, and adjusted sizes could be developed.

For the UPS system, different types of tests were done on the existing size of the system. There they tested what consumption looked like during gear changes as well as what the delay between the gear motors was presented.

The study shows that the low-voltage system in Lina älv was oversized and that in Kirunavaara it was undersized. Furthermore, the financial aspect shows that the Rectifier system is cheaper to operate than the UPS system. There are also potential measures for both sites in the form of a reduction in the Rectifier system and an increased capacity of the UPS system, which would have led to a more appropriate dimensioning in terms of the low voltage plant's consumption. This would also have led to better use of the systems and reduced costs by avoiding too large systems and reducing the risk of operational disruptions, which also costs a lot of money for the Swedish railway operator Trafikverket.

Keywords: Rectifiers, UPS, low voltage system, uninterruptible power, favored power, accumulator, gear drive motor

Innehållsförteckning

Ordlista	1
1 Inledning	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte	4
1.3 Avgränsningar	5
2 Beskrivning av lågspänningsanläggningen	6
2.1 Tidigare studier inom området	6
2.2 Favoriserad kraft	7
2.2.1 Uppbyggnaden av favoriserad kraft	7
2.2.2 Favoriserad kraft i lågspänningsanläggningar	7
2.3 Avbrottsfri kraft	8
2.3.1 Avbrottsfria kraftens betydelse för telekommunikation	8
2.3.2 Avbrottsfria kraftens betydelse för signaltekniken	9
2.3.3 Avbrottsfria kraftens betydelse för fjärrstyrning	10
2.4 UPS	10
2.4.1 UPS systemets uppbyggnad	11
2.4.2 Olika typer av UPS	12
2.5 Rectiverter	12
2.5.1 Rectiverterns funktion	12
2.5.2 Olika typer av Rectiverter	13
2.6 Energilagring	14
2.6.1 Batterier som reservkraft	15
2.6.2 Dieselaggregat	17
2.7 Signalställverk	18
2.8 Olika typer av växeldriv	18
2.8.1 JEA	19
2.8.2 Easyswich	19
3 Metod	21
3.1 Stationer som studerats	21
3.1.1 Station 1	23
3.1.2 Station 2	24
3.1.3 Tillvägagångssätt för att utföra mätningarna	24
3.2 Ekonomisk kalkyl	26
3.2.1 Nuvärdefaktor och nuvärdesummefaktor	26
4 Resultat	28
4.1 Lina Älv	28
4.1.1 Mätvärden med 24 moduler	28
4.1.2 Mätvärden med 12 moduler	29

4.1.3 Mätvärden med 6 moduler	30
4.1.4 Mätvärden med 3 moduler	31
4.2 Kirunavaara.....	32
4.2.1 Mätvärden på UPS.....	32
4.2.2 Effekt för en växeldrivsmotor.....	33
4.2.3 Mätvärden 4 drivmotorer	34
4.3 Ekonomi	35
4.3.1 UPS investering och underhåll	35
4.3.2 Rectiveters investering och underhåll.....	36
5 Diskussion.....	38
5.1 Resultatdiskussion.....	38
5.2 Metoddiskussion	39
6 Åtgärdsförslag	41
6.1 Generella åtgärdsförslag	41
6.2 De två studerade driftplatserna	42
6.2.1 Lina Älv	42
6.2.2 Kirunavaara.....	42
6.3 Ekonomi	43
6.3.1 Befintliga anläggningar.....	43
6.3.2 Potentiella besparingar på studerade platser	44
6.3.3 Ortsnätsabonnemang.....	45
7 Slutsatser.....	46
7.1 Fortsatt arbete inom området.....	47
Referenslista	48

Ordlista

Akkumulator – Laddningsbart batteri

Avbrottsfri kraft – En oavbruten strömförsörjning vid ett strömavbrott

Driftplats – Ett område där tåg kan mötas eller släppa förbi andra tåg på en enkelspårig bana. Området övervakas av tågklarerare

Jordad – Kretsen är ansluten till jorden/jordade föremål vilket minskar risken för elektriska stötar

Likström - Elektrisk ström som alltid har samma riktning

Ortsnätsabonnemang – Tillhörande el-abonnemanget för UPS och Rectiverter systemen som är anpassat efter systemets storlek vilket gör att det kan skilja mellan orter.

PEN ledare – Elektrisk ledare som har en gemensam funktion som skyddsjord (PE) och neutralledare (N)

Rectiverter- Används för att omvandla växelström till likström och används ofta vid anläggningar som behöver pålitlig strömförsörjning

Redundans – Systemens driftsäkerhet vid bortfall av komponenter

Sammanhängande räl – Järnvägsspårets jordade räl som återleder tågets drivströmmar.

TDOK – Teknisk dokumentation, Tekniska föreskrifter från Trafikverket

TRV-INFRA - Trafikverkets infrastrukturregelverk

UPS - Uninterruptable power supply- Används för att ge oavbruten strömförsörjning.

Växeldrivsmotor – En motor som lägger om växeln på järnvägen

Växelström – Elektrisk ström som byter riktning

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Transportsektorn och däribland järnvägen står för en betydande del av infrastrukturens elanvändning idag (Armelius, 2023). Järnvägssektorn är ett stort område som använder mycket elektricitet och är ett av de infrastrukturområdena som det satsas mest pengar på att utveckla (Trafikverket, 2022). Trafikverkets årliga inköpsvolym av el uppgår till 2 750 GWh (miljoner kWh), varav 2 230 GWh för tågdrift och 520 GWh för Trafikverkets egna anläggningar. Priserna är rörliga men ligger vanligtvis mellan 55–60 öre per Wh. Trafikverket betalar ungefär 2,5 miljarder kronor varje år för att elförsörja järnvägen (Trafikverket, 2023). Därför är det viktigt att samtliga investeringar inom järnvägssektorn som görs leder till en energieffektiv infrastruktur som är hållbar både ekonomiskt och tekniskt över tid.

Trafikverket är ägare av ungefär 91% av den svenska järnvägen idag. De har tidigare gjort undersökningar som handlar om att effektivisera och minska kostnaderna för infrastrukturbyggen som järnväg, där de gjort analyser av investeringar och förbrukningar inom el området och främst kontaktledning (Trafikverket, 2013). Sedan tidigare har det även gjorts analyser av förbrukningen på lågspänningsanläggningarna genom uppskattade förbrukningsvärden. I denna rapport kommer mätningar att göras på anläggningarnas faktiska förbrukning.

Det finns många delar inom järnvägssystemet som kan effektiviseras när det gäller elförbrukning. Det har gjorts undersökningar om att placera solceller på teknikhusens tak för att strömförsörja dess behov, vilket är en framtida potentiell lösning (Eriksson & Klasson, 2022). Trafikverket har på senare år implementerat Easyswich som växeldriv samt en ny standardspårväxel som heter 60E. Detta testas fortfarande på olika platser i landet och utvecklingsarbetet fortgår för att minska elförbrukningen i anläggningarna genom de hydrauliska växeldriven och dess anpassade tillhörande växelmodell.

I detta examensarbete kommer fokus att vara på hållbarhet och effektivitet som grundas i att systemen ska vara miljömässigt effektiva och utnyttja sin fulla kapacitet. Ur ett ekonomiskt perspektiv ska anläggningen vara en bra investering som håller i många år. Arbetet kommer att fokusera på dimensioneringen av Rectiverter och UPS (Uninterruptible power supply) systemen på två befintliga driftplatser.

Rectivertern har tagits fram som en ersättare till UPS systemet, som tidigare var standard vid projektering av lågspänningsanläggningar (Trafikverket, 2020). Rectiverter fungerar genom att den gör om strömmen från ortsnätet eller hjälpkraft-anläggningen till lik eller växelström, som sedan går vidare ut till de delar i anläggningen som systemet driver, vilket är växeldrivsmotorerna och ljussignaler. Rectiverter systemets främsta fördel jämfört med UPS systemet är att det tar mindre plats och är enklare att underhålla. Systemens övergripande funktion i anläggningen är densamma, vilket handlar om att omvandla elektricitet och föra den vidare till växeldrivsmotorerna och ljussignalerna.

Sedan 2016, när Rectivertern ersatte UPS systemet som ny standard i Trafikverkets anläggningar, har systemet hunnit etablera sig och finns på en del ställen i landet. Trots att Rectiverter systemet är standard så är den mesta delen av lågspänningsanläggningarna uppbyggda med ett UPS system. Vid arbeten och ombyggnationer sker ofta ett utbyte av system till det nyare Rectiverter systemet (Nordström, 2023a).

En Rectiverter är uppbyggd på moduler där antalet moduler beror på hur stor kapacitet som krävs. Flertalet moduler kan leda till att systemet blir överdimensionerade, vilket kan komma att medföra att el-abonnemangen blir större samtidigt som investeringar och underhållskostnader också ökar. UPS systemet är inte uppbyggt på moduler utan fungerar som en enkel komponent. UPS systemet har flera olika storlekar, vilket gör att det finns risk för överdimensionering även där genom att det inte finns samma flexibilitet att anpassa systemets kapacitet som Rectivertern. Detta leder till att anläggningarna kostar mycket mer pengar samtidigt som systemen inte utnyttjas till sin fulla kapacitet.

I samband med att nya Rectiverter system satts i drift bör det hittas standarder för att uppnå energieffektiva elanläggningar. De nya elanläggningarna som byggs borde projekteras på ett sätt så att riskerna minskas för att dimensionera systemen så det blir för stora eller små. Utifrån det är målet med detta examensarbete att undersöka om mindre driftplatser har rätt storlek på det tekniska systemet eller om det går att använda andra mer sparsamma lösningar genom att justera driftplatsernas lågspänningsanläggningar efter dess elförbrukning. Detta leder till att anpassningar kan göras till det tillhörande el abonnemanget samt de kostnader som tillkommer vid köp av större system som investeringar och underhållskostnader på de mindre driftplatserna.

För att kunna analysera lågspänningsanläggningarna, har mätningar utförts på de komponenter som Rectiverter och UPS systemet strömförsörjer, vilket är växeldrivsmotorerna och ljussignalerna. Resultatet av mätningarna kommer ge

en tydligare bild av hur den faktiska elförbrukningen ser ut vid belastningar och leda till de åtgärder som ger mest effektivt utnyttjande av systemen.

1.2 Syfte

Syftet med studien är att analysera hur man kan effektivisera elförbrukningen i lågspänningsanläggningar genom att studera mätningar av hur mycket el som förbrukas. Värdena av mätningarna kan sedan jämföras med de dimensionerade systemens storlek och kapacitet. Detta ger kunskap om hur man kan spara på material i anläggningen och minska investeringskostnader genom att använda mindre system. En korrekt dimensionering kan även leda till lägre underhållskostnader då storleken på systemet spelar roll för underhållsarbetet. Även potentiella lösningar som kan göra driftplatsera mer energieffektiva och minska belastningarna på systemen kommer undersökas. Detta arbete är av betydelse då eventuella felaktiga dimensioneringar och val av system kan få stora ekonomiska konsekvenser över tid.

Eftersom de två studerade driftplatserna har olika system, där den ena har ett Rectiverter system och den andra har ett UPS system kommer jämförelser kunna göras mellan systemens funktion och kostnad. En annan del av arbetet handlar om att undersöka den ekonomiska aspekten av en felaktig dimensionering och vilka potentiella besparingar som går att göra vid rätt val av projektering. För att få ett längre perspektiv kommer sammanställning av systemens kostnader över 30 år att göras. Arbetet handlar om att hitta en lämplig utformning som innebär energieffektivitet, hållbarhet och ekonomisk effektivitet.

För att förtydliga syftet har följande frågeställningar tagits fram:

- Hur kan de studerade lågspänningsanläggningar anpassas sett till den utgående elförbrukning?
- Vilka potentiella lösningar finns det för att minska de studerade systemens belastning vid växelomläggningar?
- Vilka potentiella besparingar går att göra vid rätt dimensionering sett till investerings-, underhålls- och abonnemangskostnader?
- Hur mycket kostar det att driva ett UPS och Rectiverter system över 30 år?

Ett förväntat resultat är att komma fram till slutsatser och förklaringar som ger en ökad förståelse för anläggningens ingående delar och dess elförbrukning samt lösningar som kan anpassas efter driftplatsernas förbrukning. Ett annat förväntat resultat är att ta fram siffror på vad enskilda feldimensioneringar kan

kosta och att analysera vad anläggningarna kostar att driva och underhålla under en 30 års period.

1.3 Avgränsningar

Avgränsningar görs till mindre driftplatser med fyra växlar och 12 växeldrivsmotorer. Avgränsningar görs så att bara lågspänningsanläggningen och den förbrukningen som används av Rectiverter eller UPS systemet mäts. Annan utgående förbrukning tas inte med, mätningarna innefattar förbrukning av växeldrivsmotorer och ljussignaler. Mätningarna görs under sommarhalvåret. Geografiska avgränsningar görs till norra delen av Sverige.

2 Beskrivning av lågspänningsanläggningen

I det här kapitlet förklaras uppbyggnaden av lågspänningsanläggning vid driftsplatser generellt samt de ingående komponenternas funktion och uppbyggnad. Resultat och kunskap från tidigare arbeten inom området kommer att beskrivas.

2.1 Tidigare studier inom området

I rapporten "*Sweco rail handbok för avbrottsfri kraftförsörjning till Trafikverketets linjebundna signalanläggningar*" (Musa, 2018) undersöktes lågspänningsanläggningarnas avbrottsfria kraftförsörjning till signalanläggningarna mer ingående. Olika krav från Trafikverket redogörs och förklaras för signalanläggningarna, till exempel vilken kraftförsörjning som ska gälla vid matning till signalanläggningar. Uppskattningar på ingående komponenter som förbrukar el i anläggningen görs och utifrån det sker en dimensionering och beräkning av utgående laster. Detta gjordes för två typer av stationer. Utifrån beräkningarna väljs sedan UPS system i lämplig storlek för anläggningen. Resultatet visar att för det utgående lasterna används 20% marginal för att dimensionera korrekt storlek på UPS systemet. Marginalen finns för att undvika underdimensionering. Den utgående matningen uppskattas till 16 kVA och UPS systemets kapacitet sätts till 20 kVA.

I rapporten "*Projektering av elkraftsystem FAT- testanläggning*" (Lulic, 2022) anläggs en testanläggning för att sedan jämföras med den riktiga anläggningen genom att beräkna den uppskattade förbrukningen för att sedan jämföra med den verkliga dimensioneringen. Anläggningen ska försörjas på ett säkert sätt och mycket beräkningar av kabeldimensioner görs. Resultaten ger en bild över anläggningens ingående delar och dess uppskattade förbrukning, vilket är olika modeller av drivande maskiner. Mycket olika sorters problem och olika lösningar tas upp och ett av dem är startströmmarna och höga strömtoppar. Resultatet av projekteringen visar att den lägsta spänningsnivån uppnås när den största maskinen används. Då uppnår belastningsströmmen ca 1600 Ampere vilket är 1,6 gånger den maximala belastningsströmmen för systemet. I rapporten används maskinerna aldrig samtidigt och problemet kan försummas. Utifrån dessa värden antogs en lägre drifteffekt på ca 66 procent av den maximala effekten vilket då uppfyllde kraven om maximal belastningsström på 1000 Ampere för det projekterade systemet.

2.2 Favoriserad kraft

Samtliga UPS och Rectiverter system skall anslutas till favoriserad kraft. Favoriserad kraft är när kraftförsörjningen till teknikhusen matas via en nätomkopplare från två oberoende elnät. Dessa två elnät har olika uppbyggnad då det ena nätet fungerar som en lokal hjälpkraftanläggning och det andra köper Trafikverket från elkraftleverantörer till deras interna kraftnät vilket används som en reservkraft. Hjälpkraftanläggningen kallas ofta för det ordinarie nätet. Reservkrafts nätet grundas på att den inköpta elen som ligger på 130 kV:s (kilovoltampere) spänningsnivå görs om vid en omformarstation till 16, 66 Hz (Hertz) för att användas på järnvägen. Inköpet av elektricitet sker via ett ortsnätsabonnemang där storleken av abonnemanget bestäms av systemets storlek.

2.2.1 Uppbyggnaden av favoriserad kraft

Favoriserad kraft grundas i att en hjälpkraftanläggning återanvänder spänningen genom att den sammanhängande-rälen som leder strömmen till närmsta jordpunkt, för att sedan gå vidare till en sugtransformator som drar mestadels av strömmen tillbaka till återledaren. Hjälpkraften sitter högst upp i kontaktledningsstolparna längs med banan och fördelas med två eller trefas med vanligtvis 11 kV eller 22 kV. Gemensamt för systemen är att de har en 50 Hz elenergi som krävs för att driva de olika järnvägsanläggningarna (Reijm, 2006). Den favoriserade kraften behöver ha en stor tillförlitlighet för att inte systemet ska upphöra att fungera. Motsatsen till favoriserad kraft är ofavoriserad kraft. Skillnaden är att kraftförsörjningen kommer enbart från det ordinarie elnätet. Systemet har då inte samma tillförlitlighet och används ofta för byggbodan längs med järnvägen.

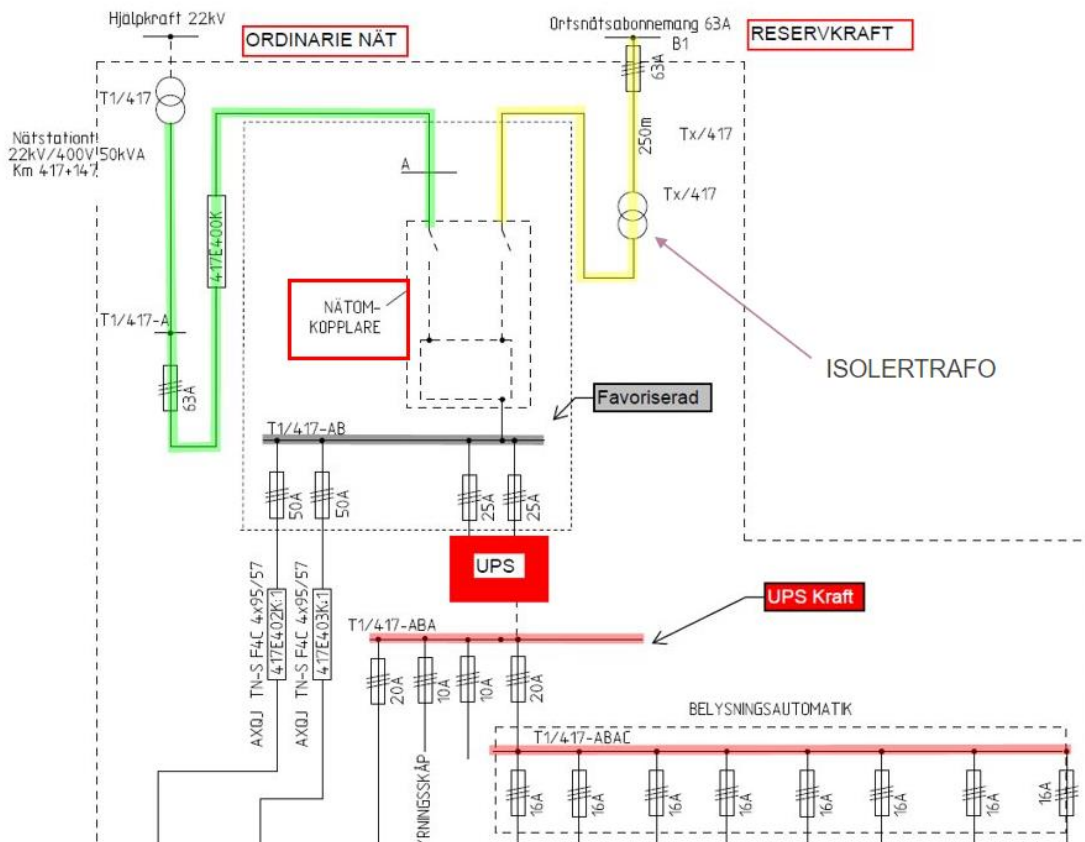
2.2.2 Favoriserad kraft i lågspänningsanläggningar

Den inkommande matningen från de två oberoende näten, går först igenom en transformator. Matningen från ortsnätsabonnemanget går först via en isolertransformator. Isolertransformator främsta syfte är inte att ändra spänningen utan att utföra en galvanisk isolering. En galvanisk isolering är en ett sätt att isolera samverkande elektriska kretsar från varandra. Det går det via en isolertransformator vidare till nätomkopplingsautomatiken.

Nätomkopplingsautomatiken är den delen som finns mellan de två matande näten. Alla omkopplingar sker spänningslöst under ett kort intervall, för att undvika sammanslagning. Omkopplingen ska ske vid höjningen eller sänkning av spänning på plus-minus 10% av den ordinarie kapacitetsnivån. När spänningen är tillbaka på fastställd nivå så sker en automatisk tillbakakoppling efter minst 90 sekunder (Junuzovski & Hukka , 2009).

Omkopplingsautomatiken är en viktig funktion i det favoriserade nätet. Det är via nätomkopplingsautomatiken som sedan elektriciteten går vidare till järnvägssystemet för att försörja Rectiverter eller UPS system. Det är

signalanläggningar, fjärrstyrning telekommunikations och belysningsanläggningar som behöver ström. *Figur 1* visar hur ett system med UPS eller Rectiverter kan se ut med systemet. I figuren är det ett UPS system.



Figur 1, Kretsschema för avbrottsfri kraft med UPS systemet.

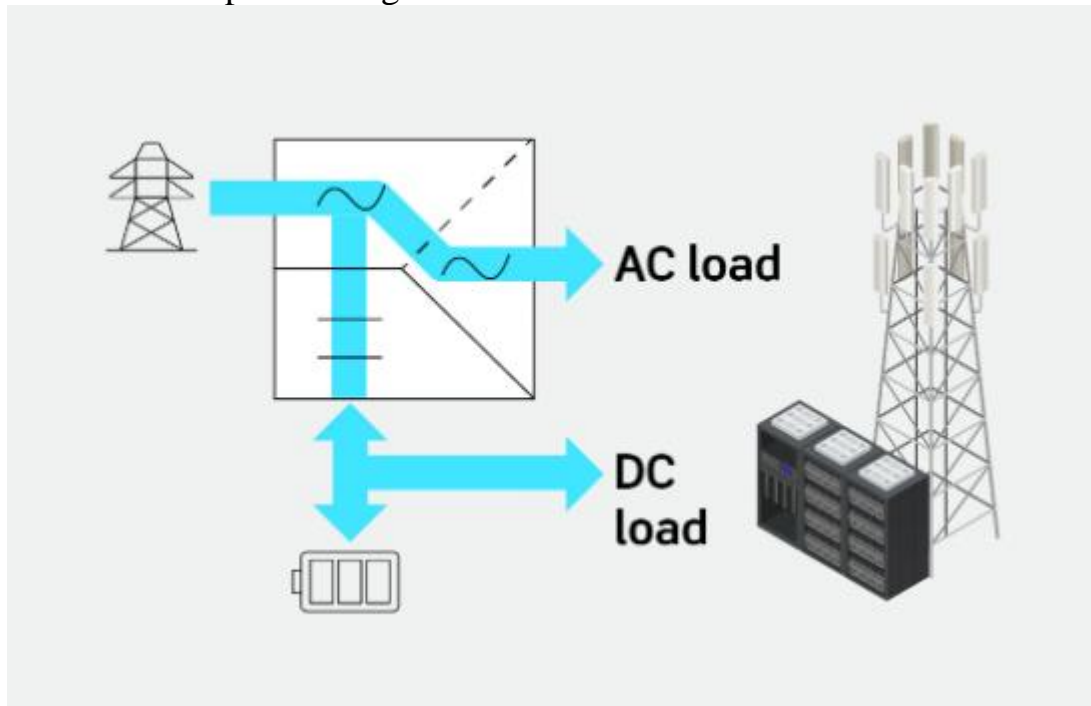
2.3 Avbrottsfri kraft

Avbrottsfri kraft utgår från att systemen oavsett situation skall ha en energikälla. Vid avbrott skall ett batteri försörja anläggningarna och annars ska ortsnätet och hjälpkraftsanläggningen försörja teknikhusen samtidigt som de ska ladda reservkraften som vanligtvis är batterier. Dieselaggregat finns även som reservkraftförsörjning i vissa anläggningar. Anläggningar behöver energiförsörjning oavsett situation. Avbrottsfri kraft behövs inom telekommunikation, signal och fjärrstyrnings anläggningar.

2.3.1 Avbrottsfria kraftens betydelse för telekommunikation.

Telekommunikationens huvuduppgift på järnvägen är att binda samman olika teknikslag och alla system som behöver kommunikation för att fungera. Rectiverter och UPS: er inom tele området ökar driftsäkerheten och därmed kontrollen avsevärt. De flesta telekomdelarna har någon form av lik och växelströmsförsörjning med en backup som vanligtvis är ett batteri. Driftsäkerheten ökar genom att separera DC (likström) och AC (växelström) i en UPS eller med ett växelriktarsystem. Växelriktarsystemet läggs till för DC systemet, med separata styrenheter och styrgränssnitt och används till att göra

om AC ström till DC ström eller tvärt om. *Figur 2* visar en översiktlig bild hur den beskrivna processen går till.



Figur 2, Telekommunikations sanläggningens användande av Rectifiertern samt dess tillhörande backup för både lik och växelström. Källa: Eltek, 2023

2.3.2 Avbrottsfria kraftens betydelse för signaltekniken

Signaltekniken infattar signaler längs med banan samt tillhörande ställverk vars huvuduppgift är att styra tågtrafiken. En driftplats som byggs idag ska använda sig av ERMTS (European Rail Traffic Management System) systemet. ERMTS är ett nyare system där föraren ska kunna få trafikmedelanden direkt på en display i tåget istället för signaler via skyltar längs med banan. ERMTS ersätter ATC (Automatic train control) systemet och dess främsta uppgift är att öka säkerheten på järnvägen. För att järnvägen ska klara de förväntningar som finns i form av ökad kapacitet, tillgänglighet, punktlighet, robusthet samt kostnadseffektivitet de kommande 10–20 åren behövs ett nytt digitalt system och tågskyddssystem införas. Befintligt signalsystem ATC bedöms inte realistiskt att behålla. Detta utifrån att det, ur ett tekniskt perspektiv inte kan leverera den kapacitet som önskas i framtiden utan att samtidigt tillföra fler felkällor som därmed sänker den totala tillgängligheten. En annan anledning är att befintligt signalsystem idag börjar bli slitet och de medför att stora delar behöver bytas ut inom de kommande 20 åren för att det överhuvudtaget ska gå att driva tågtrafiken på dagens nivåer. Det nya ERMTS systemet är ett EU (Europeiska unionen) gemensamt system (Altman, et al., 2021), vilket betyder att medlemsländerna i EU ska använda sig av samma system.

Systemet fungerar genom baliser som ligger längs med banan och sänder signaler, som går vidare till en radiostation som kontrollerar den aktuella bandelen (Ölmedal & Bjerborn, 2016).

Lågspänningsanläggningens huvuduppgift är att kraftförsörja teknikhusen som tillhör signaltekniken. Det är från teknikhuset som sedan driver signaler, ställverken samt växeldriven. Den största energiåtgången är växeldriven, vars funktion är att lägga om växlar vid kommando. Valet av säkerhetssystem har en påverkan på förbrukningen då ERMTS använder mindre antal ljussignaler. Vid elavbrott skulle samtliga ovanstående funktioner stängas ner vilket betyder att en driftstörning eller olyckor kan se.

2.3.3 Avbrottsfria kraftens betydelse för fjärrstyrning

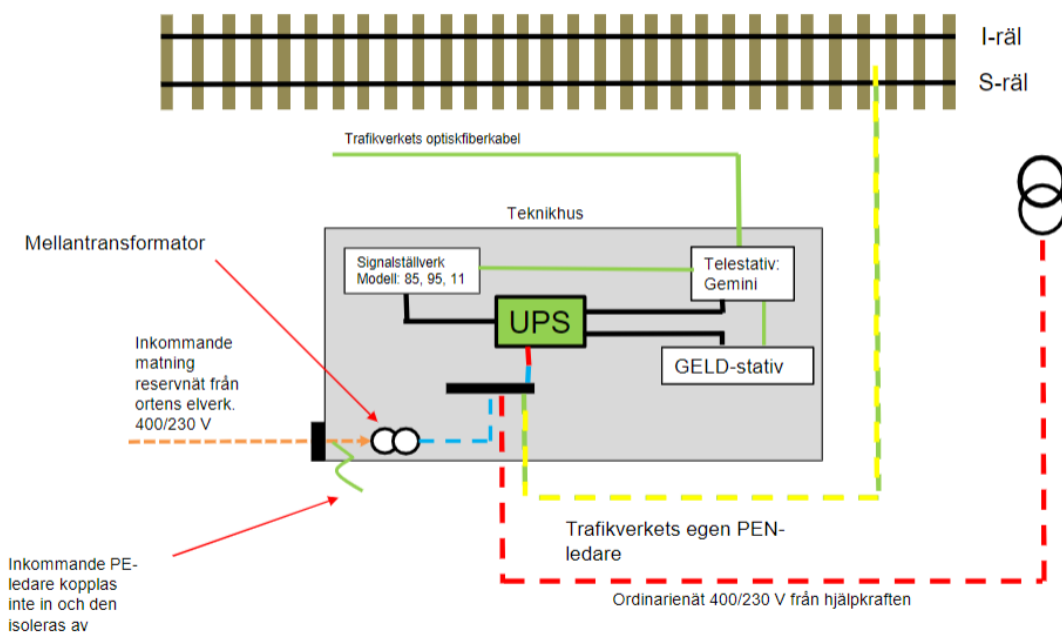
Fjärrstyrning innebär en övervakning av systemen på distans. Den vanligaste styrningen handlar om att tågklarare övervakar ställverken. Fjärrstyrningen har idag gått från att ha en övervakare vid varje station till att styras digitalt av fjärrtågklarare i Malmö, Norrköping, Hallsberg, Göteborg, Stockholm, Gävle, Ånge och Boden. Styrningen sköts via stora skärmar där de som arbetar kan överblicka och styra tågtrafiken. ERMTS systemet underlättar för tågklararna då systemet ökar säkerheten (Järnväg.net, 2020). För fjärrstyrningen är det väldigt viktigt att inte tappa kontrollen vid avbrott, då driftstörningar och olyckor kan ske, därför är avbrottsfri kraft viktigt.

2.4 UPS

UPS är en del av lågspänningsanläggningarna som har sin huvuduppgift i att eliminera störningar från inkommande nät för att i nästa steg kunna leverera ut en kraft som är störningsfri och av hög kvalitet till lasten. Exempel på störningar kan vara avbrott eller sinusvågor. UPS systemet placeras mellan den inkommande kraften och objektet som behöver elförsörjas, vilket är ställverken. Den spänning som kommer ifrån UPS -en kallas avbrottsfri kraft. Den avbrottsfria kraften är viktig för att datorställverken behöver en kontinuerlig spänningsmatning (Jacobsson, 2018). Kraftmatningen till säkerhetssystem som signal, transmission, fjärrstyrning och nödbelysning är även viktigt. Anläggningen består av två inkommande oberoende nät som går vidare till omkopplingsautomatiken. Efter strömmen passerat omkopplingsautomatiken går den favoriserade krafter till UPS systemet. En UPS har batteri och en växelriktare som matar utrustningen den korta tid som omkopplingsautomatiken behöver på sig för att växla näten. Detta är väldigt korta stunder och en omkoppling tar under en sekund att genomföra. Batteriet som används ska klara av att mata UPS systemet under en kort tid. Detta kan behöva göras om både ortsnätet samt hjälpkraften försvinner.

2.4.1 UPS systemets uppbyggnad

Själva UPS systemet består av tre olika huvudkomponenter, en lik- och växelriktare samt ett batteri. UPS systemet finns likt andra system på järnvägen i olika konfigurationer. Likriktarens huvudsakliga uppgift är att omvandla den inkommande växelspänningen till likspänning för att kunna ladda batteriet. Växelriktarens uppgift är att omvandla den inkommande likspänningen till växelspänning igen för att sedan kunna leda den vidare till lasten.



Figur 3, UPS anläggning med koppling till sammanhängande rälen. Källa: Trafikverket, 2022

Figur 3 visar en typisk UPS anläggning där det finns två oberoende matningar från ortsnätet samt hjälpkraftsanläggningen. Sedan går matningen vidare till omkopplingsautomatiken och den favoriserade kraften går sedan till UPS anläggningen. En PEN-ledare dras sedan mellan säkringarna vid omkopplingsautomatiken och den sammanhängande rälen. Kraftförsörjningen från ortsnätet skall vara isolerad från järnvägen. Den sammanhängande rälen är den rälen som återleder drivströmmen från tågets elmotorer. Den andra rälen heter isolerande räl och används för identifiering av spårfordon på bandelen. PEN-ledaren har en funktion som skyddsjord samt att vara neutralledare. UPS systemet försörjer i sin tur telekomutrustningen och signalställverket med favoriserad kraft (Trafikverket, 2022).

2.4.2 Olika typer av UPS

Det finns olika typer av UPS system, där matning och spänning skiljer modellerna åt. Modellerna är indelade i två olika grupper som grundas på systemets storlek. I Sverige är det Eaton som är den vanligaste leverantören av UPS system till Trafikverket. Modellerna som är vanligast visas i *tabell 1*. Valet av storlek på UPS systemet görs utifrån driftplatsens behov. En vanlig storlek på UPS systemet är 15 kVA (kilovoltampere) på den svenska järnvägen.

Tabell 1, Olika egenskaper hos de två vanligaste modellerna av UPS system på den svenska järnvägen (Eaton, 2023).

Typ	Matning	Spänning	Högsta tillåtna frekvens	Rekommenderad frekvens
Eaton 93PS UPS 8–40 kW	8–40 kW	220/380 V 230/400 V 240/415 V	40–72 Hz	50–60 Hz
Eaton 93PS UPS 30–200 kW	30–200 kW	220/ 380 V 230/400 V 240/415 V	40–72 Hz	50–60 Hz

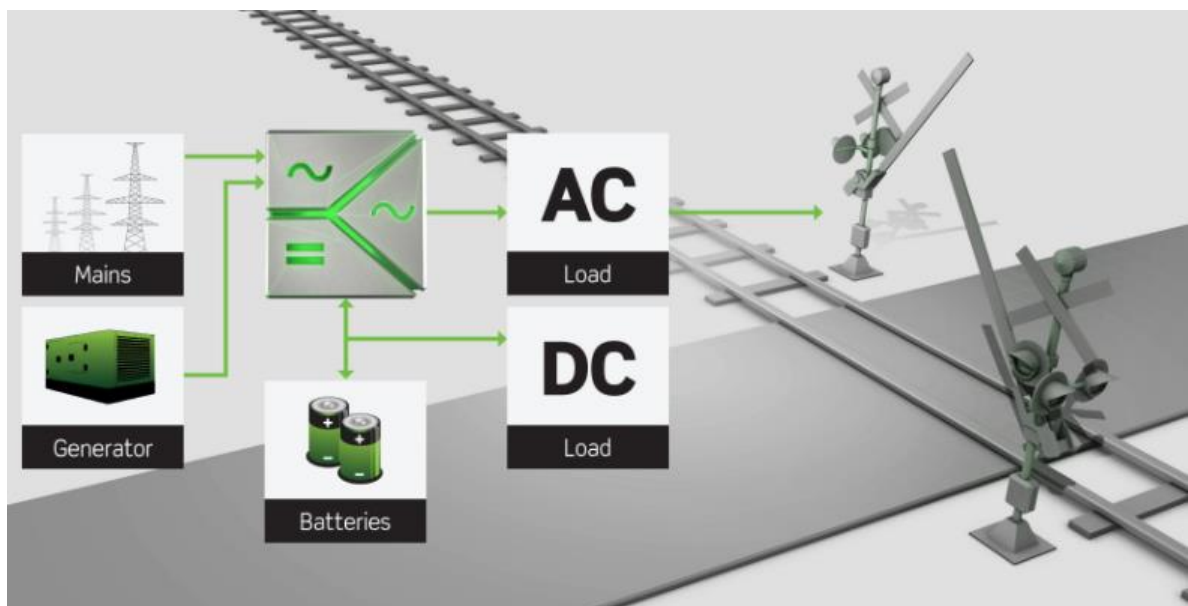
2.5 Rectiverter

Rectiverter gör om strömmen från ortsnätet eller hjälpkraft-anläggningen till likström (AC) eller växelström (DC), som sedan går vidare ut till teknikhusen. Funktionen är samma som för en UPS, men Rectiverten fungerar som en likriktare, växelriktare och statisk överföringsbrytare kombinerat i samma komponent vilket gör att man kan mata systemet med likspänning och få ut växelspänning eller tvärt om. Den tar även mindre plats än UPS systemet. Rectivertern är uppbyggd som en enskild modul. Vid behov kan flera moduler parallellkopplas för att kunna kraftförsörja större laster (Nordström, 2023b). En Rectiverter har tre olika sorters portar. En AC-ingång, en DC-ingång samt en dubbelriktad DC-port som kan användas till både in och utgång. Detta möjliggör ett kraftflöde inne i modulen.

2.5.1 Rectiverterns funktion

Rectiverten fungerar genom att vid normal drift ge en växelström och likström med en total belastning på upp till 2000 W per modul. AC ingången korrigeras först till en mellanliggande likspänning. Den matar sedan ett inbyggt växelriktarsteg som ger en bra utgående AC kraft. Det dubbelriktade DC/DC steget är anslutet mellan den mellanliggande likspänningen och modulens DC port och matar elektricitet till DC-porten samt laddar upp batterierna med lämplig spänning. Den matar även DC belastningarna. Systemet är

avbrottsfritt och fungerar genom att DC/DC portens energiflöde vänder och tar elektricitet från DC porten och batteriet för att mata växelströmsriktaren oavbrutet för att strömförsörja AC belastningarna. AC belastningarna är då i detta fall ljussignaler och växeldrivsmotorerna. Det uppstår inga belastningsströmmar under övergången mellan AC och DC matning. Det är dubbelriktarens kapacitet som skiljer olika Rectiverterers från varandra (Eltek, 2023). Genom att kombinera likriktare och växelriktare i samma moduler underlättar det mycket för utformningen av teknikhus. Denna lösning minskar mängden utrustning. Som *figur 4* visar den en matning från hjälpkraften eller ortsnätet, in i AC ingången för att sedan göra om strömmen till lik eller växelspänning. I denna figur försörjer systemet en övervakad korsning, något som inte kommer att tas med i denna rapport men principen är samma.



Figur 4, Rectiverterers funktion i en lågspänningsanläggning. Källa: Eltek, 2023

2.5.2 Olika typer av Rectiverterers

Det finns många olika sorters modeller av Rectivertern idag. Där alla modeller bygger på samma princip fast modulerna bygger på varandra vilket leder till att flera moduler kan hantera större laster. Varje modul är på 1,5 kVA vilket leder till att systemet är väldigt anpassningsbart. En UPS kan innefatta en kapacitet som exempelvis är på 10 eller 20 kVA, vilket innebär att Rectiverterers är mera flexibla. En viktig del är att använda sig av en redundant modul. Det betyder att om ett fel skulle uppstå i en av modulerna, skulle systemet ändå behålla krafterna och fortsätta att mata lasterna. Redundans ökar alltså driftsäkerheten. Redundansen mäts i $n + 1$ och $n + 2$, där n står för den uppskattade lasten och siffran står för hur många extra moduler som är redundanta (Lang, 2023). Modulerna som är extra är i "standby" läge. Med det

menas att de finns med i systemet, och skulle en modul gå sönder skulle dessa ta över och täcka upp för den trasiga modulen helt automatiskt.

Tabell 2, Den vanligaste typen av Rectiverter på svenska järnvägen (Lang, 2023).

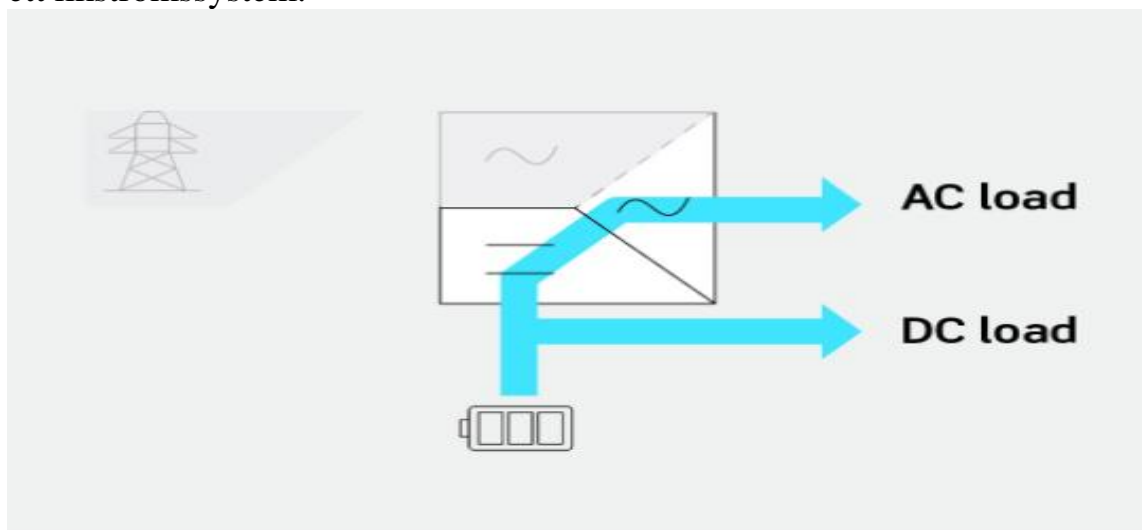
Typ	AC	DC
Rectiverter 48V	230V/1500 VA	48V/1200W

Tabell 3, Olika antal moduler och dess skillnad i skenbar effekt (Lang, 2023)

Typ	Antal moduler	Skenbar Effekt
Rectiverter	3	4,5 kVA
	6	9 kVA
	12	18 kVA
	24	36 kVA

2.6 Energilagring

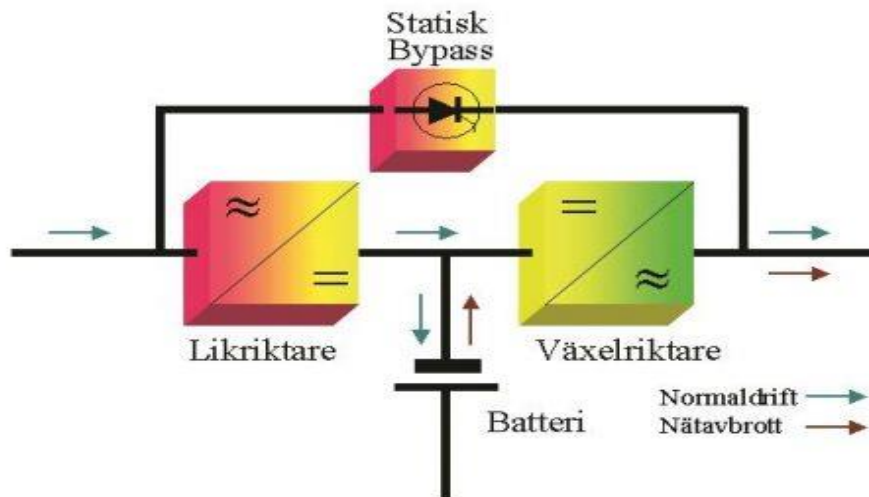
Den vanligaste metoden att lagra energi är för både Rectiverter och UPS systemen är genom ett batteri. Det är batterierna som bestämmer hur länge en Rectiverter eller UPS system kan försörja ett teknikhus eller liknande vid avbrott. Figuren visar ett hur ett Rectiverter system fungerar vid avbrott från ortsnäts eller hjälpkraftanläggningen. Enligt *figur 5* agerar Rectivertern som en växelriktare utan någon anslutning till elnätet. Modulen har säkerhetskopierat elektricitet för AC belastningarna genom att vara anslutet till ett likströmssystem.



Figur 5, Energiförsörjning från batteriet vid avbrott vid Rectiverterns. Källa: Eltek, 2023

Vid ett strömavbrott går UPS: en över i ett "backup" läge. Backup läget innebär att elektriciteten är producerad av UPS: en och främst av batterierna som framgår av *figur 6* där elektriciteten går från batteriet via likriktaren ut till

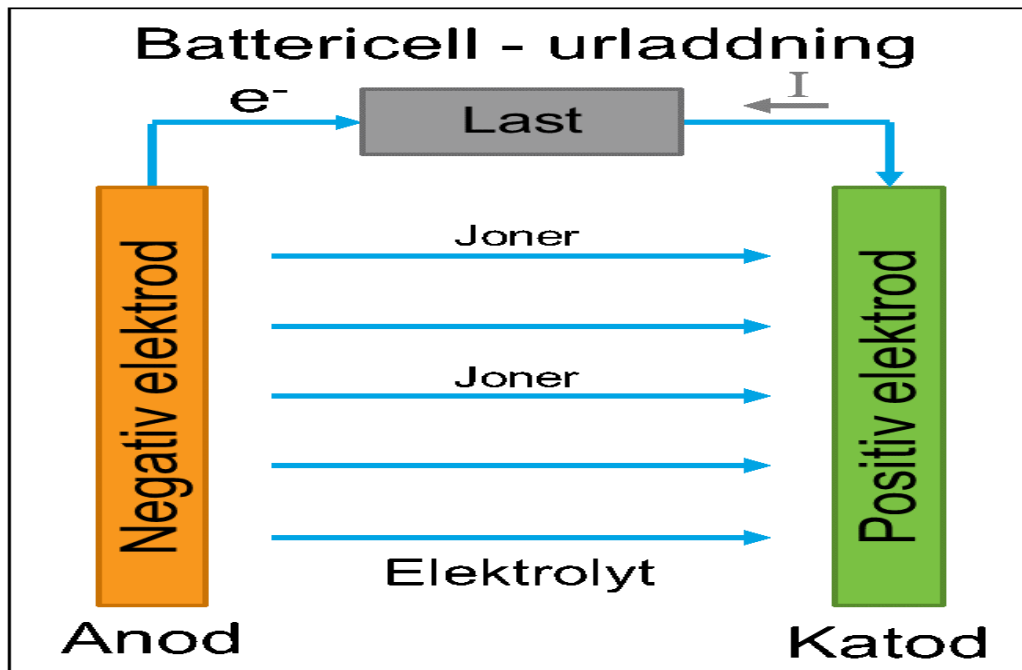
lasten. Vid strömavbrott kopplas batterierna in via växelriktaren som ligger i backup läge på 3–6 ms. Funktionen av de två olika systemen är samma vid avbrott. Det inkommande elnätet försörjer lasten via filter som skyddar mot störningar och en reglerkrets som styr utspänningen så att den hålls på en jämn nivå även om inspänningen varierar (Elrond, 2020).



Figur 6, Energiförsörjning för UPS system vid avbrott och normaldrift. Källa: Elrond, 2020

2.6.1 Batterier som reservkraft

UPS och Retiverter systemet är avbrottsfria och drivs av batterier om kraftmatningen från ortsnätet eller hjälpkraftanläggningen skulle upphöra. Batterier har en konstant spänning och avger likström. Batterier fungerar genom att kemisk energi, som är en form av potentiell energi omvandlas till elektrisk energi. Det laddningsbara batteriet kallas ackumulator, då det lagrar energi. Energilagringen via batterier fungerar enligt *figur 7* genom att batteriet vid ett nätavbrott automatiskt börjar mata växelriktaren. Om batteriet blivit svagt eller urladdat kan det köras elektrisk ström i motsatt riktning och ladda batteriet. Då migrerar joner mellan cellerna genom en separator, som skapar en spänning vilket leder elektroner genom en ledare från minuspolen (anoden) till pluspolen (katoden). På det sättet omvandlas den kemiska energin i cellerna till elektrisk energi (Jönsson, 2019).



Figur 7, Batteriets uppbyggnad och funktion (Batteriföreningen, 2015).

Energien och effekttätheten i batterierna varierar beroende på vilket material batteriet är uppbyggt på, där materialets egenskaper varierar. Effekt är ett mått på ett batteris arbetsförmåga och mäts i watt (W). Energi beräknas som effekt gånger tid och mäts praktiskt i wattimmar (Wh). De tre vanligaste typerna av batterier som används i Sverige är bly, litium och nickel-kadmium. Materialets egenskaper visar att exempelvis har bly en hög effekttäthet, men det har inte litium.

Nedan sammanställs de beräkningar som gjorts för resultatet som visas i *Tabell 4*.

Energi = kapacitet x elektrisk spänning, Wh = Ah x V

Effekt = spänning x ström, W = V x A

Tabell 4, De tre vanligaste sorterna av batterier hos Trafikverkets anläggningar.

Typ av batteri	Effekttäthet (W/kg)	Energitäthet (Wh/kg)	Livslängd
Bly	300	35	Lång
Litium	180	120	Medel
Nickel-kadmium	200	40	Lång

De batterimodeller som Trafikverket använder ska ha en hög kapacitet och en lång livslängd. Trafikverkets köper vanligtvis in bly, litium och nickel-kadmiumackumulatörer som batterier, vilket är laddningsbara batterier som även kallas ackumulatörer.

Bly är den vanligaste modellen som används, trots att batteriet är väldigt känsligt mot temperaturskillnader. Det finns två varianter av blybatterier, ventil reglerat och fritt ventilerat. Ventil reglerat batteri är ett slutet block, med ventiler på ovansidan som släpper ut gas från den kemiska reaktionen som sker. Det är ventilreglerade batterier som är vanligast och används vid Rectiverter och UPS system, även vid bandelar med ERTMS. Detta framförs i Trafikverkets infrastrukturregelverk, TRVINFRA-00132 (Trafikverket, 2020). UPS systemet har en annan spänning än Rectiverter systemet, vilket leder till att det behövs flera batterier. Blybatteriet fungerar som bäst vid 25 °C och vid 30 °C halveras livslängden. Blybatteriet har en låg specifik energi jämfört med andra typer av batterier samt en lång livslängd (Lang, 2023).

Litiumjonackumulatörens livslängd börjar avta redan vid framställning på fabriken (Abriren & Pedral, 2016). Ur ett miljöperspektiv så släpper litiumjonsackumulatören ut stora mängder koldioxid vid tillverkning och de är en av de batterityperna som släpper ut mest växthusgaser under en livslängd. Vid framställning av litiumjonackumulatören används och frigörs ämnen som skadar miljö samt orsaka genetiska skador (Olsson & Jama, 2019). Fördelen med litiumjonackumulatören är att de har en hög energimängd (energimängd per massenhet) jämför med andra batterityper.

Nickel-kadmiumackumulatören har en relativt hög effekttäthet (effekt per massenhet) jämfört med andra typer av batterier. Den har även bra egenskaper när det gäller livslängd och är inte känslig för temperaturer. Det negativa med Nickel-kadmiumackumulatören är att de är dyrare än de andra modellerna samt att nickel och kadmium har en negativ inverkan på miljön, där främst kadmium är svårt att hantera efter användningen (Mattsson, et al., 2021).

2.6.2 Dieselaggregat

Dieselaggregat är en annan reservkraft som kan användas. Det fungerar på samma sätt som ett batteri, men det är en motor som drivs av diesel som genererar energi till anläggningen. Kapaciteten på ett dieselaggregat är inte lika stor som för ett batteri. Vid drift är dieselaggregatet ett sämre alternativ än batteriet ur en miljösynvinkel. Då det drivs av så fossila bränslen. Hantering av produktens material efter en livstid är enklare än för batteriets. Idag är det vanligast att använda sig av batterier som reservkraft i anläggningarna (Nordström, 2023a).

2.7 Signalställverk

Signaler och växlar styrs av ställverk. Det finns många olika modeller, från de äldsta som är mekaniska eller elektriska till de nyaste som är helt datorbaserade. Alla bygger på att vissa villkor måste vara uppfyllda för att en tågväg ska kunna läggas för att säkerställa att inget annat spårbundet fordon finns på banan. Detta görs genom att kontrollera att spårväxlar är lagda och låsta, sido och frontskydd är låsta och att sträckan är hinderfri. Informationen samlas och levererar körtillstånd till de tåg som berörs på sträckan. Är en tågväg lagd in på ett visst spår kan inte körsignal ges till ett annat tåg för att köra in på samma spår. Informationen samlas och levererar körtillstånd till tågen på sträckan.

Signalställverken styrs av en tågklarerare. Typen av ställverk beror på vilken driftplats det är. De finns olika typer och det kan bland annat vara reläbaserade ställverk, datorbaserade och mekaniskt baserade signalställverk. Idag finns det en blandning av ställverk och ungefär 70 % av den totala andelen ställverk utgörs av det reläbaserade. Ca 20 % av det datorbaserade och 5% utgörs av det mekaniskt baserade signalställverket (Trafikverket, 2021). En klar fördel med det nya datorbaserade ställverket är att kontroll av växlar flera mil bort kan genomföras. På så sätt minskas antalet ställverk längs banan. Detta görs vanligast genom en IP anslutning.

Mer specifikt finns det olika modeller av ställverken. Modellerna har olika siffror som grundas i vilket årtal ställverksmodellen är framtagen. En modell är signalställverk 95 (M95). Föregående modell var signalställverk 85 (M85). Modellen är datorbaserat och tillverkas av Alstom. Ställverken är till för att styra och övervaka driftplatser och mellanliggande sträckor genom utbredda ställverk med elektronisk linjeblockering. Modellen styr driftplatser med konventionella system som ATC (Automatic train control) och den nyare ERTMS (European Rail Traffic Management System) som är det nya EU gemensamma signalsystemet (Trafikverket, 2021).

2.8 Olika typer av växeldriv

På den svenska järnvägen finns det idag två olika typer av växeldrivssystem. Den äldre modellen JEA och den nyare modellen som heter Easyswich. Huvuduppgiften för växeldrivet är att lägga om och säkra växlarna. Det som skiljer växeldriven mellan varandra är den tekniska funktionen. Växeldriven har olika antal växeldrivsmotorer beroende på växelns storlek.

2.8.1 JEA

Det tidigare standardsystemet för växeldriv var JEA drivet. Dess huvuduppgift är likt Easyswich att lägga om och säkra växlarna vid behov genom en växeldrivsmotor. Det första drivet är placerat längst ut på växeln och följs av fler längre in på beroende på växeln storlek. JEA drivets motor är sammankopplad med växeltungan och den rörliga korsningsspetsen via dragstänger vars uppgift är att överföra omläggningskraft och detektera läge på tunga och/eller korsningsspets. Växeltungan är den rörliga delen i en växel och den som läggs om när växeln byter läge. Förekommer rörlig korsningsspets installeras det driv även där. Syftet med en rörlig korsningsspets är att det leder till mindre slitage, klarar av högre axellaster samt högre hastigheter genom en rörlig del där rälerna möts. När växeln läggs om sker en friktionskoppling som mekaniskt kontrollerar dragstängerna. Motorn drivs av likström (Söderlind & Tregubenkova, 2020).

2.8.2 Easyswich

När den nya spårväxelstandarden 60E togs fram introducerades även ett nytt växeldriv som kallas Easyswitch. Grundtanken med den nya modellen var att växlar och drivdon skulle ha ett längre LCC (life cycle cost) och bättre komfort för passagerarna samt kort utbytestid av komponenterna. Easyswitch är ett sliperintegrerat växeldriv som tillverkas av Vossloh-Cogifer och är uppbyggt på att använda komponenter från andra föregående driv exempelvis delar från JEA drivet. I Sverige är modellen anpassad efter Trafikverkets krav och standarder. Växelrörelsen drivs med en dubbelverkande kolv som är monterade på mekanismplattan och är fylld med olja. Drivet av kolven ges av antingen lik eller växelström. Strömmen är kopplad till en hydraulenhet med pump och oljetank. I hydraulenheten finns ett värmeelement på 100W som värms till 30–50 grader för att hålla oljan i rätt temperatur (Vossloh, 2019). Systemet är även anpassat tillsammans med växelmodellen 60E att klara hastigheter över 250 km/h samt upp till 30 ton per axeltyngdmässigt. Detta är positivt för eventuella framtida snabbtåg och/eller godståg. Effektförbrukningen enligt *tabell 5* varierar beroende på vilken typ av växel det är samt vilket typ av driv. Som tabellen med de beräknade värdena visar kan man se att ES modellen (Easyswitch) har ett högre effektbehov än den äldre JEA modellen. Beroende på vilken ställverksmodell de ska kopplas mot används motor anpassad för växelspänning (AC) eller likspänning (DC). En sammanställning av växlarnas förbrukning har gjorts genom att uppskatta effektförbrukning för olika typer av växlar. Detta genom att undersöka hur många växeldrivsmotorer varje växel har samt var de är placerade. Växeldrivsmotorerna placeras vanligtvis vid tunganordningen i spetsen och mitten. Tunganordningen är den delen som består utav ett fast spår med en rörlig växeltunga som ligger an mot insidan av den fasta rälsen. Drivmotorerna placeras även i korsningens mitt och på spetsen av växeln.

Antal driv för varje växel tas även med i beräkningarna. Sammanställning av förbrukningen ges i *Tabell 5*.

Tabell 5, Växeltypernas förbrukning vid olika växeldrivsmodeller (Persson, 2023).

Växelmodell	Antal växeldrivsmotorer	Växeldrivsmodell	Total effekt
EV-60E-208-1:9	1	JEA/ES	500/1000
EV-60E-300-1:9	2	JEA/ES	1000/1400
EV-60E-760-1:15	2	JEA/ES	1000/1400
EV-60E-1200-1:18,5	2	JEA/ES	1000/1400
EVR-60E-2500-1:26,5	6	JEA/ES	3000/3800

De nya 60E växlarerna är standardväxlarna i Sverige. Jämfört med de gamla växlarerna så är de främst anpassade för att få en lägre LCC än tidigare växeltyper samt att säkerställa att växeltyper får orsaka maximalt max 3 driftstörningar under en livstid. Rälslutningen som är 1:30, är samma som banan vilket är unikt för denna modell jämfört med tidigare och fördelen är att inga övergångsräler behövs. En övergångsräl är en sorts ramp för att undvika urspårning när det är olika vinklar mellan växeln och rälsens lutning. Vid olika rälslutningar krävs en övergångsräl i samma vinkel som växeln, vilket vrider upp rälen så den går samman med växeln. En annan skillnad är att spårvidden har ändrats från 1435 till 1437 mm. Detta för att klara kraven och anpassa banan för höghastighetståg. Det har även placerats gummiplattor under växeln. Dessa kallas USP (Under sleeper pad). USP funktion är att få mindre dynamiska krafter samt mindre buller. Det är även som ett skydd för ballasten, så den inte slits och mals sönder (Persson, 2023).

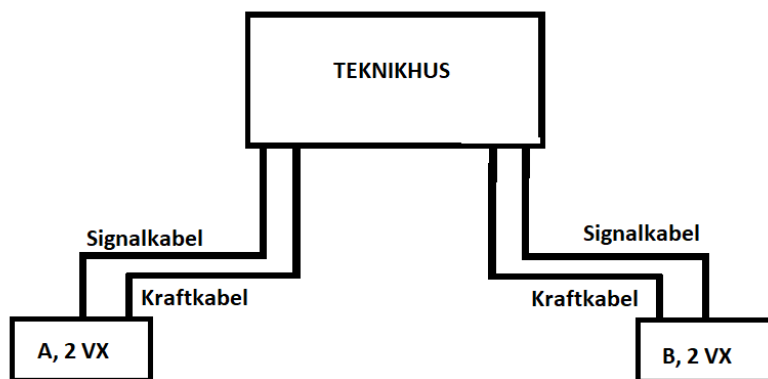
3 Metod

I det här kapitlet redogörs det hur tillvägagångssättet för framtagning av mätdata för de studerade driftplatserna. Detta genom mätdata bestående av flera olika typer av datainsamlade mätningar. Mätningarna är på förbrukning av flera växeldrivsmotorer samtidigt och även mätningar på en enskild växeldrivsmotor via Argus instrumentet. Tekniskt styrande dokument som TRV- INFRA och TDOK har även att studeras. Analysen är en fallstudie där det genomförts intervjuer för att tolka resultaten och samla information av de tekniska mätningarna för att göra kvantitativa ansatser om resultatet (Paulsson, 2020). Intervjuerna som gjorts har ingen specifik påverkan på resultatet utan har endast använts för att tolka resultatet och samla information.

3.1 Stationer som studerats

Exakta mätningar på växeldrivsmotorernas startströmmar och förbrukning har gjorts på driftplatserna. Antal ljussignaler och dess uppskattade förbrukning har sammanställts för att de försörjs av Rectiverter eller UPS systemet. De delar som tas med är ingående delar som systemeten försörjer och det är växeldrivsmotorer och ljussignaler. Detta summeras sedan för att kunna dra slutsatser av förbrukningen och jämföras med det systemet som sitter där idag. Fortsättningen på arbetet innebar att dimensionera och anpassa Rectiverter och UPS-system för de två stationerna baserat på hur elektricitetsförbrukningen ser ut.

För att kunna studera hur dimensionering av Rectiverter och UPS systemet gjorts, krävdes det att göra studier på två olika stationer. De driftplatser som har studerats är befintliga och heter Lina älv och Kirunavaara. Båda driftplatserna tillhör Malmbanan. Gemensamt för de två driftplatserna är att de innehåller fyra växlar, 12 drivmotorer totalt samt att de använder JEA driv på platserna. De båda är lokaliserade i Norra delen av Sverige. De principiella uppbyggnaderna av driftplatserna är lika, men de tekniska systemen är olika. På den norra och södra delen dras kablar ut till de ingående objekten. Kablarna som dras är en signalkabel vars uppgift är att styra signaler och växeldrivskommandon från ställverksutdelen i teknikhuset. Kraftkabeln matar skåpet med avbrottsfri kraft och strömförsörjer de ingående delarna. Uppbyggnaden är enligt *figur 8*, vilken visar en enklare bild på hur teknikhuset är ihopkopplat med signalskåpet och hur växlar (VX) är placerade.



Figur 8, Teknikhusens principiella uppbyggnad kopplade med signalskåp.

Det är skåp A och B som driver signalerna på banan, där driftplatsen Lina älv har mindre signaler på grund av ERTMS systemet. Signalskåpen har inte en lika hög belastning där. Skåpen driver även växeldriven för de totalt fyra växlarna uppdelat på två per signalskåp. I teknikhuset finns ställverksutdelar som styrs av ett ställverk. Ställverket sköter signalerna och växelomläggning.



Figur 9, Lina älvs driftplats under vinterhalvåret Foto: David Larsson, 2021



Figur 10, Kirunavaara driftplats under hösten. Foto: David Larsson, 2012

3.1.1 Station 1

Station 1 är placerad på Lina älvs driftplats. Lina älv ligger vid spårkilometer 1336 och ca 24 kilometer nordväst om Gällivare och är en del av Malmbanan. Driftplatsen har tre spår varav ett är ett kortare sidospår. Det tidigare stationshuset är rivet. Vid Lina älv finns det fyra växlar samt 12 drivmotorer fördelade på två med fyra drivmotorer samt två med två drivmotorer. Växeldrivet är JEA driv, alltså den äldre modellen av driv. Ställverket på driftplatsen är av typen M95. På driftplatsen finns det nya ERTMS systemet som blivit ny standard i Europa. Driftplatsen innehaver idag ett Rectiverter system som matar ställverket. Det innehåller 24 moduler och effekten 36 kVA. Inne i teknikhuset finns ställverket som ska försörja driftplatsens växeldriv och signaler i rött, grönt och vitt men eftersom anläggningen har ett ERTMS system finns det inte lika många signaler då de ersatts av digital kommunikation direkt till en display i tåget. Antal signaler har därför minskat på grund av detta system.

Anledningen till att Lina älv valdes för att det nya ERTMS systemet finns på driftplatsen i en kombination med att Rectiverter systemet driver växeldrivsmotorerna och signalerna. Denna station fick Rectiverter systemet tidigt efter de lanserades vilket gör den platsen intressant. Driftplatsen är även lagom stor sett till antal växlar och växeldrivsmotorer.

Tabell 6, Växeldrivsmotorer och ljussignaler tillhörandes teknikhuset.

Signalskåp	A	B
Växelnummer	432, 434	401, 403
Växeldrivsmotorer	6	6
Ljussignaler	4	4

3.1.2 Station 2

Station 2 finns på Kirunavaara driftplats. Den ligger strax söder om Kiruna och fungerar som både mötesdriftplats och godsbangård. Driftplatsen har tre spår samt fyra växlar. Det är totalt 12 drivmotorer fördelat på fyra drivmotorer per växel för de större växlar och två per växel för de två mindre växlar. Växeldrivet som används är ett JEA driv. Driftplatsen är äldre jämfört med Lina älv och har ett UPS system som kraft försörjer ställverket. UPS systemet är dimensionerat för att klara laster upp till 8 kVA (Nordström, 2023a). Ställverket är av modell M95. Ställverket övervakar och styr ljussignalerna samt växeldriven. På driftplatsen finns det ATC systemet som säkerhetsutrustning. Med ATC som säkerhetssystem medför det att flera signaler kommer att finnas på driftplatsen jämfört med ERTMS.

Anledningen till att valet föll på Kirunavaaras driftplats var för att det finns ett ATC system och UPS system som driver anläggningen. Det ger en bättre bild för att kunna analysera förbrukning och hållbarhet genom att jämföra två olika system. Driftplatsen är i samma storlek som Lina älv och endast de tekniska systemen skiljer dem åt.

Tabell 7, Växeldrivsmotorer och ljussignaler tillhörandes teknikhuset.

Signalskåp	A	B
Växelnummer	704, 705	710, 711
Växeldrivsmotorer	6	6
Ljussignaler	8	8

3.1.3 Tillvägagångssätt för att utföra mätningarna

Mätningarna har gjorts under sommarmånaderna. Årstider har inte någon specifik påverkan på systemen mer än att växeldriven kan behöva marginellt mer ström om växeln frusit fast under vintertid. Det finns även växelvärmes i samtliga växlar vilket minskar risken för detta. Genom att testa att ta bort

moduler från Rectiverter systemet förändras mätvärdena och genom det kommer slutsatser att kunna dras. De storlekar som testats är 3, 6, 12 och 24 moduler. Vid olika antal moduler läggs samtliga växlar om vilket tar ca 3,5 sekunder. Det är då mätningarna görs och resultatet visas. Mätningarna genomförs med mätverktyget Argus som är placerat i teknikhuset för att mäta den spänning, ström och effekt som uppstår vid en växelomläggning. I *figur 11* kan man se ett skåp med Rectiverter moduler samt tillhörande ackumulatörer längst ner.



Figur 11, Ett skåp med Rectiverter moduler och ackumulatörer.

För UPS systemet har det utförts mätningar på dess totala last genom att mäta UPS systemet när samtliga växlar läggs om. Denna typ av mätning är samma princip som för Rectiverter systemet. Mätningar på den utgående kraften till växeldriven gjordes också genom att mäta växeldrivens strömförsörjande kabel vilket är signalkabeln. På så sätt kunde en enskild växeldrivsmotors förbrukning uppskattas. Det gjordes även mätningar på hur stora fördröjningarna var, vilket gjordes genom att mäta en större växel med rörlig tungspets. Växeln hade fyra drivmotorer och genom att mäta enbart en växels

strömbehov visar det när de olika motorerna startar. I *figur 12* visas de tre kablarna som driver en växeldrivsmotor, där en typ av mätningar har gjorts på dessa kablar. Kablarna är de tre som sitter vid den gröna utgången. Dessa utgångar finns i signalkiosken.



Figur 12, Kablarna som driver växeldrivsmotorerna där mätningar gjorts.

3.2 Ekonomisk kalkyl

För att beräkna den totala kostnaden för stationerna under deras livscykel görs en ekonomisk kalkyl. En vanlig metod som används är en livscykel kostnadsanalys (LCC-analys) som beskriver dagens värde på stationernas totala livscykel. En livscykelkostnadsanalys fokuserar på kostnader för investeringar, årliga kostnader, restvärde och skrotkostnader då Lina älv och Kirunavaaras livscykel är över. Inflation tas inte med i beräkningarna. Endast ränta. LCC ska ge en grov bild av de olika systemens kostnad.

3.2.1 Nuvärdefaktor och nuvärdesummefaktor

För att kunna noggrannare uppskatta framtida kostnader och värden på anläggningen görs beräkningar med räntan i beaktning. Nuvärdefaktor är ett sätt att uppskatta en investerings framtida kostnader i dagens värde. Beräkningar används ofta för att få fram värden för en framtida rest- och skrotvärde för en investerings sista period.

Nuvärdesummefaktorn är den sammanräknade nuvärdefaktorn för en viss period. Den används för att beräkna nuvärdet av de årliga kostnaderna under en investeringsperiod. Priserna är hämtade från Trafikverkets materialkatalog

samt uppskattade av erfarna projektörer. Tidsaspekten är 30 år och kablar och kabelskåps räknas inte in då kablarnas nya dimensionering inte har en specifik påverkan på resultatet.

$$\text{Nuvärdesummafaktor} = 1 - \frac{(1+r)^{-n}}{r}$$

Där r är räntan och n står för antal år efter investering.

I detta arbete togs ingen hänsyn till rest- och skrotvärde då dessa kostnader inte fanns tillgängliga.

Livskostnadsanalysen med en bestämd ränta erhålls enligt

Livskostnadsanalys = $I + K \cdot \text{Nuvärdesummafaktor}$ där I är investeringskostnaden; samt K är de årliga kostnaderna.

4 Resultat

Nedan presenteras mätningarnas resultat i form av diagram där man ser spänning, ström och effekt. Resultaten ger en tydlig bild över driftplatsernas förbrukning och dess högst belastade lägen. Mätningarna är olika mellan systemen och det beror på att Rectiveter systemet är uppbyggt på moduler vilket inte UPS systemet är. Uppbyggnaden av moduler möjliggör att enkelt kunna ta bort och mäta igen. Det krävs ett mycket större arbete för att byta ut ett UPS system vilket det inte gjorts i detta arbete.

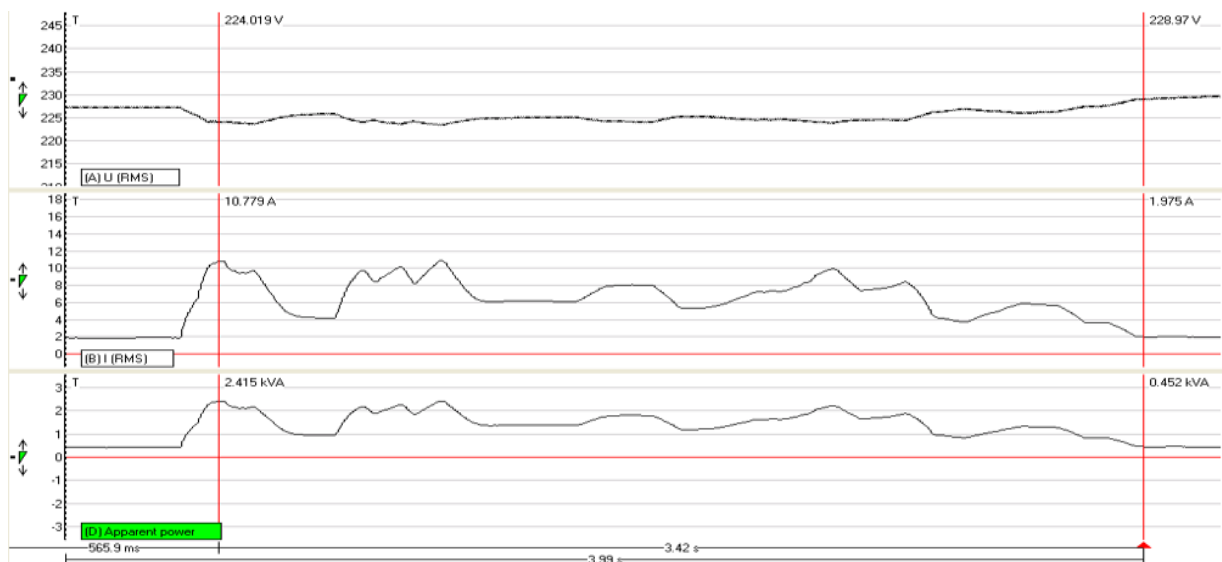
4.1 Lina Älv

I station 1 drivs signalskåpen av en Rectiverter med den skenbara effekten 36 kVA. För att dimensionera Rectiverter systemet beräknas den totala förbrukningen av signalskåpen för de objekt som Rectivertern försörjer. Den största förbrukningskällan är växeldrivsmotorerna. Växeldrivsmotorerna behöver elektricitet vid omläggning av växel. Förbrukningen är svår att veta och därför har studier av mätdata gjorts. Studierna är på Rectiverter systemet som finns på Lina älvs driftplats. Eftersom ljussignalernas förbrukning är minimal sett till växeldrivet har studierna endast gjorts för växeldriven.

4.1.1 Mätvärden med 24 moduler

Enligt *figur 13* som visar mätningarna för det befintliga systemet med 24 moduler och en total 36 kVA. Mätningarna är på de tre olika aspekter spänning, ström och effekt. I mätningen till en början visas de att växlarna ligger i sina lägen. Sedan startar växeldrivsmotorn och växeln läggs om. Den processen kräver en matning från Rectivertern och därför ökar ström och effektdiagrammen. Startströmmen är väldigt hög direkt vilket syns i strömdiagrammet. Den ökade förbrukningen mot slutet handlar om att drivmotorn vill säkra växelns läge om därför matar lite extra. Efter det så går Rectiverten ner till sin normala kraftförsörjning som innefattar belysning. I det översta diagrammet visar de sig att spänningen sjunker när växeldriven används för att sedan ligga på en jämn nivå till den återgår till ursprunglig spänningsnivå.

När drivmotorerna slår till, uppnår strömmen nästan 11 Amperer. Strömmen mäts i det mittersta diagrammet. Det sker en fördröjning mellan den första växeln och de tre andra växlarna, vilket gör att förbrukningen går nedåt en stund sedan ökar för de resterande tre växlarna. Fördröjningen är gjort medvetet, för att undvika en hög strömtopp. Förskjutningen är som *figur 13* visar, väldigt liten och uppskattas vara ungefär 150 ms (millisekund). Fördröjningarna kan vara väldigt små och vara upp emot 150 ms. Det nedersta diagrammet i *figur 13* visar effekten som går åt.



Figur 13, Mätdata från Rectiverter system med 24 moduler.

En annan sak som är spännande att undersöka är att effekten uppnår ungefär 2,5 kVA. Systemets maximala kapacitet ligger på 36 kVA. Signalskåpets ingående delar förbrukar vid maximal drift 33,5 kVA under vad dimensioneringen av systemet klarar av.

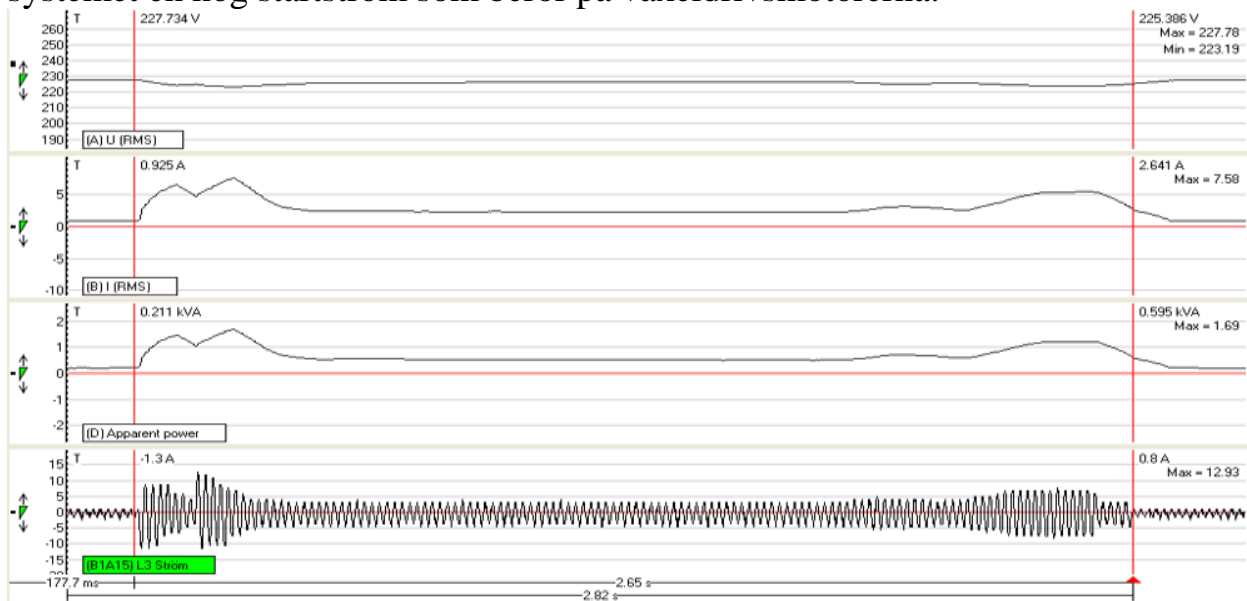
För summera mätresultaten så visar de att Rectiverter systemet är väldigt stort sett till vad signalskåpet förbrukar. Kapaciteter för systemet klarar mycket högre laster än vad de i praktiken utsätts för och höga startströmmar uppstår vid en växelomläggning.

4.1.2 Mätvärden med 12 moduler

För att undersöka vidare tas tio moduler bort från Rectiverter systemet. Detta för att undersöka om storleken passar bättre eller sämre för Lina älvs driftplats.

Rectiverter systemet vid denna undersökning 12 moduler. Detta ger en skenbar effekt på 18 kVA och fyra moduler per fas då det är ett trefasssystem. Hälften av antalet moduler som i grunden finns på driftplatsen plockas bort. Mätningen av spänning, vilket är det översta diagrammet, visar att det är relativt konstant. En sak att lägga märke till är att spänningen minskar från ungefär 228 V ner till 223 V när växeldriven är i användning. Detta är inga problem och systemet klarar av spänningsdippar. När spänningen sjunker så ökar strömmen. Spänningen ska gärna vara på nivåer så att den ligger på ungefär 230 V +/- 10 % för den svenska järnvägen. För detta system ligger nivån på 227,734 volt. Strömmen blir ungefär densamma i mätningen, något större i denna mätning. Strömmen är konstant och det är en hög startström vid omläggning av växlar för systemet. Strömmen har inte heller samma strömpik vid starten som det större systemet, vilket är positivt. Effekten ökar vid starten

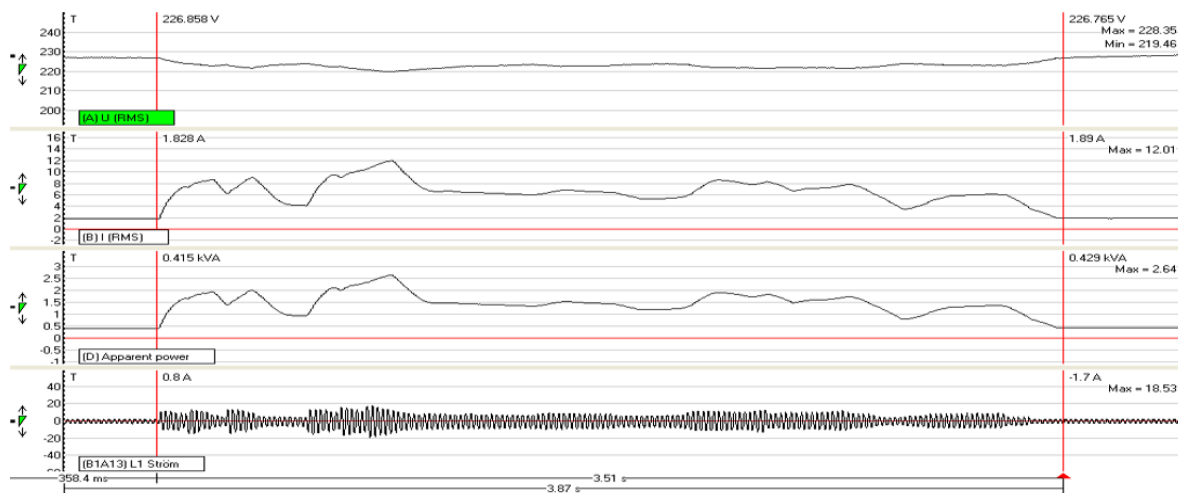
av motorerna från 0,211 kVA till maxvärdet 1,70 kVA. Likt *figur 13* så har systemet en hög startström som beror på växeldrivsmotorerna.



Figur 14, Mätdata från Rectivertersystem med 12 moduler

4.1.3 Mätvärden med 6 moduler

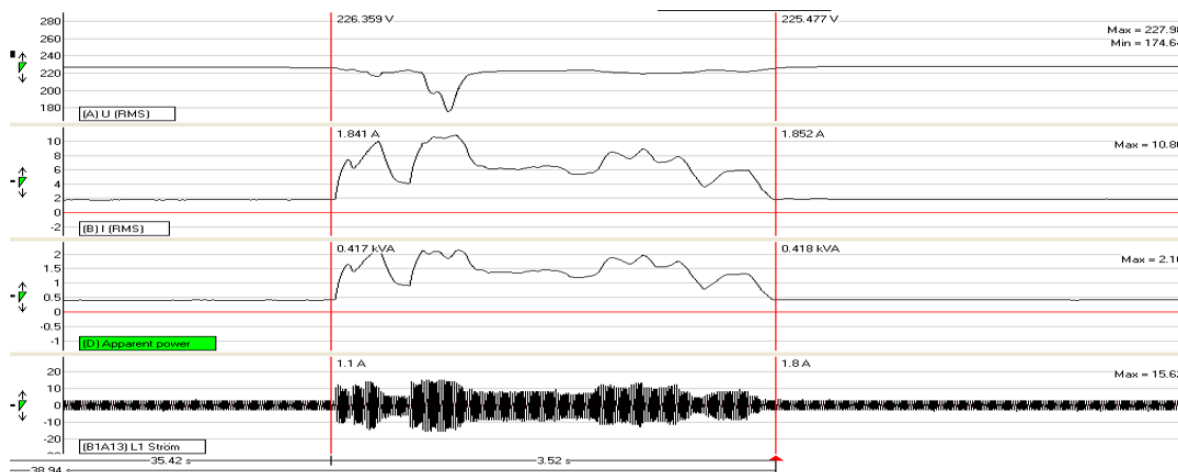
Med 6 moduler och en skenbar effekt på 9 kVA kan man se att systemets spänning börjar bli mera ostabil och rör sig från 228,35 ner till 129,46 V. Spänningen bör vara stabilare för att systemet ska kunna klara av lasterna. Strömmen uppnår ett toppvärde på ungefär 12 ampere. Strömmen har en inverkan på spänningen, vilket visas i den andra mätningen uppifrån att när strömtoppen nås, är spänningen som lägst. Detta sker vid starten och beror på att växeldrivsmotorernas kräver mycket ström vid omläggning av växel. Fördröjningar finns även i detta system, vilket visas i ström och effektdiagrammen. Topparna i början av mätningen är strömtoppar och sedan ett kort uppehåll i ungefär 150 millisekunder för att avlasta systemet och inte få en högre högsta ström. En växelomläggning tar ungefär fyra sekunder totalt. Den högsta skenbara effekten uppnår 2,64 kVA och strömdiagrammen är väldigt lika gällande kurvor, men med olika värden på y-axeln. Diagrammet lägst ner visar vart frekvensen är högst, alltså vid starten av drivmotorerna. Systemet får hantera höga strömmar vid starten samt låga spänningsnivåer vilket är svårt för dessa system.



Figur 15, Mätdata från rectivertersystem med 6 moduler

4.1.4 Mätvärden med 3 moduler

I ett system med 3 moduler och totalt 4,5 kVA så brister systemet och lasterna blir för stora. I det första diagrammet kan man se att spänningen är på en lägsta nivå på 174,64 kVA och en högsta nivå på 227,90 kVA. Systemet klarar inte att hålla spänningsnivån uppe och den dippar mer än 10%. De höga strömmarna är en anledning till att spänningsnivån är lägre och det är i starten när växlarna läggs om det blir ett kritiskt läge för systemet. Strömmens toppnivå hålls nere genom att det finns en fördröjning. Utan fördröjning skulle systemet uppnått ännu högre ström nivåer och spänningsnivåer som blivit ännu lägre vilket hade orsakat driftstörningar. Effekten förändras från 0,417 till 2,16 kVA. Frekvensen för strömmen blir väldigt hög under de 3,5 sekunderna växelmotorerna lägger om växlarna. En annan sak diagrammen visar är att strömmen och effekten följer varandra men att spänningen vid dippen påverkar skenbara effekten mer jämfört med strömmen. I den skenbara effekten går upp sedan ner för att öka igen och där är det ett hack i kurvan vilket inte strömmen har. Detta är något som bara denna mätning har visat. Alltså har spänningen en påverkan på den skenbara effekten vid låga nivåer. Sedan tidigare har det visat sig att strömmen har en påverkan på spänningen.



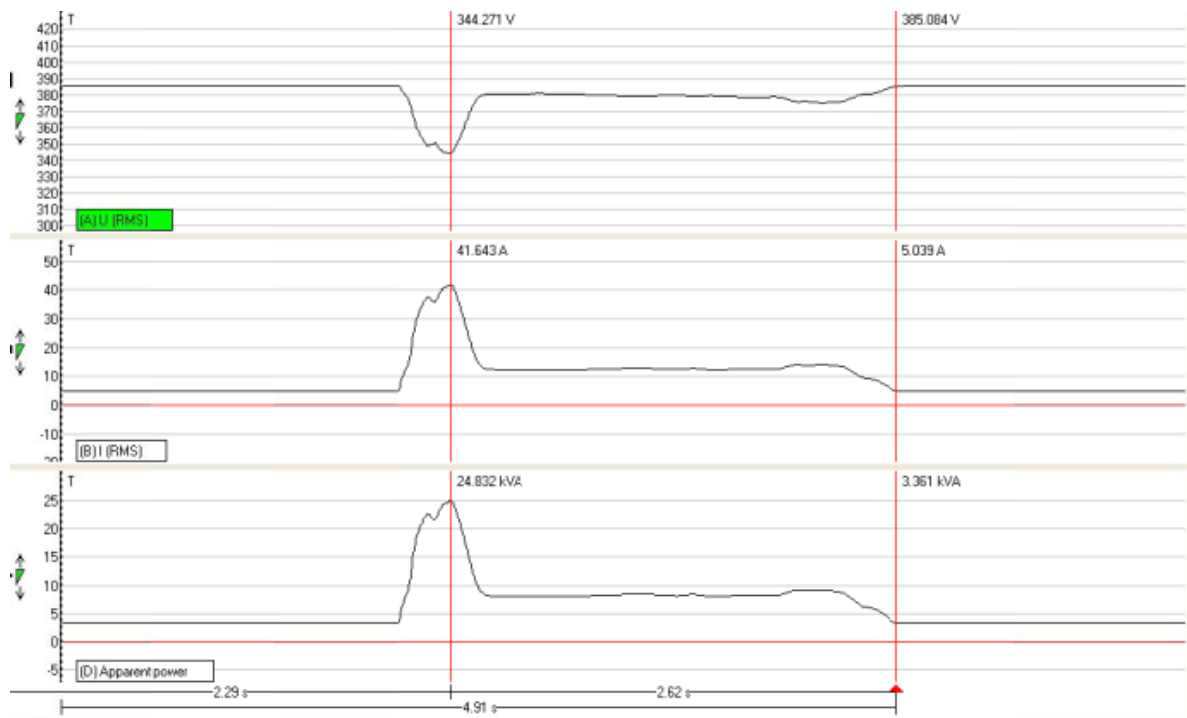
Figur 16, Mätdata från Rectivertersystem med 3 moduler

4.2 Kirunavaara

I station 2 drivs signalskåpen av en UPS med den skenbara effekten 8 kVA. För att dimensionera UPS systemet undersöks förbrukningen av signalskåpen. Den största lasten är växeldrivet. Växeldrivsmotorerna behöver energi vid omläggning av växel. Förbrukningen är svår att veta och därför har studier av mätdata gjorts. Eftersom ljussignalernas förbrukning är minimal sett till växeldrivsmotorernas, så har mätningarna endast gjorts på omläggningar av växlar.

4.2.1 Mätvärden på UPS

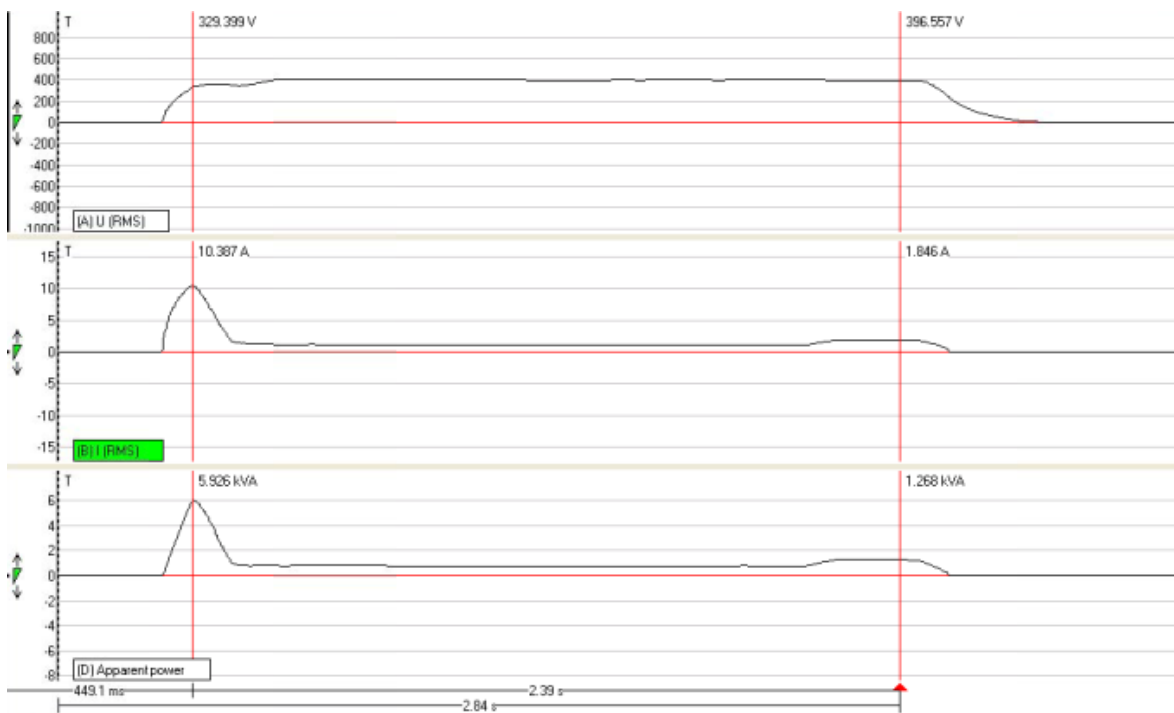
Detta resultat är en total mätning av lasten UPS systemet på 8 kVA hanterar. Spänningen har en rejäl dipp från 385,084 till 344,271 kVA. Denna dipp är ovanligt stor och det beror på att strömmen har ett högt toppvärde. Detta grundas i att det uppstår ett stort strömbehov när växeldrivsmotorerna startar. Spänningen ska gärna hållas så konstant som möjligt. Det sker en förskjutning för de två drivmotorerna, vilket visas vid toppen av strömmen att det finns ett hack. Fördröjningen sker i 150 millisekunder och sedan hoppar de två andra växeldrivsmotorerna igång. Utan fördröjningen hade strömmen blivit ännu större och nå värden uppemot 50 ampere. Nu går strömmen från 5 ampere upp till 42,6 ampere. Effekten når en toppnivå på 24,832 kVA. Detta går att jämföra med den projekterade kapaciteten på 8 kVA. Alltså är nivåerna mer än tre gånger så stora. Nivåerna för effekten när växeldrivsmotorerna inte används ligger på ungefär 3,5 kVA. Denna last är för hög för det projekterade systemet trots att användande av förskjutningar mellan drivmotorerna finns. Anledningen till att skenbara effekten och strömmen inte går tillbaka till ursprungliga nivåer efter att toppvärdet noterats är för att växeldrivsmotorerna säkrar växeln och ser till att den ligger i rätt läge innan de stänger av. Den lilla ökningen på slutet beror på att den ger växeln en extra knuff för att säkerställa dess läge.



Figur 17, Växelläggning för driftplatsen i Kirunavaara

4.2.2 Effekt för en växeldrivsmotor

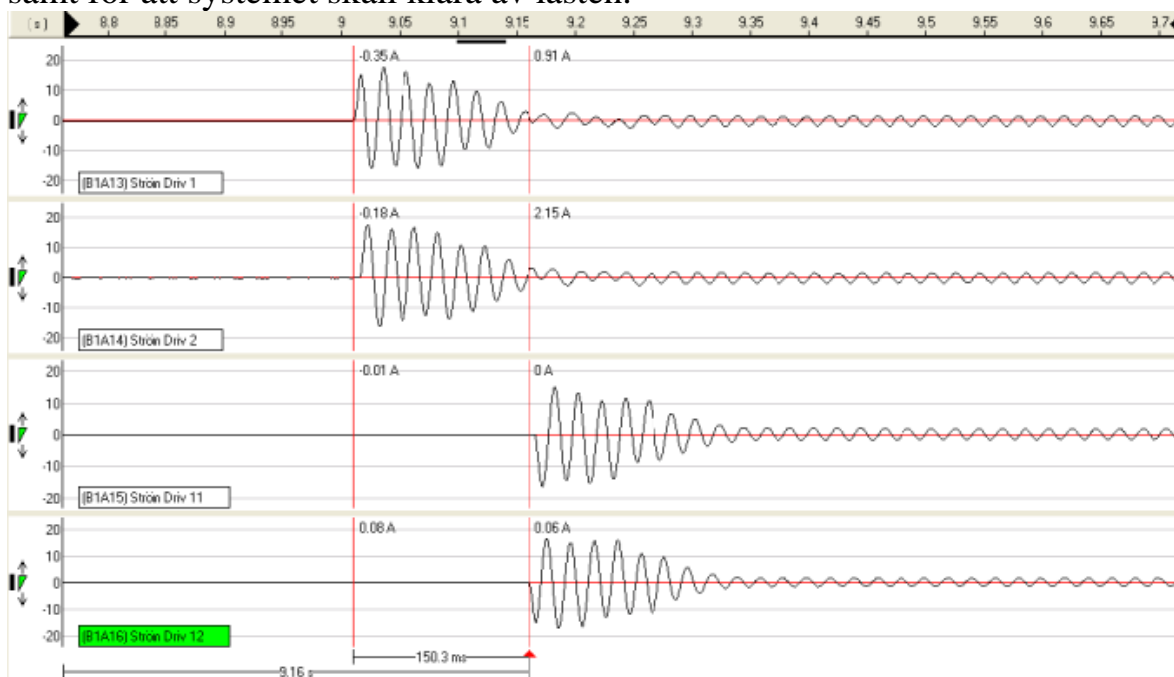
Mätningar på en enskild växeldrivsmotor har gjorts, vilket betyder att resultaten endast inkluderar en växeldrivsmotor. Det finns totalt 12 drivmotorer i anläggningen. Mätningen är gjord på en ställverksutdel, vilket är en komponent som är ansluten till ordinarie ställverket men bevakar och styr en liten del av driftplatsen. Värdena är noll fram tills att motorn startar. Där uppstår en hög startström. Starteffekten för en motor är ungefär 200 millisekunder med ett toppvärde på 6 kVA och 8,7 A/fas. Totalt går motorn i cirka 2,6 sekunder med en normal belastning på 0,8 kVA. I slutet av tiden när växeln går in i ett läge börjar motorn att slira för att säkerställa att växeln är i rätt läge och låst. Effekten stiger då till 1,3 kVA och har en ström på 1,9A/fas. Startförloppet för en asynkron 3-fasdrivmotor ger då cirka 6–8 gånger mer effekt än under normaldrift. Motorerna är programmerade att gå två och två i en stor växel med rörlig tunga. I allmänhet är det de höga startströmmarna under de korta perioderna mest kritiska laster för systemet. En enskild startmotors effekt ligger på 5,926 kVA. Detta går att jämföra med de dimensionerade systemet på 8 kVA för alla drivmotorer och att detta bara är mätningar på en drivmotor, för att få fram ett mer korrekt värde för hela systemet skulle man multiplicera ovanstående värden med 12 då det finns så många växeldrivsmotorer totalt.



Figur 18, Mätvärden för en enskild växelrdrivsmotor

4.2.3 Mätvärden 4 drivmotorer

Här har mätningar gjorts på en större växel med rörlig tunga. Växeln har fyra drivmotorer. Mätningen illustrerar hur drivmotor 1 och 2 först startar. Efter 150 millisekunder startar sedan motor 11 och 12. Detta kan man tydligt se i de tidigare mätningarna på UPS systemet enligt figur 19. Växelrdrivsmotorerna jobbar parvis två och två. Funktionen är att hålla nere strömnivåerna. Dessa ska hållas så små som möjligt då strömmen har en påverkan på spänningen samt för att systemet skall klara av lasten.



Figur 19, Fördryningar mellan de 4 växelrdrivsmotorerna

4.3 Ekonomi

Den ekonomiska aspekten är av stor betydelse vid byggande av järnväg. Nedan jämförs de två olika systemen gällande aspekterna investering, anläggnings och underhållskostnader. Detta är av betydelse då felaktiga dimensioneringar och val av system kan få stora ekonomiska konsekvenser över tid. För att få ett bättre perspektiv har analysen gjorts över 30 år och resultaten är en sammanställning av en enklare variant av LCC (Life Cycle Cost). Nedan redogörs för det resultat av driftplatsernas ekonomiska aspekter som har uppskattas.

4.3.1 UPS investering och underhåll

UPS systemets investerings och underhållskostnader har tagits fram och visas i *tabell 8*. De stora utgifterna systemet har är dess nätomkopplingsautomatik som måste köpas till underhållskostnader för ackumulatorerna över tid. Systemet har idag 28 block.

Tabell 8, Investeringar och underhållskostnader för UPS systemet

Objekt	Kostnad
UPS 15 kVA	99 820 kr
UPS 8 kVA	35 000 kr
Nätomkopplingsautomatik	100 000 kr/st
Byte av ackumulatorer	7500 kr/block
Underhåll UPS	5000 kr/år
Större underhåll UPS	15 000 kr/ 6:e år

Vid beräkningar av LCC har en kalkylränta på 6 % valts då den är mest relevant för Sveriges ekonomiska situation idag. Med den valda räntesatsen blir nuvärdesummafaktorn 13,764. Vidare ger det en total underhållssumma för UPS systemet enligt *tabell 9*. För driftplatsen i Kirunavaara finns det en batteristav med UPS= 28 block och 12V vilket ger en total spänning på 36 V i en sträng så 336 V och 100 Ah. Märket är PowerSafe och modellen 12V100FC som har 100 Ah. Blockens pris ligger på 7500 kr per block för de som har en total kapacitet på 100 amperetimmar.

Underhållskostnaderna för UPS systemet sker var 8:e år då ett utbyte av ackumulatorer sker.

Tabell 9, Underhållskostnader för ett UPS system

Underhållsobjekt	Kostnad	Kostnad (30 år)
Underhåll litet UPS	5000	68 820
Underhåll stort UPS	15 000	75 000
Byte av ackumulatorer	210 000	630 000
Summa		773 820

4.3.2 Rectiverter investering och underhåll

För ett Rectiverter system ser investerings och underhållskostnaderna lite annorlunda ut. Det systemet behöver ingen nätomkopplingsautomatik och det sker inte lika många underhållsarbeten för att modulerna byts ut helt. Modulernas livslängd är 15 år och behöver därefter bytas ut. Priserna visas enligt *tabell 10*.

Tabell 10, Investerings och underhållskostnader för Rectiverterssystemet

Objekt	Kostnad
Rectiverter	7500 kr/modul
Utbyte av moduler	5800 kr/modul
Byte av ackumulator	7500 kr/block

Nedan enligt *tabell 11* har de vanligaste kombinationerna av antal moduler sammanställts och jämförts mot varandra. Priset är beroende av antal moduler och ju fler antal moduler systemet har desto större laster kommer kunna hanteras. De antal moduler som finns idag på driftplatsen är 24.

Tabell 11, Sammanställning av några olika Rectiverter system och dess investerings och underhållskostnad

Objekt	Investeringskostnad	Underhållskostnad (30 år)
Rectiverter 6 moduler	45 000	69 600
Rectiverter 12 moduler	90 000	139 200
Rectiverter 24 moduler	180 000	278 400

Byte av ackumulatorer sker var 15:e år. Ackumulatorernas kapacitet avtar med tiden och dess livslängd beror på vilket material som används. På Lina älv finns det 8 block som har en spänning på 12V och 100 Ah uppdelade i 2 strängar, dvs 4 och 4 som då blir 48V, 200 Ah totalt vilket ger en batteribackuptid på minst 30 minuter. Enligt *tabell 12* uppskattas driftplatsens antal block, amperetimmar och kostnader. Blockens pris ligger på 7500 kr per block för de som har en total kapacitet på 100 amperetimmar. Underhållskostnaderna för Rectiverter systemet sker var 15:e år och den totala kostnaden för ett byte av en enskild ackumulator är 7500 kr. Den totala kostnaden för en 30 årsperiod blir 120 000 kronor för investerings och underhållskostnader för ackumulatorer.

Tabell 12, Sammanställning av investerings och underhållskostnaderna för ackumulatorer

Objekt	Investeringskostnad	Underhållskostnad (30 år)
Blyackumulatorer	60 000	60 000

5 Diskussion

Syftet med studien har varit att studera två olika anläggningar och dess lågspänningsanläggningar för att undersöka vilka potentiella besparingar inom elektricitet och ekonomi som går att göra vid en korrekt dimensionering. Studien har främst riktat in sig på dimensioneringen av UPS och Rectiverter systemen som finns och hur dessa anläggningar kan optimeras och göras energieffektivare genom olika lösningar. En ekonomisk redogörelse har även gjorts för att kunna jämföra de två systemen gällande investerings-, anläggnings- och underhållskostnader över 30 års tid, vilket kan användas för framtida projekteringsarbeten.

5.1 Resultatdiskussion

Vid dimensionering av anläggningarna är det viktigt att tänka på att systemet har vissa uppgifter. En viktig del är att systemet ska klara av att lösa ut säkringar. Det sitter säkringar efter Rectiverter och UPS systemet. Dessa säkringar sitter ute i anläggningens delar som till exempel signalskåpen. För att kunna lösa ut en säkring, måste den kunna driva en hög ström. Det är därför det är viktigt att inte bara projekterat för att systemet skall fungera i normaldrift. Detta är en anledning till att systemen till viss del är större än nödvändigt för normaldrift. En överdimensionering ger även en större redundans i anläggningen (Nordström, 2023b). Med det menas att systemet har en driftsäkerhet om någon av modulerna skulle gå sönder och då undvika att förlora ström. Det finns alltså fördelar med att överdimensionera sett till anläggningens driftsäkerhet.

Resultaten för Rectiverter systemet visar att systemet är överdimensionerat med ett 36 kVA system. Vid mätningar av de andra storlekarna börjar spänningen att vara ostabil vilket är ett tecken på att systemet har för stora laster. De främsta orsakerna till att spänningen och strömmen blir ostabila beror av de höga startströmmar som uppstår. Problem med höga startströmmar och strömtoppar som påverkar spänningen är ett problem som funnits sedan tidigare och inte är något som enbart denna rapport tagit upp (Lulic, 2022). Konsekvenserna av att dimensionera på gränsen av systemets kapacitet är att hela anläggningen kommer att bli känslig för fel och riskerna för driftstörningar ökar. Därför måste viss överdimensionering finnas.

Resultatet för UPS mätningarna tyder på att systemet är kraftigt underdimensionerat. Driftstörningar kommer att ske med den valda storleken av UPS då den är ungefär tre gånger för liten sett till enbart effektnivåerna. UPS systemet går i intern bypass läge och varnar när de överskrider sin kapacitet. Enligt Eatons (UPS fabrikan) data så kan UPS systemen överlastas 150% av sin dimensionerade storlek i upp till 300 ms (Eaton, 2023).

Mätningarna visar att lasten överskrider dessa parametrar både i effekt och tid. Vid upprepade överlastar och höga startströmmar av UPS eller för stora effektuttag så stänger UPS systemet av sig självt och måste då startas manuellt. Vid växel 704 och 705 finns det intern fördröjning i varje växel mellan två motorer men för växel 710 och 711 som ligger på samma kraftenhet finns det ingen intern fördröjning vilket innebär att den kraftenheten ska klara startströmmar från fyra växeldrivmotorer samtidigt. Detta leder till en kritisk punkt och systemet får då problem med hantering av växlar och även driftsäkerheten.

Utifrån resultaten av ovanstående mätningar borde Rectiverter systemet minska antal moduler från 24 till 12. Detta skulle minska den totala effekten från 36 kVA till 18 kVA. Strömmen och effektens toppnivåer uppnår 12,93 A och effekten uppnår 1,69 kVA vid den storleken. Spänningens nivåer ligger på stabila och konstanta värden och anläggningen har en bra redundans. Startströmmarna är fortsatt höga men systemet klarar av att hantera dem utan driftstörningar. Ekonomiskt så minskas investerings och underhållskostnader samt det tillhörande ortsnätsabonnemangets storlek.

UPS systemets mätningar visar att det är kraftigt underdimensionerat. Detta kan upptäckas i mätningar där spänningsnivåerna varierar mer än 10% vilket tyder på en ostabilitet i systemet vid höga strömtoppar. En lämplig storlek för driftplatsen skulle vara 15 kVA. En alternativ lösning hade även kunnat vara att implementera ett Rectiverter system med kapacitet 18 kVA även på denna driftplats. Detta för att arbeta vidare med nya standarden som Trafikverket bestämt. Detta skulle öka investeringskostnaderna men leda till ett driftsäkert system med en bra redundans. Över tid skulle detta vara en gynnsamt ekonomiskt sett till vad förseningar kostar.

Likt Rectiverter systemet så uppstår det höga startströmmar i anläggningen. Gemensamt för det båda systemen för att minska den belastningen är en motormjukstartare en lösning som skulle generera en jämnare belastning och minska strömmens toppvärde. En motormjukstartare har använts vid andra elanläggningar, då inom solceller. Problemet som fanns då var höga strömmar när motorerna startade. Detta hade då en positiv inverkan för jämnare strömnivåer och minskade anläggningens förbrukning (Landenstad & Rokka, 2020).

5.2 Metoddiskussion

Metoden som användes fungerade bra då det visar tydliga och varierade resultat beroende på antal moduler. Genom att flera mätningar genomfördes så finns det skillnader i mätningarnas resultat, vilket gör det tydligt att se och enklare att dra slutsatser om avvikelser i resultatet. För UPS systemet

genomfördes det olika mätningar på endast en enskild växeldrivsmotor och även på alla växeldrivsmotorer i anläggningen samtidigt. Genom det kan värdera sättas i relation till varandra. Genom att mäta växelomläggningar visas viktiga delar som fördröjningar mellan motorerna för att kunna dra slutsatser. Den största fördelen med denna metod var att precisa mätresultat kunde presenteras för ström, spänning och effekt.

För att uppskatta kostnader användes en nuvärdessummafaktor vilket uppskattar vad kostnaderna och värdet av anläggningen är om 30 år. Det har en betydelse för hållbarheten över tid, där anläggningarnas värde och kostnader bör vara effektiva över tid inte bara närmsta åren. Resultatet blev rimligt och väntat och metoden kan därför anses vara användbar.

Svagheten med metoden är att instrumenten som används är dyra. En annan svaghet är att Rectiverter och UPS systemen är olika uppbyggda, då Rectiverter bygger på olika antal moduler och UPS är en enskild modul bara. Om systemens uppbyggnad hade varit mer lika så hade mer slutsatser kunna dragits om driftplatserna som tillexempel skillnader i anläggningens växeldrivsmotorer. Hade förbrukningen varit högre på en driftplats kunde slutsatsen varit att växeln går tyngre att lägga om. En sak som man kunnat göra skulle vara att mäta övriga delar i anläggningen för att analysera vidare. Det hade inneburit betydligt mer data, men gett mer detaljerad kunskap för hela anläggningen och inte bara för lågspänning. En annan sak värt att notera är att insamling av information varit svårt att hitta inom området och många tidigare examensarbeten har använts. I övrigt var metoden effektiv och samtliga belastningar kunde mätas. Vid analyser av mätdata och förbrukning skulle denna metod rekommenderas.

6 Åtgärdsförslag

Driftplatserna har sina brister och i detta kapitel tas möjliga och rekommenderade åtgärder upp för de två studerade driftplatserna. De generella åtgärdsförslagen är åtgärder som är möjliga att använd sig av och potentiella lösningar i nutid eller för framtida problem.

6.1 Generella åtgärdsförslag

Eftersom resultatet från mätningar visar på höga startströmar vid omläggning av växlar skulle en åtgärd för att minska startströmmarna vara en motormjukstartare. Detta för att undvika den höga strömtoppen som blir när växeldrivmotorena startar. Den elektroniska mjukstartaren fungerar genom att den ökar upp spänningen till fullt under en period på någon eller några sekunder. Detta reducerar växeldrivmotorns startström. Mjukstartarna är uppbyggda på asynkrona växelströmsmotorer. Den kan monteras på gränssnittsplåten efter utdelsskåpet på den utgående motorkabeln. Lösningen har en låg investeringskostnad. Ett exempel på en rimlig modell för järnvägen är Carlos Gavazzi RSE4012-B (Nordström, 2023b). En uppskattning är att motormjukstartaren minskar startströmmarna med 3 gånger av den nominella strömmen. Detta gör att strömnivåerna hålls konstanta och på en jämnare nivå så att systemet inte utsätts för samma höga belastning, vilket gör att mindre system kan användas och det sparas material och minskar utgifterna.

En annan likande lösning är effektmotstånd och en kontaktor som byglar över motstånden efter någon halvannan sekund just när drivmotorn startat. På de sättet hålls strömnivåerna jämnare och systemen behöver inte hantera samma höga startströmmar som blir när växeldrivmotorena startar. Detta genom att spänningen sänks över motståndet en kort stund så hinner motorn komma upp i rätt varvantal. När motorn är uppe på fulla varv läggs sedan full spänning på. Genom detta minskas startströmmarna.

Ett annat sätt att hantera startströmmarna är att ackumulatorer hjälper till att hantera de piken som blir när drivmotorn startar. Detta minskar inte startströmmarna men är ett sätt att hantera dem och minska belastningen på systemet. Fördelen med denna lösning är att system med mindre kapacitet kan användas vilket leder till mindre investeringskostnader. För denna lösning krävs större ackumulatorer än de som projekteras idag som standard. Detta kan innebära en högre utgift sett till underhålls och investeringskostnader. Ackumulatorerna ska då skjuta in ström vid en växelomläggning med höga strömnivåer och systemet ska kopplas bort helt eller delvis. Detta förslag kräver alltså en programuppdatering på systemen samt ett byte av ackumulatorer.

För att visa mer konkret hur detta kan användas och potentiella åtgärder så beskrivs det mer ingående i avsnitt 6.2 för de två studerade driftplatserna.

6.2 De två studerade driftplatserna

Nedan följer konkreta förändringsmöjligheter för de två studerade anläggningarna. Dessa åtgärder har getts för att utforma driftplatsernas lågspänningsanläggning mer hållbart sett till elförbrukning och ekonomisk kostnad. Dessa åtgärder skulle kunna ses som ett stöd vid projektering av mindre driftplatser med liknande förutsättningar.

6.2.1 Lina Älv

Åtgärdsförslagen som finns för Rectiverter systemet är att använda mindre antal moduler. Idag finns det 24 moduler och 36 kVA vilket är väldigt stort sett till vad effekten och strömmarna uppnår för nivåer. För att spara på utrustning och pengar kan systemet dimensioneras med ett system som innehåller 12 moduler och 18 kVA. Detta möjliggör att systemet klarar av strömmar över 21A/fas vid normal drift och strömmar som är 31A kortvarigt. En motormjukstartare reducerar motorns startström och bör användas. Motormjukstartaren har en stor funktion i att minska startströmmarna för olika system. Det finns tydliga fördröjningar enligt mätningarna vilket är en bidragande faktor till att strömmarna hålls nere. Ju lägre strömmar per fas desto mindre antal moduler kommer att behövas. De systemet som finns idag fungerar även att behålla, men enligt avsnitt 6.3 kommer det att innebära ekonomiska konsekvenser då investerings och underhållskostnaderna blir större med ett större system. Även det tillhörande ortsnätsabonnemanget blir större än nödvändigt vilket kostar mer pengar. Mindre antal moduler än 12 är inte ett alternativ då systemet inte klarar av att lösa ut säkringar samt att redundansen minskar i anläggningen. Då minskar driftsäkerheten. Med ett för stort system så kommer aldrig systemet att nyttjas fullt ut. På en driftsplats med 12 växeldrivsmotorer och fyra växlar behövs det inte större system än 18 kVA. Från mätningarna i resultatdelen bör även systemen anpassas så att de klarar av strömtopparna och ytterligare ungefär 15 kVA för att fortsatt ha redundans i anläggningen och kunna lösa ut säkringar. Detta kommer minska potentiella driftstörningar.

6.2.2 Kirunavaara

Åtgärdsförslagen som finns för UPS systemet är att utforska möjligheten att programmera in tidsförskjutning mellan drivmotorernas starter i olika växlar. När tågvägar läggs och flera växlar går samtidigt uppstår stora strömmar i startförloppet. Detta bör undvikas och en tidsfördröjning på minst 400 ms mellan varje växel så att ingen startar samtidigt är önskvärt. Utöver det behövs en uppdatering av UPS systemet. Den uppdateringen på UPS enheten

möjliggör att hantera laster till 15 kVA:s kapacitet. Systemet idag klarar 8 kVA. Detta möjliggör att systemet klarar av 21 A/fas vid normal drift och upp till 31 A kortvarigt (300 ms). För att följa Trafikverkets nya standarder samt modernisera anläggningen hade ett Rectiverter system av storleken 12 moduler kunnat implementeras eller övervägts. Arbetskostnaderna ökar för att byta ett system men driftskostnaderna blir billigare över tid.

Motormjukstartare reducerar motorns startström och bör användas.

Motormjukstartaren har en stor funktion i att minska startströmmarna för olika system. I en annan undersökning projekterades elkraftsystem och även där behövdes motormjukstartare för att undvika startströmmarna för att optimera systemet (Lulic, 2022). Utöver detta måste UPS anpassas efter varje utdelarkiosk beroende på antal växeldriv. Detta betyder att UPS storleken kan variera mellan olika kiosker men blir alltid kraftigt överdimensionerad mot normala lasten. En annan lösning om andra alternativ inte finns är att enkelt ersätta den befintliga UPS med en större variant. Ett införande av motormjukstartaren skulle behöva godkännas av Trafikverket enligt deras regelverk. Ett annat åtgärdsförslag är att fördela om ljussignalerna till närmsta utdelare. För att modernisera anläggningen med den senaste tekniken skulle man kunna byta ut UPS systemet mot en Rectiverter med förslagsvis 12 moduler och en total effekt på 18 kVA.

6.3 Ekonomi

Den ekonomiska aspekten på en anläggning har en betydande roll för hur anläggningen projekteras. Både material som själva systemet och tillhörande delar, och underhåll kostar pengar. Detta gör att valet av system och dess storlek har en stor betydelse för kostnaden på anläggningen. Enligt resultaten ovan så tyder det på att Rectiverter systemet är mycket billigare att använda sig av vid en nybyggnation sett till kostnaderna för investering och underhåll som tillkommer över en 30-årsperiod. Även det tillhörande ortsnätsabonnemanget har en ekonomisk påverkan då dessa abonnemang styrs av systemets storlek.

6.3.1 Befintliga anläggningar

Den ekonomiska aspekten skiljer de olika systemen åt. Det framgår att Rectiverter systemet kräver mindre underhåll och behöver mindre antal ackumulatörer. Den utgiften som gör att priset skiljer sig mest är bytet av ackumulatörer då UPS stationen har 28 ackumulatörer och Rectiverter har 8. En sak värt att notera är att systemens storlek är olika, vilket har en påverkan på investeringskostnader och underhållskostnader. Idag på driftplatserna finns det ett UPS system som har en låg kapacitet och det motsvarande systemet på den andra driftplatsen är ett Rectiverter system som har en hög kapacitet. Med

det i åtanke har en jämförelse gjorts mellan systemens befintliga storlekar enligt *tabell 13* som visar systemens kostnader över 30 år.

Tabell 13, Anläggningarnas kostnader över 30 år.

System	Kostnad (30 år)
UPS-8 kVA	908 820 kr
Rectiverter- 36 kVA	578 400 kr

6.3.2 Potentiella besparingar på studerade platser

Dimensioneringen på driftplatserna är inte fullt optimal med ett system som är för stort och ett system som är för litet. Enligt *tabell 14* har en jämförelse mellan systemen gjorts, där kapacitetens storlek är liknande stora. Detta för att undersöka skillnader i pris mellan relativt jämnstora system. Beräkningar visar att UPS systemet kostar över tid mycket mera pengar. För Rectiverter systemet kan det sparas in stora summor pengar på att dimensionera ett mindre system. De skiljer nästan 230 000 kr över 30 år på grund av felaktig dimensionering. UPS systemet var för litet och en uppdatering av systemet skulle behöva göras. Denna uppdatering skulle över 30 år kosta ungefär 65 000. Skillnaden i priset över en 30 års period är inte speciellt stor, men driftstörningarna kostar varje år Trafikverket stora summor pengar. Enligt WSP Sverige (2019) så kostar förseningar beroende på bristande infrastruktur Trafikverket summor upp emot 1, 25 miljarder varje år. Det framkommer även att förseningar och driftstörningar har en negativ påverkan på de samhällsekonomiska kalkylvärdena för infrastruktur. För små system kan alltså ha stora konsekvenser över tid, både ekonomiskt och driftmässigt.

Tabell 14, Anläggningarnas kostnader med anpassade storlekar på system.

System	Kostnad (30 år)
UPS-15 kVA	973 640 kr
Rectiverter- 18 kVA	349 200 kr

6.3.3 Ortsnätsabonnemang

Trafikverket upphandlar drivmotorström med hjälp av en portföljförvaltare och elen köps in till spotpris, timme för timme. Förutom det, köper Trafikverket även finansiella prissäkringskontrakt för att låsa priset och dämpa prisvariationerna över åren och även under innevarande år. Dessa prissäkringar tecknas upp till fem år i förväg och Trafikverket köper då cirka 20 procent av sin årsförbrukning från år ett till fyra framåt i tiden. Trafikverket debiterar, i enlighet med Järnvägsnätsbeskrivningen, drivmotorström per timme och prisområde för de fordon som har Trafikverkets elmätare (Trafikverket, 2023). Kostnaderna för ortsnätsabonnemanget beror på vilken typ av system som finns på driftplatsen samt vilken storlek systemet har. Ett större system kräver mera el och därmed ett större ortsnätsabonnemang. Enligt TDOK 2018:0198 är det storleken på huvudsäkringen som ska väljas utifrån elektricitetsbehovet som finns i anläggningen. En för hög säkring medför onödigt höga fasta avgifter. Säkringen bedöms utifrån huvudsäkringens storlek i Ampere (A), elanvändning i kilowattimmar (kWh), uttagen maxeffekt i vissa fall och skatter och myndighetsavgifter (Trafikverket, 2022).

I Lina älv har det dimensionerats ett system med kapaciteten 36 kVA och enligt resultatdelen är de uppmätta effektnivåerna endast 2,5 kVA. Systemet är överdimensionerat liksom det tillhörande ortsnätsabonnemanget.

Ortsnätsabonnemanget kostar olika beroende på systemets storlek, där en säkrings storlek styr vilket abonnemang det blir. För ett stort system som Rectiverter systemet med 36 kVA blir den totala kostnaden för ett år 26 772 kr då abonnemanget behöver 63 A. Skulle det istället projekteras ett system med 18 kVA och haft ett abonnemang på 35 A skulle kostnaden för ett år blivit 14 340 kr. Det betyder att ungefär 12 000 kr går till el som går till ett system som inte används fullt ut. Ur ett 30 års perspektiv landar slutsiffran på närmare 360 000 kr för en felaktig dimensionering. För Kirunavaara är systemet underdimensionerat med ett 16 A abonnemang som kostar ungefär 6200 kr. Med ett UPS system som har kapaciteten 15 kVA skulle motsvarande summa ligga på 10 000 kr. Priserna på el som använts för beräkningarna är hämtade från Eon (Eon, 2022), vilket är det företag Trafikverket handlar mest el av (Wiberg, 2023). Dessa pengar skulle kunna läggas på andra delar i anläggningen alternativt investeras i andra delar av samhällets infrastruktur.

7 Slutsatser

Det är i allas intresse att arbeta hållbart och ekonomiskt och denna rapport visar tydliga siffror på hur anläggningarnas kostnader påverkas av de systemval som görs. Slutsatserna av arbetet är att det finns saker att ändra på de studerade platserna för att optimera driftplatserna utifrån förbrukning av el och spara pengar för både investering och underhåll. Kirunavaaras felaktiga dimensionering leder till att problem med driftstörningar uppstår vilket kostar uppemot 1,25 miljarder varje år i Sverige (WSP, 2019). För Lina älv är problemet att systemet är överdimensionerat vilket leder till höga underhålls- och driftkostnader.

Resultaten av mätningarna och ekonomiska delarna visar att Rectiverter systemet är billigare att driva och använda sig av. Det är även enklare att utforma teknikhusen och mer flexibelt än UPS systemet. För framtida projekteringsarbeten av driftplatser med liknande storlek skulle rekommendationen vara att använda sig av Rectiverter systemet med effekten 18 kVA.

Lina älvs driftplats har ett överdimensionerat Rectiverter system och ett mindre system skulle sparat mycket el genom att halvera ortsnätsabonnemangets storlek. Detta skulle leda till att abonnemanget går från 63 till 35 Ampere. Driftplatsens största problem var att systemet inte är i närheten av att belastas på de nivåer som de dimensionerats för. Detta problem leder vidare till att kostnaderna för investering, underhåll och ortsnätsabonnemang blivit dyrare att driva.

Resultaten för Kirunavaaras driftplats visar att driftplatsen har/kommer att få problem med driftstörningar om inget görs för att systemet vid höga strömnivåer inte klarar av att driva anläggningen och slår av. Systemet måste då sättas på manuellt. UPS systemet som finns på driftplatsen är kraftigt underdimensionerat. Detta tyder många av mätningarna på då spänningen dippar rejält. Driftplatsens största problem är att hantera de höga startströmmar som blir när växelmotorerna startar. En ökning av kapacitet bör göras. Ett införande av fördröjningar mellan växeldrivsmotorernas starter bör även det implementeras.

För de studerade driftplatserna är det UPS systemet som är den dyraste modellen att använda. Detta då systemet behöver mera underhåll och har flera ackumulatörer vilket gör att kostnaderna ökar både för investering och underhåll. Ortnätsabonnemanget är dock väldigt dyrt sett över tid för Rectiverter systemet. Det är svårt att göra en jämförelse för ortsnätsabonnemang inom UPS systemet då det är underdimensionerat så att

utgifterna hade ökat där. Systemet att föredra ekonomiskt sett är Rectiverter systemet.

För de två studerade driftplatserna hade den bästa lösningen ekonomiskt varit att uppgradera UPS systemet och halvera Rectiverter systemets kapacitet. Investeringarna som blir genom att uppgradera UPS systemet är ungefär 65 000 kronor och sett över tid kommer driftplatsens störningar att kosta mera. Motormjukstartare för båda systemen är att föredra. Investeringskostnaden för en sådan är 3 135 kronor och har en stor fördelaktig påverkan på systemens hållbarhet över tid. Kostnaderna som beräknats i detta arbete är inte extrema, men detta är endast två anläggningar som undersökts och det finns hundratals fler anläggningar som skulle kunna undersökas för att se möjligheten att utveckla fler hållbara lågspänningsanläggningar sett till ekonomi och elförbrukning.

7.1 Fortsatt arbete inom området

Vidare arbeten inom området som skulle behöva genomföras är

Att undersöka utnyttjande av anläggningens ackumulatorer vid startströmmar. När de höga startströmmarna uppstår, skulle det kunna undersökas om ackumulatorerna i anläggningen skulle kunna mata en del eller visst antal växeldrivsmotorer för att minska de extremt höga strömnivåerna för UPS och Rectiverter systemet. Idag försörjer systemen samtliga växeldrivsmotorer och de ackumulatorer som finns används endast till strömförsörjning vid avbrott.

Implementering av motormjukstartare i Trafikverkets anläggningar skulle behöva studeras närmare. En jämförelsestudie där mätningar innan och efter motormjukstartare implementerades för att dra ytterligare slutsatser om dess fördelar och nackdelar som exempelvis hur mycket strömmarna minskar eller om det har någon annan påverkan på anläggningen. Det har tidigare gjorts studier inom området men inte inom just järnvägsanläggningar.

Analys av större driftplatsers förbrukning sett till tekniskt systemens dimensionering. I denna undersökning fokuserades det endast på mindre driftplatser med fyra växlar och 12 växeldrivsmotorer. Vidare analyser hade kunnat utföras på en större driftplats med mera växlar och växeldrivsmotorer för att se om dimensioneringen gjorts i korrekt storlek eller om det finns avvikelser där med, samt vad kostnaderna hade blivit på en större driftplats.

Referenslista

Abriren, J. & Pedral, J., 2016. *Analys av lågspänningsfördelning till signalanläggningar*, Huddinge: Examensarbete, KTH.

Altman, S. o.a., 2021. *Analys och kvalitetssäkring av införandet av ERTMS i det svenska järnvägssystemet-slutredovisning*, Borlänge: Trafikverket.

Armelius, H., 2023. *Ekonomifakta*. [Online]
Available at: <https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elanvandning/>
[Använd 18 04 2023].

Batteriföreningen, 2015. *Batteriföreningen.se*. [Online]
Available at: <https://batteriforeningen.se/definition-av-ett-batteri/>
[Använd 14 02 2023].

Eaton, 2023, *Materialkatalogen UPS*. [Online]
Available at: [https://www.eaton.com/se/sv-se/site-search.html.searchTerm\\$ups.tabs\\$all.html](https://www.eaton.com/se/sv-se/site-search.html.searchTerm$ups.tabs$all.html)
[Använd 24 04 2023].

Elrond, 2020. *UPS och avbrottsfri kraft*. [Online]
Available at: <https://elrond.se/Fakta/ups-avbrottsfri-kraft/>
[Använd 23 03 2023].

Eltek, 2023. *Rectiverter- How it works*. [Online]
Available at: <https://www.eltek.com/insights/rectiverter/>
[Använd 11 02 2023].

Eon, 2022. *Våra elnätsabonnemang för företag- Nord*. [Online]
Available at: <https://www.eon.se/content/dam/eon-se/swe-documents/swe-prislista-foretag-lag-nord-220701.pdf>
[Använd 27 03 2023].

Eriksson, J. & Klasson, N., 2022. *Implementering av PV-system på Trafikverkets teknikhus*, Borås: Högskolan i Borås.

Jacobsson, E., 2018. *Dimensionering av UPS-system och generatorer för reservkraftsystem på sjukhus och flygplatser*, Karlstad: Examensarbete, Karlstad Universitet.

- Junuzovski, E. & Hukka, J. Y., 2009. *UPS-system i SÄS*, Borås: Examensarbete, Högskolan i Borås.
- Järnväg.net, 2020. *Banguiden-Signaler och säkerhetssystem*. [Online] Available at: <https://www.jarnvag.net/banguide/signaler> [Använd 03 02 2023].
- Jönsson, G., 2019. *Tillämpad Ellära. 2:a red.* Lund: Teach Support.
- Landenstad, H. & Rokka, M., 2020. *Solcellsanläggningar- Optimering och lönsamhet*, Borås: Examensarbete, Högskolan i Borås.
- Lulic, I., 2022. *Projektering av elkraftsystem FAT-testanläggning*, Luleå: Examensarbete, Luleå tekniska universitet, Institutionen för teknikvetenskap och matematik.
- Mattsson, E., Lindblom, E. & Emilsson, E., 2021. *Miljöeffekter av elnät och energilagring*, Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Musa, M. A., 2018. *Sweco Rail handbok för avbrottsfri kraftförsörjning till Trafikverkets linjebundna signalanläggningar*, Luleå: Examensarbete, Luleå Tekniska Universitet.
- Olsson, S. L. & Jama, F., 2019. *Litiumjonbatterier- kartläggning och hållbarhet*, Stockholm: Examensarbete, KTH.
- Paulsson, U., 2020. *Examensarbeten- Att skriva uppdragsbaserade uppsatser och rapporter. 1:a red.* Lund: Studentlitteratur.
- Reijm, M., 2006. *Lärobok Kontaktledning*, Stockholm: Banverket.
- Söderlind, E. & Tregubenkova, D., 2020. *Utvecklingsarbetet av Easyswitch 2.0*, Helsingborg: Examensarbete, Lunds Universitet.
- Trafikverket, 2013. *Energieffektivisering i investeringsprocessen*, Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2020. *TRVINFRA-00132*. [Online] [Använd 21 03 2023].

Trafikverket, 2021. *För dig i branschen- signalställverk modell 95*. [Online] Available at: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/anlaggningsteknik/signalteknik/Signalstallverk-modell-95/> [Använd 09 02 2023].

Trafikverket, 2021. *För dig i branschen- Signalteknik*. [Online] Available at: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/anlaggningsteknik/signalteknik/> [Använd 10 02 2023].

Trafikverket, 2022. *Föreläsning- reservkraft-UPS av Tonny Gråberg*, Ängelholm: Trafikverksskolan.

Trafikverket, 2022. *TDOK 2018:0198- Att hantera elabonnemang*. [Online] [Använd 21 03 2023].

Trafikverket, 2023. *Trafikverkets elprisrapport februari 2023*, Borlänge: Trafikverket.

Vossloh, 2019. *Easyswitch-The intergrated electro-hydraulic switch drive*, Rueil Malmaison: Vossloh Cogifer.

WSP Sverige, 2019. *Tid är pengar*, Stockholm: WSP Sverige.

Intervjumaterial:

Persson, Dan (2023) projektör Sweco, samtal om *Kompetenshalvtimmen- Easyswitch och 60E VXV*. Intervju genomförd- 20-02-23.

Lang, Mathias, (2023) projekterör lågspänning Sweco, samtal om *Rectiverter och batterier*. Intervju genomförd- 15-02-23.

Nordström, Anders, (2023a) projektör lågspänning Sweco, samtal om *Anläggningsinformation Examensarbete*. Intervju genomförd- 23-02-23.

Nordström, Anders (2023b) projektör lågspänning Sweco, samtal om *Studier på driftplatserna*. Intervju genomförd- 05-02-23.

Wiberg, Anna (2023) Underhåll, Elabonnemangsgruppen Trafikverket, Samtal om *Elabonnemang på Trafikverket*. Intervju genomförd- 24-03-23.

Fotografier:

David Larsson, *Jvgfoton.se*.
[Använd 15 05 2023].