

2014-03-09



Utbyte av mobil roterande omformare till statisk omriktare med mobilt utförande i Asker En förstudie

Nicklas Fredlund

Dan Stenlund

EXAMENSARBETE
Elektroingenjör med inriktning mot elkraft
Institutionen för ingenjörsvetenskap

EXAMENSARBETE

Utbyte av mobil roterande omformare till statisk omriktare med mobilt utförande i Asker En förstudie

Sammanfattning

I början av 1800-talet började järnvägsnätet i delar av Europa elektrifieras. Då klarade inte motorerna att kommutera vid nätets höga frekvens, 50 Hz, då omformades istället frekvensen till 16,7 Hz. För att växla frekvensen användes roterande omformare. Senare kom mobila omformare som stod på järnvägsvagnar. Dessa omformarstationer var ofta placerade i bergtrum. Nu på senare år har tekniken utvecklats och roterande omformare har ersatts med statiska omriktare. Balfour Beatty Rail AB har utvecklat en typ av mobil statisk omriktare som ökar mobilitet samt att stor del av kontroll före idrifttagningen kan utföras i fabrik vilket sparar tid vid idrifttagning av stationen.

Ett byte från en mobil roterande omformare till en mobil statisk omriktare i en bergstation har inte tidigare utförts. Denna förstudie syftar därmed till att ge en beskrivning på vilket sätt en mobil statisk omriktare kan installeras i en befintlig station.

För denna studie har Asker omformarstation valts då den är en typisk omformarstation placerad i ett berg. Asker station innefattar tre roterande omformare med en total märkeffekt på 30 MVA. Omformarna förser järnvägen med 15 kV 16,7 Hz från ett 22 kV 50 Hz nät. Asker omformarstation har en begränsad uppställningsyta både inne i bergtrummet samt utanför. Det är norska Jernbaneverket som är innehavare av stationen.

Studien avser även att kontrollera effektbehovet från Asker station. För att uppskatta effektbehovet utförs simuleringar vid höglastperiod. Simuleringsresultaten används även för att utföra ekonomiska kalkyler i form av LCC-kalkyl samt återbetalningstid med hjälp av pay back-metoden. Två ekonomiska kalkyler har utförts, en kalkyl med restvärde på de omformare som ersätts samt en kalkyl där restvärde av omformarna inte tas i beaktning.

En uppgradering där statiska omriktare ersätter roterande omformare skulle i Asker station leda till oförändrad installerad effekt, då platsbrist medför att de tre roterande omformarna inte kan ersättas med fler än två mobila statiska omriktare. De minskade förlusterna medför en vinst om ca 2 miljoner NOK per år. Ett restvärdeskrav kan ställas på de tre roterande omformarna på minst 51,5 miljoner NOK för att uppnå en ekonomisk lönsamhet.

Datum:	2014-03-09
Författare:	Nicklas Fredlund, Dan Stenlund
Examinator:	Henrik Johansson
Handledare:	Ulf Urbanek, Balfour Beatty Rail AB Lars Holmblad, Högskolan Väst
Program:	Elektroingenjör med inriktning mot elkraft
Huvudområde:	Elektroteknik
Poäng:	15 högskolepoäng
Nyckelord:	Omformare, omriktare, järnväg, banmatning, LCC
Utgivare:	Högskolan Väst, Institutionen för ingenjörsvetenskap, 461 86 Trollhättan Tel: 0520-22 30 00 Fax: 0520-22 32 99 Web: www.hv.se

BACHERLOR'S THESIS

Exchanging a rotary converter with a static converter in Asker converter station A pilot study

Abstract

In the beginning of the 19th century the railway in Europe was electrified. The engines of that time were not able to commutate at the high frequency of the grid for electric distribution, 50 Hz. This problem was solved by installing rotary converters that changed the frequency to 16.7 Hz. Nowadays static converters has replaced rotary converters to change the frequency in many stations.

Balfour Beatty Rail AB has developed a mobile static converter system that makes commissioning tests possible to do in an earlier stage at the manufacturer. This testing minimizes the time spent on site for installation and startup.

This bachelor's thesis is a study that covers if it is possible to exchange a rotary converter with a static converter for railway use and how such a change can be made, mechanically and electrically. For this study Asker converter station in Norway 20 km west from Oslo has been chosen for a case study. Asker is a station that has three rotary converters of the largest type used for electrifying the railway at 10 MVA each. The rotary converters supply the railroad with a 15 kV 16.7 Hz voltage from a 22 kV 50 Hz grid. Asker is a station which is placed within a mountainside. This is a standard type of installation for a rotary converter station. Asker station has a limited area both inside and outside the station. Asker converter station is owned by Norwegian Jernbaneverket.

The static converter station must be powerful enough to handle the load of Asker station. This load is simulated by using the timetable of a high load-period.

This study also has the purpose of providing an economic view of the exchange since a static converter has a lower energy-loss than a rotary converter which could lead to an economic gain for the owner of the station.

In Asker station the three rotary converters will have to be replaced by two mobile static converters because of the stations limited capacity. From the lowered losses a gain of 2 million NOK per year can be made. If the residual value of the three rotary converters can reach 51.5 million NOK it will lead to an economic viability.

Date:	March 9, 2014
Author:	Nicklas Fredlund, Dan Stenlund
Examiner:	Henrik Johansson
Advisor:	Ulf Urbanek, Balfour Beatty Rail AB Lars Holmblad, University West
Programme:	Electrical Engineering, Electric Power Technology
Main field of study:	Electrical Engineering Education level: first cycle
Credits:	15 HE credits
Keywords	Frequency converter, Railway, Power system study, TracFeed, Traction, LCC
Publisher:	University West, Department of Engineering Science, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN Phone: + 46 520 22 30 00 Fax: + 46 520 22 32 99 Web: www.hv.se

Förord

Detta examensarbete är utfört av Dan Stenlund och Nicklas Fredlund vid Högskolan Väst för Balfour Beatty Rail AB i samarbete med Jernbaneverket och Trafikverket.

Ett stort tack till Balfour Beatty Rail AB för att vi fått utföra detta arbete på deras företag. Vi vill även tacka Jernbaneverket och Trafikverket för deras stöd. Ett speciellt stort tack till Ulf Urbanek som varit handledare, Mikael Ström som instruerat oss och hjälpt oss i felsökningar i programmen SimPow och TracFeed, och Frode Flåtsund som tagit sig tid till ett studiebesök i Asker omformarstation. Vi vill även tacka Lars Holmblad som varit handledare på Högskolan Väst.

I denna examensrapport har stora delar av arbetet utförts i ett samarbete mellan författarna av denna rapport. Dan Stenlund har lagt större tyngd vid den elektriska och mekaniska genomförbarheten och Nicklas Fredlund har lagt en större tyngd vid den ekonomiska delen men även inom dessa arbetsområden har arbetsbördan fördelats.

Den 8 januari 2014 slutfördes försäljning av Balfour Beatty Rail AB's skandinaviska enheter till Strukton Rail AB.

Samtliga figurer och tabeller är framtagna av författarna till denna rapport, där inget annat anges.

För extra tydlighet med diagram, figurer och tabeller rekommenderas att denna rapport skrivs ut i färg.

Innehåll

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Förord.....	iii
Nomenklatur.....	vi
1 Inledning.....	1
1.1 Historik.....	1
1.2 Bakgrund	2
1.3 Syfte.....	2
1.4 Mål.....	2
1.5 Avgränsningar.....	3
1.6 Översikt över tidigare arbeten.....	3
1.6.1 Larvik, mobil omriktarstation – Balfour Beatty Rail AB.....	3
1.6.2 LCC-kalkyl Niklas Fransson – Trafikverket.....	3
2 Metod och tillvägagångssätt.....	4
2.1 Insamling av underlag.....	4
2.2 Elektrisk och mekanisk genomförbarhet.....	4
2.3 Simulering.....	5
2.3.1 Programvaruförteckning	5
2.3.2 Introduktion av SimPow	5
2.3.3 Introduktion av TracFeed	5
2.4 Ekonomisk analys	7
3 Beskrivning av banmatningssystem	8
3.1 Allmän beskrivning av järnvägsmatning	8
3.2 Roterande omformare	11
3.3 Statiska omriktare.....	13
3.3.1 Direktomriktare	13
3.3.2 Omriktare med mellanled	13
3.4 Övertoner och filter.....	14
3.4.1 Uppkomsten av övertoner	14
3.4.2 Övertoner i sex- och tolv-puls omriktare	14
3.4.3 Mellanledsfilter.....	15
3.4.4 Enfas- och Trefasfilter.....	15
3.5 Systembeskrivning av Asker omformarstation	16
4 Koncept för mobila enheter	18
4.1 Koncept för mobil omformare	18
4.2 Konceptet mobila omriktare	19
4.2.1 Dimensioner av moduler.....	20
5 Elektrisk och mekanisk genomförbarhet.....	28
5.1 Uppställning av mobil statisk omriktare i Asker	28
5.1.1 Filter- och ställverksmoduler.....	28
5.1.2 Omriktarmodulen.....	28
5.1.3 Transformatorer	29
5.2 Transport av moduler.....	29
5.3 Placering av moduler	30
5.4 Effektöverföring till och från omriktaren	30

5.5	Gränssnitt mellan omriktare och befintlig station.....	32
5.5.1	Allmänt om 15 kV ställverket.....	32
5.5.2	Anslutning av kraftkabel till AIS-ställverk.....	33
5.5.3	Anslutning från enfastransformatorn till ställverk.....	33
5.5.4	Kontroll och övervakningsutrustning	34
5.6	Sammanfattning av genomförande.....	35
5.6.1	Modifikationer som påverkar befintlig anläggning och mobila moduler.....	35
5.6.2	Modifikationer på mobila omriktare.....	35
5.6.3	Tillämpning av denna teknik i Sverige	36
6	Effektflödessimulering	37
6.1	Simulering av tågtrafik.....	37
6.2	Simuleringsresultat och analys.....	38
6.3	Bearbetning av simuleringsresultat	39
7	Ekonomiska kalkyler.....	40
7.1	Förutsättningar för LCC-kalkyler	40
7.2	Bearbetning av LCC-kalkyl.....	42
7.3	Resultat av LCC-kalkyl.....	43
7.3.1	Nuvärdeskostnad då restvärde av omformare försummas	43
7.3.2	Återbetalningstid då restvärde av omformare inte har försummats	43
7.4	Återbetalningstid med pay back-metoden.....	44
7.4.1	Återbetalningstid då restvärde av omformare försummas	44
7.4.2	Återbetalningstid då restvärde av omformare inte har försummats	45
7.5	Nollpunkts-analys	45
8	Resultat	47
8.1	Förändrad installerad effekt.....	47
8.2	Uppställningskrav och mobilitet.....	47
8.3	Ekonomiska resultat	47
9	Analys.....	48
10	Framtida arbete.....	50
10.1	Asker station	50
10.2	Generellt för mobila omriktare	50
10.2.1	Möjlighet till effektstyrning.....	50
10.2.2	Möjlighet till effekthöjning.....	50
10.2.3	Uppgradering i en station med högre inkommande spänning.....	51
10.2.4	Miljöpåverkan	51
11	Slutsatser och rekommendationer	52
	Källförteckning.....	53

Bilagor

- A. Skiss av planerad uppställning med omriktare
- B. Beräkningar för kabelförband istället för skenförband
- C. Enlinjeschema över Asker station med omriktare installerade
- D. Holmlia omriktare, dygnsövervakning
- E. LCC-kalkyler för mobila roterande omformare och mobila statiska omriktare

Nomenklatur

A-brytare	Omriktarens 50 Hz-brytare från matande nät
AGP	Linjeprovutrustning (ty., 'Abzweiggebundene Prüfeinrichtung')
AIS	Luftisolerat ställverk (eng., 'Air Insulated Switchgear')
AT-system	Automattransformator-system (eng., 'Auto-Transformer system')
BT-system	Sugtransformatorsystem (eng., 'Booster Transformer system')
DSL	Kodningsspråk för SimPow (eng., 'Dynamic Simulation Language')
E-brytare	Omriktarens 16,7 Hz-brytare mot samlingsskena
EMC	Elektromagnetisk kompatibilitet (eng., 'Electromagnetic Compatibility')
GIS	Gasisolerat ställverk (eng., 'Gas Insulated Switchgear')
HOG	Högspänd Omformargenerator
Huvudkrets	Huvudkretsen är den krets som går från det matande nätet till kontaktledningen i banmatningssystemet. Huvudkretsen innefattar även filter.
LCC	Livscykelanalys (eng., 'Life Cycle Cost')
LTC	Användargränssnitt mellan AGP och dess användare (eng., 'Line Test Controller')
Modul	En modul definieras som en anläggningsdel för en mobil statisk omriktare, till exempel filtercontainer, transformator och omriktarcontainer.
NSB	Norskt transportsällskap med kärnverksamhet inom tågtrafik bland annat
PCS-omriktare	ABBs modell av kraftomriktare med IGCT-tyristorer (eng., 'Power Converter System')
RMS-värde	Kvadrerat medelvärde (eng., 'Root Mean Square')
X-Frånskiljare	X-Frånskiljare används för inkoppling av reservbrytare via X-skena

1 Inledning

Asker är en stad ca 20 km sydväst om Oslo. I Asker ligger en omformarstation som byggdes år 1965 för att elektrifiera järnvägen [1]. Omformarstationen i Asker är en typisk omformarstation, insprängd i ett berg med långa vagnhallar och trånga utrymmen.

I denna förstudie studeras hur ett byte från en mobil roterande omformare till en mobil statisk omriktare kan utföras i befintlig byggnad samt vilka för- och nackdelar detta skulle innebära. Den nya tekniken gör det möjligt att minska effektförluster och underhållskostnader då statiska omriktare ersätter roterande omformare.

Att ha en mobil omriktarstation istället för en icke mobil station medför att idrifttagningen blir smidigare, då det går att utföra delar av prov före idrifttagning redan i verkstad, innan omriktaren levereras.

Att ersätta befintliga omformare medför att det inte krävs något bygglov, så länge uppställning inte sker utanför befintlig byggnad.

1.1 Historik

Elektrifiering av järnvägar återfinns så tidigt som i början av 1800-talet. Redan då hade järnväg med elektrisk drift flera fördelar med hänseende till verkningsgrad, högre hastigheter samt mindre miljöpåverkan jämfört med de två andra alternativ som användes, ångdrift och dieseldrift.

I början av 1900-talet kom elektrifieringen av järnvägen i enfasutförande med frekvensen 16,7 Hz. 16,7 Hz-frekvensen omvandlas från 50 Hz-nätet till kontaktledningen med hjälp av en frekvensomformare. Anledningen till att just frekvensen 16,7 Hz användes beror på att dåtidens elmotorer hade svårt att kommutera vid den höga frekvensen i elnätet, 50 Hz. Det blev naturligt att omforma till frekvensen 16,7 Hz på grund av förhållandet 1/3 mot elnätets frekvens. Stora delar av Europa började nu elektrifiera järnvägen, detta gällde även bland andra Sverige och Norge. Vid elektrifieringen användes nu tekniken som fanns tillgänglig, enfasig 15 kV 16,7 Hz växelström. De länder som fortfarande använder denna frekvens är Sverige, Norge, Österrike, Schweiz och Tyskland [2]. Standarder har inte funnits när elektrifieringen av järnvägen har ägt rum, därför finns det nu många olika system som används. Att idag ersätta hela system med tåg och banmatningsutrustning som klarar av 50 Hz skulle innebära allt för stora kostnader, därför används fortfarande frekvensen 16,7 Hz. [3, 4]

Det finns idag tåg som klarar av att köras på både 16,7 Hz och 50 Hz som till exempel tågen som går över Öresundsbron, där det är 50 Hz på danska sidan och 16,7 Hz på den svenska sidan [5].

1.2 Bakgrund

Denna studie genomförs på grund av att tekniken med roterande omformare börjar bli föråldrad. Det finns inte längre några nya roterande omformare att köpa på marknaden, vilket gör att i samtliga omformarstationer som byggs där det skall installeras roterande omformare så måste dessa köpas in begagnade [6]. Detta medför även att det blir problematiskt att få tag i reservdelar vid eventuellt haveri. Det är känt att en roterande omformare har lägre verkningsgrad än vad en statisk omriktare har, vilket gör att ett byte från omformare till omriktare kan öka den ekonomiska lönsamheten. Ett tidigare byte från mobil roterande omformare till mobil statisk omriktare inne i ett bergrum har aldrig tidigare genomförts och kräver därför en förundersökning för att se om det finns möjlighet att genomföra detta.

1.3 Syfte

Syftet med denna förstudie är att beskriva hur en gammal omformarstation kan återanvändas med nyare teknik i form av mobila omriktare. Undersökningen skall visa om det är möjligt att ersätta en mobil roterande omformare med en mobil statisk omriktare i befintlig byggnad.

1.4 Mål

Målet med rapporten är att skapa en teknisk beskrivning över hur ett byte från mobila roterande omformare till mobila statiska omriktare i en station skulle kunna genomföras samt vad detta skulle få för ekonomiska konsekvenser. Asker station har valts för denna förstudie. För att genomföra bytet måste hänsyn tas till dagens standarder på den nya stationen, även om dessa inte varit aktuella vid byggnation av den befintliga anläggningen. Vid ombyggnation skall även hänsyn till effektbehovet tas, där undersökningen utreder vilken effekthöjning som eventuellt kan åstadkommas samt vilket effektbehov som finns idag. Målet är även att ta tillvara på den befintliga anläggningen, till exempel byggnad och ställverk. Det gäller även att ta tillvara på den befintliga konstruktionen av en mobil statisk omriktare, för att undvika ökade kostnader i form av modifieringar av konstruktionen samt dess omkostnader. Gränssnittet från den mobila enheten till befintlig anläggning skall även utredas. Åtgärder som behöver vidtas eller komponenter som behöver ersättas alternativt kompletteras, så som skydd, kontrollskåp samt övrig kontrollutrustning skall även undersökas.

Studien har även för avsikt att tillhandahålla ekonomiska nyckeltal med hjälp av en LCC-kalkyl (Life Cycle Cost) där det framgår om ersättning från omformare till omriktare kan vara ekonomiskt lönsam med hänseende av förändrade förlustkostnader, underhållskostnader samt livslängd. Återbetalningstiden skall även presenteras i form av pay back.

1.5 Avgränsningar

Denna förstudie fokuserar på huvudkretsen i stationen från inkommande nät till järnvägens kontaktledning. Kontrollutrustning och hjälpkraft tas endast upp kortfattat. Denna studie är riktad mot en anläggning med inkommande spänning på 22 kV.

Vid ändringar i konstruktionen av modulerna jämfört med tidigare utförande av mobil omriktarstation kommer detta inte att tas hänsyn till i investeringskostnaden i LCC-analysen.

NSB har nyligen börjat med höghastighetståg med namnet FLIRT. FLIRT-tågens simuleringsmodeller är sekretessbelagda enligt Jernbaneverket vilket gör att uppskattade modeller i samma effektklass, 4-5 MVA, skapas för simuleringar [7].

1.6 Översikt över tidigare arbeten

1.6.1 Larvik, mobil omriktarstation – Balfour Beatty Rail AB

Balfour Beatty Rail AB har tidigare byggt två mobila omriktarstationer till Jernbaneverket. Dessa stationer är placerade i Alnabru och Holmlia. Ytterligare två mobila omriktarstationer är under byggnation för framtida placering i Rudshögda och Larvik. Dessa fyra stationer är lika varandra, undantaget är Larvik som har en lägre inkommande spänning på 22 kV, än de andra stationerna som har inkommande spänningar över 40 kV. Den lägre inkommande spänningen medför att det kan byggas ett kompakt inkommande ställverk i form av luftisolerat ställverk, AIS (Air Insulated Switchgear). För övriga stationer, Alnabru, Holmlia och Rudshögda måste ett gasisolerat ställverk, GIS (Gas Insulated Switchgear), användas för att skapa en ställverksmodul som är kompakt nog för att vara mobil. Fördelen med Larviks konstruktion är att inkommande ställverket är mindre jämfört med tidigare nämnda GIS-ställverket. Den lägre inkommande spänningen till ställverket i Larvik och Asker medför även att dess trefastransformatorer är mindre än för Alnabru, Holmlia samt Rudshögda. Den 20 december 2013 inkom ytterligare en beställning på en femte mobil omriktarstation från Jernbaneverket, det är ännu inte känt var denna skall placeras. [8]

1.6.2 LCC-kalkyl Niklas Fransson – Trafikverket

Trafikverket har tidigare utfört en LCC-kalkyl där de jämfört mobila roterande omformare med statiska omriktare, denna studie är dock inte riktad mot det mobila konceptet på omriktare. Trafikverkets LCC-analys jämför två PCS-omriktare (Power Converter System), 15 MVA per omriktare, med två Q48-omformare, 10 MVA per omformare, eller tre Q38-omformare i HOG-utförande (Högspänd Omformargenerator), 6 MVA per omformare. [9]

Denna rapport används för att ta tillvara på de tidigare sammanställningar av verkningsgrader samt underhållskostnader på respektive maskin som tagits fram.

Slutsatsen som dras säger att fortsatt användande och nyinköp av begagnade roterande omformare kan vara lönsamt i ett kortsiktigt ekonomiskt perspektiv. Det nämns även i denna rapport att en strategi bör tas fram för att ur ett systemperspektiv utnyttja sig av både statiska omriktare och roterande omformare för att göra nätet så tekniskt och ekonomiskt fördelaktigt som möjligt.

2 Metod och tillvägagångssätt

Denna rapport är utformad i fyra delar. De fyra delarna är insamling av underlag, elektrisk och mekanisk genomförbarhet, simulering samt ekonomisk analys.

2.1 Insamling av underlag

Insamling av underlag i form av anläggningsdokumentation är avgörande för att genomföra detta arbete. Insamlingen av underlag för denna studie innebär en kvalitativ studie. Denna studie fokuserar enbart på den typ av omformare som för närvarande är placerade i Asker, de mobila omriktare som Balfour Beatty Rail AB utvecklat samt Asker omformarstations byggnadsutförande [10].

Underlag som är nödvändigt för studien är följande:

- Anläggningsdokumentation för Asker omformarstation
- Anläggningsdokumentation för mobil omriktarstation
- Lasternas karakteristik i simuleringsprogrammen
- Omformarnas och omriktarnas verkningsgrader
- Standarder och föreskrifter
- Manualer för TracFeed och Simpov

2.2 Elektrisk och mekanisk genomförbarhet

Genomförbarheten studeras genom att analysera översiktsschema, uppställningsytor samt genom platsbesök. Mått för de ingående modulerna i omriktaren samt för Askers portar och tunnlar krävs. Genom att studera befintlig anläggning samt de mobila modulerna ska det utredas om modulerna kan placeras i befintlig anläggning, eller om det krävs modifikationer på anläggningen eller omriktaren. Antalet omriktare som får plats i byggnaden ligger till grund för hur mycket effekt som kan levereras från Asker. Undersökning hur moduler kan ställas upp och fraktas är även väsentligt för att säkerställa mobiliteten. Den befintliga anläggningen måste även undersökas för att klargöra vad som kan återanvändas till det mobila konceptet.

2.3 Simulering

Simulering utförs med hjälp av programmet STRI – SimPow och tilläggsapplikationen TracFeed. TracFeed och SimPow används för närvarande av Jernbaneverket för att simulera tågtrafik [7].

Simuleringarna utförs med verkliga scenarion såsom tågtidtabeller, tågmodeller, utformning av banan och elnätet för att uppskatta effektbehov i Asker omformarstation. Simuleringen är tillhandahållen av Jernbaneverket och täcker en stor del av Oslo-området.

2.3.1 Programvaruförteckning

SimPow 2004 version 11.0.009

TracFeed Simulation version 3.9.8

2.3.2 Introduktion av SimPow

SIMPOW är en förkortning av ”digital SIMulation and analysis of electrical POWer systems”. Simpow är ett program som utvecklats av ABB och STRI AB men har nu köpts upp av Manitoba HVDC Research Centre.

Simpow beräknar statiska laster och kan även genomföra dynamiska simuleringar vid specifika händelser i nätet, till exempel kortslutningar eller ledningar som kopplas bort. En dynamisk simulering skapas genom flera statiska simuleringar utförs i flera steg, dessa resulterar i variabler som samlas upp vid varje simuleringsteg och kan därefter ses som händelser över tid. [11]

I Simpow finns två underprogram, Optpow och Dynpow:

Optpow är det program som utför beräkningar på statiska förhållanden i en simulering. Här skrivs ordinarie utgångsläge in för att programmet ska ha något att utgå ifrån. [12]

Dynpow är det program som hanterar dynamiska förlopp det kan till exempel handla om in och urkoppling av motorer eller kortslutningar som uppstår. Programmet samarbetar med Optpow för att skapa en simulering över tid. [12]

I Simpow finns även ett internt programspråk, DSL (Dynamic Simulation Language), som hanterar dynamiska komponenters karakteristik som till exempel regulatorer, tåg och omformare.

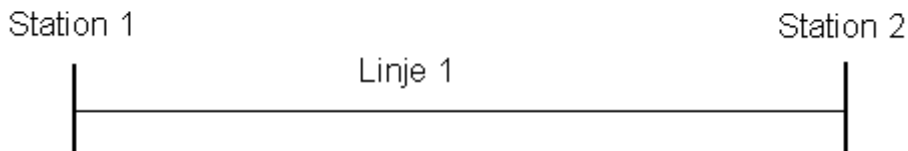
2.3.3 Introduktion av TracFeed

TracFeed (före detta SimTrac) är ett program som utvecklats av Adtranz och nu ägs av Balfour Beatty Rail AB, för att utföra dynamiska beräkningar av elektriska järnvägar. TracFeed använder Simpow som beräkningskärna.

TracFeed använder DSL-modeller för att modellera tågens effektbehov samt var de befinner sig i systemet. Tågen är modellerade som en last som förflyttas tillsammans

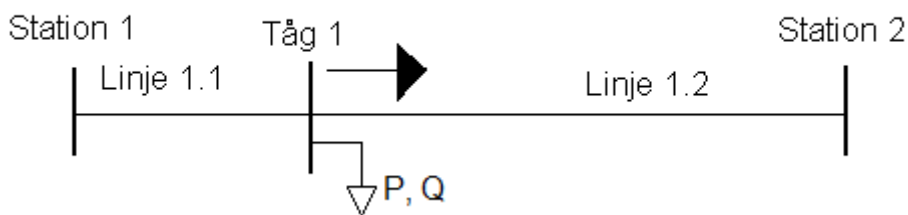
med en nod i systemet med tågets hastighet. I varje simuleringssteg beräknas lastens aktiva och reaktiva effektbehov, se Figur 2.1 till Figur 2.4.

I Figur 2.1 visas två stationer samt en kontaktledning.



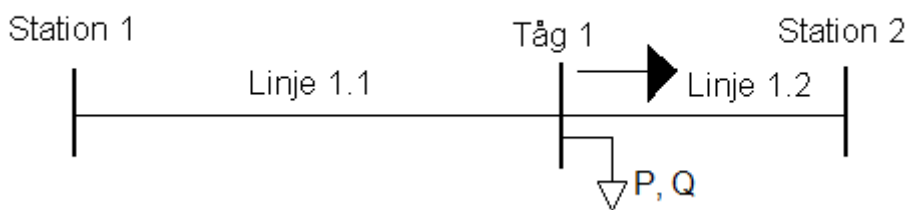
Figur 2.1: Simulerings exempel steg 1 av 4

I Figur 2.2 visas hur ett tåg har kommit ut på linjen. Kontaktledningen delas då i två linjer som har delat på den ordinarie linjens impedans.



Figur 2.2: Simulerings exempel steg 2 av 4, den svarta pilen visar tågets rörelse längs linjen, den vita pilen visar tågets effektbehov

För varje simuleringssteg förflyttas tåget längs kontaktledningen, som i Figur 2.3. Kontaktledningens impedans före och efter tåget förändras utefter hur stor del av linjen som passerats.



Figur 2.3: Simulerings exempel steg 3 av 4, den svarta pilen visar tågets rörelse längs linjen, den vita pilen visar tågets effektbehov

Efter att linjen passerats återgår denna till en linje utan någon dynamisk karakteristik enligt Figur 2.4.



Figur 2.4: Simulerings exempel steg 4 av 4

2.4 Ekonomisk analys

I den ekonomiska analysen ligger investeringen för Larvik omriktarstation till grund för de planerade mobila omriktarna i Asker station, då stationerna har liknande specifikationer, se kapitel 1.6.1. För att få fram förlustkostnader kommer simuleringsresultaten av effekter att användas tillsammans med energipriset samt effektdiagram och förlustberäkningar för respektive maskintyp.

För LCC-analysen beräknas samtliga kostnader till ett nuvärde för att få en överblick om det kan vara lönsamt att genomföra en uppgradering. I LCC-analysen tas investering, projekteringsomkostnader, underhåll samt driftkostnader i beaktning. En nollpunktsanalys genomförs för att påvisa vilket restvärde som krävs av den befintliga stationen för att uppnå en ekonomisk nollpunkt.

Investeringens pay back-tid beräknas, pay back-tiden visar den tid det tar för den statiska omriktaren att återbetalats i förhållande till fortsatt drift av de befintliga omformarna. Denna metod tar inte hänsyn till någon ränta eller inflation [13].

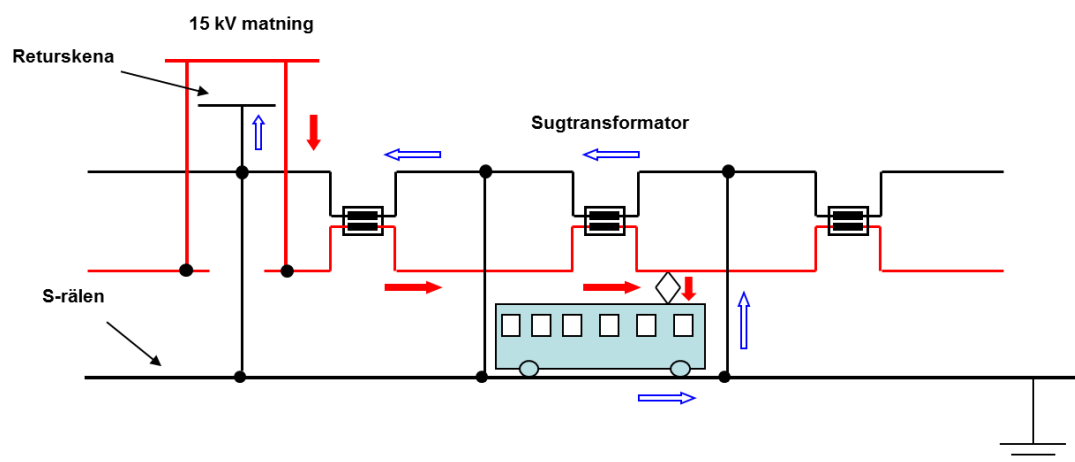
3 Beskrivning av banmatningsystem

De svenska och norska järnvägsnäten har en enfasig matning med en spänning på 15 kV 16,7 Hz. Frekvensen skapas från 50 Hz distributionsnät med hjälp av två olika typer av maskiner, roterande omformare som består av en motor och en generator eller statisk omriktare som består av kraftelektronik.

3.1 Allmän beskrivning av järnvägsmatning

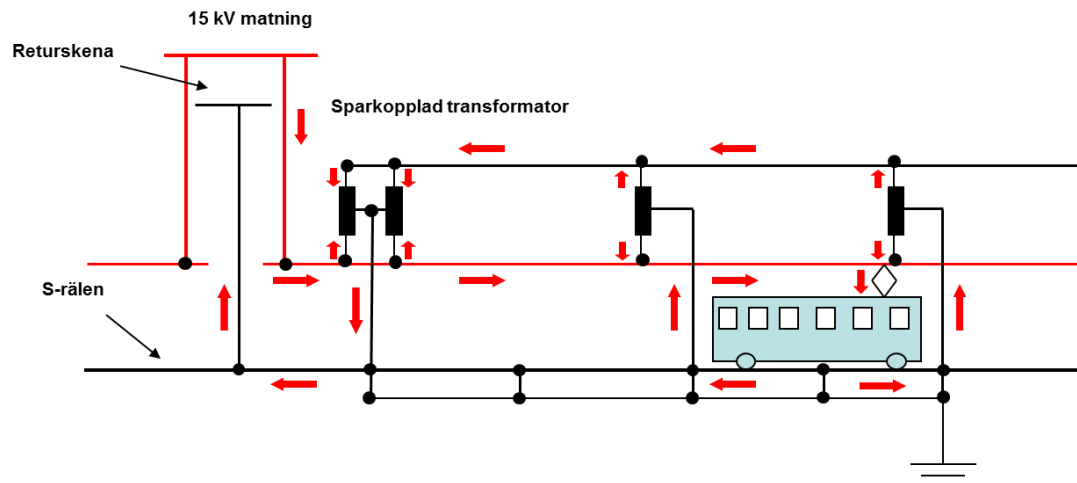
Kontaktledningen är i Sverige och Norge utformad med automattransformatorsystem, AT (Auto Transformer), och sugtransformatorsystem, BT (Booster Transformer), på grund av den höga markresistiviteten i nordliga länderna. Den höga markresistiviteten bidrar till problematik vid jordning av banmatningsnätet vilket i sin tur leder till telestörningar [2]. Gemensamt för båda systemen är att matningen kommer in via kontaktledningen för att driva strömmen till tåget. För återmatning av traktionsströmmar används S-rälen. S-räl står för sammanhängande räl. Den andra rälen kallas för I-räl vilket står för isolerad räl. [2]

I BT-System används en så kallad sugtransformator som placeras mellan kontaktledning och återledare. Återledaren är förbunden till jordpunkten i S-rälen, sugtransformatorer är transformatorer med omsättningen 1:1 vilket tvingar strömmen att gå via återledaren [4], se Figur 3.1.



Figur 3.1: BT-system för banmatning. De fyllda pilarna visar på hur strömmen går ut till tåget medan de konturerade pilarna visar återmatningen. med hjälp av transformatorerna så "sugs" returströmmen upp från rälen.

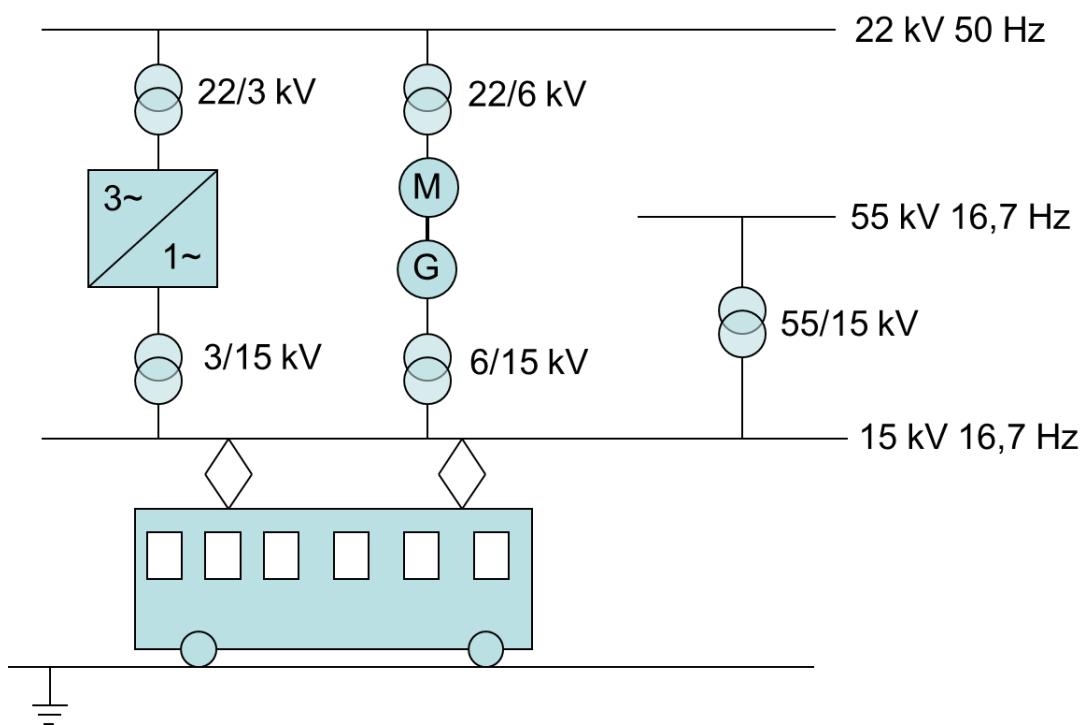
I AT-System används så kallade AT-transformatorer. AT-transformatorer är sparkopplade transformatorer med mittpunkten anslutna till S-rälen se Figur 3.2. Detta skapar två 15 kV-ledningar som ligger i motfas med varandra, därav blir peak-to-peak-värdet mellan ledningarna 30 kV. Tågen i ett AT-system är anslutna till en av 15 kV-ledningarna och använder S-rälen som återledare.



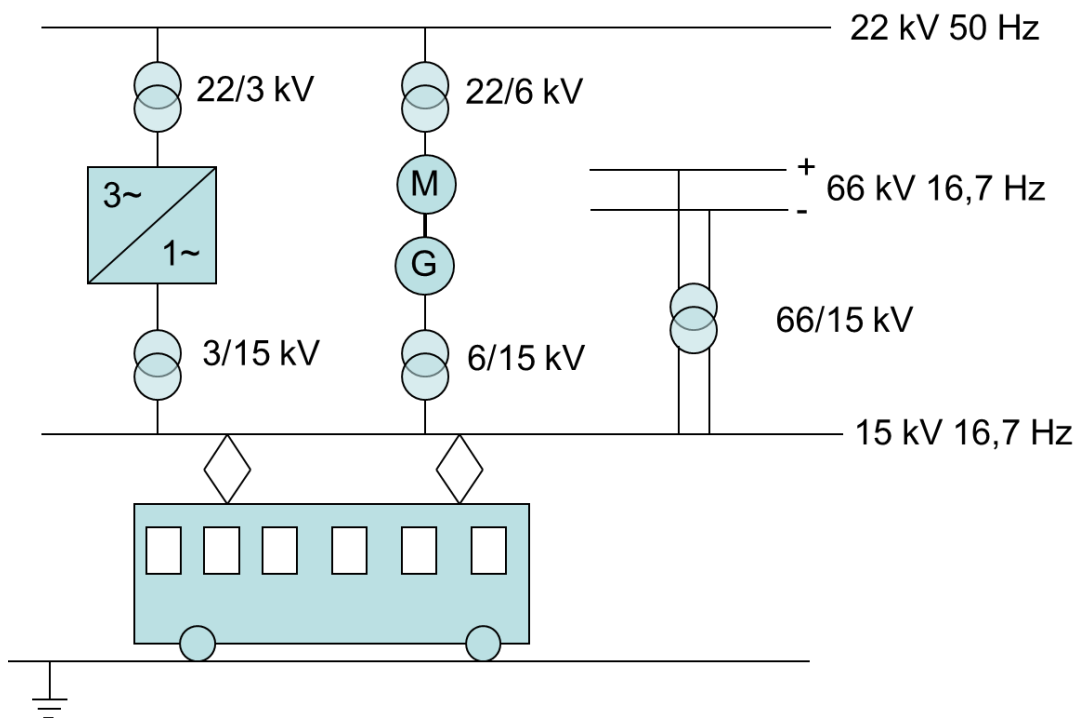
Figur 3.2: AT-system för banmatning. I AT-system är mittpunkten av de sparkopplade transformatorerna jordade, detta medför att det i ledningarna blir 15 kV i motfas med varandra. Detta resulterar i distributionsspänning på 30 kV, vilket halverar strömmarna.

Järnvägsnätet har även möjlighet att ta tillvara på bromsenergin i vissa tåg. Inbromsning utförs då med en generator som elektrisk broms. I regel förbrukas den återmatade energin av andra tåg på linjen, men denna energi kan även återmatas till 50 Hz nätet. Det finns undantagsfall av omriktarstationer som inte kan återmata denna effekt till 50 Hz-nätet. [2]

Det finns en del som skiljer svenska och norska järnvägsmatningen, nämligen konstruktionen av matarledning. En matarledning fungerar som en förstärkning av nätet, den har en högre spänning än resterande nät vilket gör att den kan mata längre sträckor. I Norge består matarledningen av en enfasig 55 kV 16,7 Hz, se Figur 3.3 [14]. I Sverige består matarledningen av en tvåfasig 132 kV 16,7 Hz, se Figur 3.4. 2-fas innebär två linjer om 66 kV som är fasförskjutna 180° från varandra, vilket ger ett peak-to-peak-värde på 132 kV. [2]



Figur 3.3: Banmatning med en statisk omriktare och en roterande omformare samt det norska systemet för matarledning.

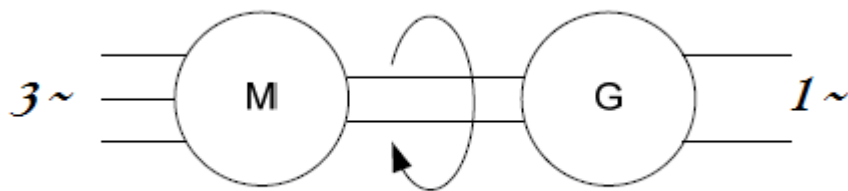


Figur 3.4: Banmatning med en statisk omriktare och en roterande omformare samt det svenska systemet för matarledning.

3.2 Roterande omformare

En roterande omformare används för att växla från en frekvens till en annan. Omformaren fungerar så att den har en motor och en generator som är fysiskt sammankopplade med en gemensam axel. Motorn drar runt den mekaniska axeln, vilken gör att generatorn alstrar en ström, se Figur 3.5. Då det är olika poltal på motorn och generatorn resulterar detta i olika frekvenser.

I norden består en sådan omformare för banmatning av två synkronmaskiner där motorn har tre gånger fler poler än generatorn.



Figur 3.5: princip för roterande omformare 3-fas till 1-fas

$$n = \frac{(120 \cdot f)}{p} \quad (1)$$

Där: f = Frekvensen
 n = Det nominella varvtalet
 p = Antalet poler

Då det är gemensam axel mellan motor och generator medför detta att varvtalet i de båda maskinerna alltid är lika. Då motorns och generatorns frekvenser är kända så kan förhållande mellan generatorns och motorns poltal härleds från ekvation 1:

$$p_{gen} = \frac{p_{mot}}{3}$$

Där: p_{gen} = Poltal generator
 p_{mot} = Poltal på motorn

Detta förhållande mellan poltal i motor och generator leder till en resulterande frekvens på 16 2/3 Hz då det matande nätet är 50 Hz, se Tabell 3.1.

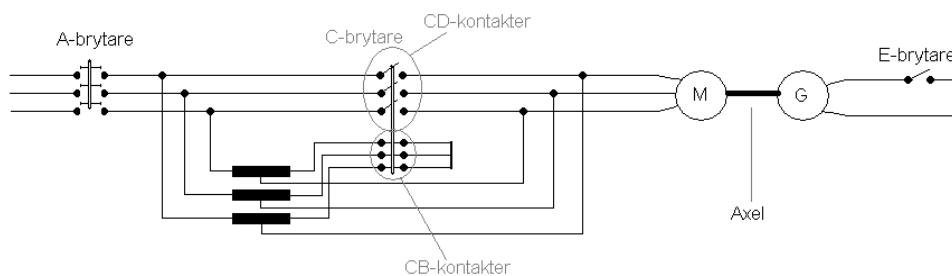
Tabell 3.1: förhållande mellan möjliga poltal och varvtal för roterande omformare för banmatning

Poltal		Axelns varvtal [rpm]
Primärsida (50 Hz)	Sekundärsida (16 ² /3Hz)	
6	2	1000
12	4	500
18	6	333

I de roterande omformarna som används idag för banmatning i Sverige och Norge är motorn 12-polig och generatoren 4-polig [15].

En maskin av denna typ erhåller en konstant fasvinkel mellan motorn och generatoren vilket i sin tur medför att vinkelförändringar på primärsidan även överförs till sekundärsidan. Spänningen på generatorsidan måste transformeras till korrekt spänningsnivå med hjälp av en enfastransformator, om inte omformaren är av HOG-typ, vilket innebär att generatoren direkt genererar 15 kV [16, 17]. Den interna impedansen som finns i maskinerna skapar en naturlig lastfördelning mellan parallellt matande omformare, dock bidrar den även med effektförluster i omformaren. Även om motorn och generatoren är sammankopplade med en gemensam axel så är de i övrigt fysiskt skilda med kapslingar av omagnetiskt material [15]. Elektriskt finns det ingen koppling mellan motor och generator, vilket gör att störningar och övertoner som uppkommit på 50 Hz-sidan inte kommer att överföras till sekundärsidan eller vice versa. En stor fördel med roterande omformare är att dessa har en hög överlastningsförmåga, upp till 40 % överlast i sex minuter [15].

En bild av huvudkretsen för en roterande omformare kan ses i Figur 3.6.



Figur 3.6: A-brytaren är mellan det matande nätet och omformaren, C-brytaren avgör om motorn ska få startspänning eller full nätspänning och E-brytaren kopplar in omformaren till samlingsskenan. Starttransformatorn är en sparkopplad transformator med omsättningen 6,3/2,6 kV.

En start av roterande omformare består av sex steg med benämningar enligt Figur 3.6.

1. Utgångsläget: A-brytaren ligger från och ingen spänning ligger därmed på motorn. CB-kontakter skall vara tillslagna, vilket medför att CD-kontakterna är frånslagna.
2. Start av motor: A-brytare slås till. Eftersom CB-kontakterna är tillslagna kommer detta leda till att motorn får en startspänning på ca $1/3$ av nominell spänning via starttransformator, vilket även leder till att startströmmen blir $1/3$ av startströmmen vid full spänning då den interna impedansen är statisk. När motorn är uppe i nominellt varvtal påbörjas steg 3.
3. Generatoren magnetiseras.
4. Generatoren fasas in mot nätet.

5. Full spänning på motorn: CB-kontakterna slås från och samtidigt slås CD-kontakterna till, vilket leder till att motorn nu får nominell spänning.
6. Inkoppling i nätet: E-brytaren slås till och generatoren är därmed inkopplad på nätet.

Att få upp en omformare av storleken 10 MVA i nominellt varvtal tar ca 80 sekunder, vilket gör att det inte går att göra en plötslig uppstart av en omformare vid snabba förändringar i nätet så måste omformaren starta i god tid före lasten blir för hög. Förändringar måste därför förutspås med hjälp av tidtabeller och simuleringar [15].

3.3 Statiska omriktare

En statisk omriktare försöker elektriskt efterlikna en roterande omformare men är fysiskt olik. En statisk omriktare bygger på elektronik och halvledare för att omforma en frekvens till en annan.

Omriktare har inte lika stora förluster som en omformare, på grund av att de inte har en lika hög intern impedans. Den låga impedansen har till följd att det inte blir någon naturlig fördelning av lasten utan detta måste då regleras med hjälp faslägesreglering [17, 18].

Omriktare kan huvudsakligen delas in i två underkategorier; direktomriktare och omriktare med mellanled [18].

3.3.1 Direktomriktare

Direktomriktare matas direkt från nätet och matar ut den resulterande frekvensen och spänningen på sekundärsidan utan att någon intern reglering av övertoner sker däremellan. En direktomriktare är den typ av frekvensomriktare som har de lägsta förlusterna, dock krävs stora filter för att övertonsreducera denna typ av omriktare [18].

3.3.2 Omriktare med mellanled

En omriktare med mellanled innebär att den vid primärsidan likriktar spänningen med halvledarteknik och därefter har en glättningskondensator som skapar ett spänningsstyvt mellanled alternativt induktans i serie som skapar ett strömstyvt mellanled. Mellanledet kan även innehålla filter för övertonsreducering. Efter mellanledet växelriktas ström och spänning till aktuell frekvens [19].

Mellanledsomriktare har bättre möjligheter till övertonsreducering än vad en direktomriktare har, vilket är anledningen till att denna används för frekvensomriktning för banmatning. Det ingår flera komponenter i en omriktare med mellanled än vad det gör i en direktomriktare, vilket medför högre förluster [18].

3.4 Övertoner och filter

Vid installation av en statisk omriktare måste reduktion göras av de övertoner som omriktare bidrar med. Primär- och sekundärsida är inte elektriskt skilda som i en roterande omformare vilket även medför att övertoner på det matande nätet kan spridas till järnvägsnätet och vice versa.

3.4.1 Uppkomsten av övertoner

Anledningen till övertoner är att icke linjära laster är inkopplade på nätet. En icke linjär last innebär att ström och spänningsförhållandet är varierande över en sinusperiod. Belastningen kommer då att dra en ström från matningskällan som innehåller övertoner. När en övertonsström flyter genom kretsen kommer det att förekomma spänningsfall och även det bidra till övertoner i spänningen [20].

3.4.2 Övertoner i sex- och tolv-puls omriktare

Övertonernas storlek beror på vilka komponenter som ingår i systemet samt storleken av de ingående komponenterna till exempel stora motorer, varierande motorlaster och elektronik bidrar med övertoner. Strömövertonshalten kan reduceras med följande åtgärder:

- Ökade DC eller AC induktans
- Ökade antal pulser i omriktare

Spänningsövertoner kan reduceras med följande åtgärder:

- Ökade transformatorstorlekar
- Ökad kortslutningseffekt
- Minskad transformatorimpedans [21]

Två vanligt förekommande omriktare är sexpulsomriktare och tolvpulsomriktare. Tolvpulsomriktaren består i princip av två parallellkopplade sexpulsomriktare. Vid likriktning bestäms antal pulsationer i mellanledet utifrån antalet pulser på omriktaren. Vid flera spänningspulser kommer spänningen i mellanledet vara mer spänningsstyvt, därmed blir även likspänningens RMS-värde (Root Mean Square) högre. Den ideala spänningen i mellanledet bestäms enligt ekvation 2 [4].

$$U_{dio} = \hat{U} \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{p}\right) \quad (2)$$

Där: P = Antalet pulser i omriktaren

U_{dio} = Resultande likspänning

\hat{U} = Huvudspänningens toppvärde på matande trefas

Antal pulser på omriktaren avgör vilka övertoner som är dominerande. I sexpulsomriktaren är femte och sjunde övertonerna dominerande. Dessa övertoner

förekommer inte i en tolvpulss omriktare. Av de övertoner som framkallas av en tolvpulssomriktare är elfte och trettonde övertonen dominerande, se ekvation 3 [4].

$$f_n = f(kP \pm 1) \quad (3)$$

Där: f = Grundfrekvensen
 f_n = Övertonsfrekvensen
 k = Godtyckligt heltal
 P = Antalet pulser i omriktaren.

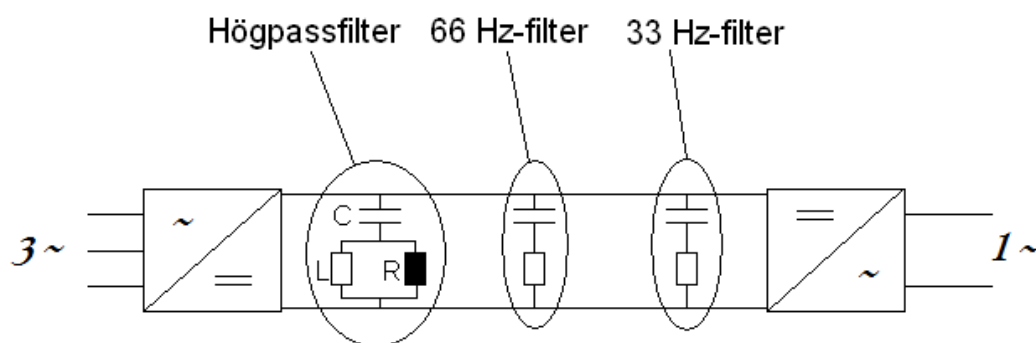
Detta innebär att en tolvpulssomriktare eliminerar hälften av de övertoner som förekommer i en sexpulssomriktare.

3.4.3 Mellanledsfilter

Med hänsyn till järnvägens kontaktledning på 16,7 Hz finns två bandpassfilter i mellanledet som avstämms till 33 Hz och 66 Hz. 33 Hz-övertonen beror på den effektpulsation som uppstår då trefasig 50 Hz matar en enfasis 16,7 Hz last genom en omriktare medan 66 Hz-övertonen skapas av vissa lok i nätet [17]. Dessa filter består av en spole och en kondensator som är avstämde till respektive frekvens.

Det finns även ett högpasfilter för höga frekvenser. Högpasfiltret består av kondensatorer i serie med en parallellkopplad induktor och resistans.

I Figur 3.7 har mellanledet samt dess filter illustrerats.



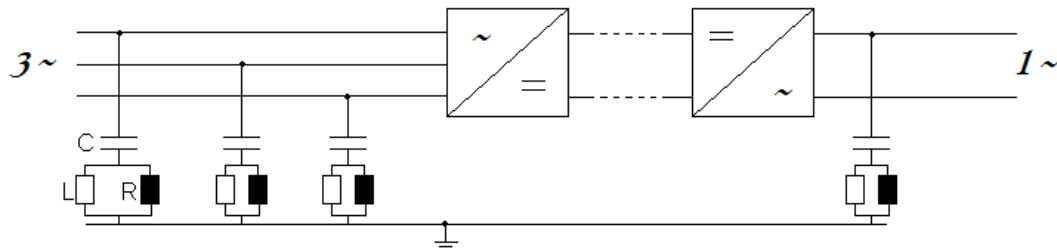
Figur 3.7: Omriktarmellanled med dess filter

3.4.4 Enfas- och Trefasfilter

Moderna frekvensomriktare genererar övertoner med hög frekvens. Detta beror på den höga switchfrekvensen, med anledning av detta används högpasfilter. För att förhindra att övertoner sprids till det matande eller matade nätet så krävs filter både före och efter omriktaren.

Högpasfilter är avstämde för att skapa en låg impedans vid den frekvens de är avstämde för. Avstämningen medför att det i princip skapas en jordslutning för just den avstämde frekvensen, det blir en hög impedans för lägre frekvenser och låg

impedans för högre frekvenser. Högpasfilter minskar därmed risken för snedavstämning som kan uppstå om bandpassfilter används. Högpasfiltret består av en kondensator i serie med en parallellkopplad induktor och resistans se Figur 3.8. [22]



Figur 3.8: Högpasfilter för reducering av övertoner i växelspanningsnäten före och efter omriktare

3.5 Systembeskrivning av Asker omformarstation

Stationen i Asker består av totalt tre vagnhallar, där en omformare är placerad i varje vagnhall. Utanför stationen återfinns matarledningsställverket, 55 kV, i en separat byggnad och dess transformator är placerad utanför tidigare nämnda byggnad.

Längst in i berget återfinns utgående 15 kV-ställverk. I 15 kV-ställverket återfinns alla utgående linjer, mätfack, provinkopplingsutrustning och omformarfack vilket resulterar i totalt 34 ställverksfack. I ställverket finns åtta utgående linjer. Varje utgående linje består av tre ställverksfack, ett provbrytarfack, ett fack med en frånskiljande brytare för linjen samt ett fack med X-frånskiljare. Varje omformare har ett eget frånskiljarfack. Matarledningen har tre fack för frånskiljare, frånskiljande brytare och provinkopplingskåp. Ett ställverksfack är till för spänningstransformatorer för mätning av skenor. Det finns även fyra reservfack där ytterligare en linje kan kopplas in.

Längst in i omformarstationen finns även ett kontrollrum där all övervakning, skydd samt kontrollutrustning återfinns.

I Asker omformarstation är inkommande spänning 22 kV 50 Hz. På utgående linje är spänningen 15 kV 16,7 Hz. I stationen finns även en matarledning på 55 kV 16,7 Hz som täcker stora geografiska sträckor se avsnitt 3.1. Matarledningen sitter förbunden med flera omformarstationer samt en producerande vattenkraftsanläggning, Hakavik, som levererar 16,7 Hz direkt. Matarledningen inkommer till Asker via en enfastransformator på 55/15 kV 16,7 Hz som är förbunden med enfasstallverkets samlingsskena via en brytare. Denna förbindning ligger normalt till för att omformarstationerna ska förstärka varandra. Av de tre omformaraggregaten är ett ständigt i drift, ett i stand-by eller i drift och ett av aggregaten står inkopplad endast som reserv. Reservomformaren skall stå redo ifall någon av de andra omformarna skulle haverera, den skall även kopplas in då någon av de andra omformarna är på revision eller underhåll.

I Tabell 3.2 presenteras märkdata för trefastransformatorn från det matande nätet till motorn samt enfastransformatorn från generatoren till samlingsskenan. [23, 15]

Tabell 3.2: Data för befintliga transformatorer i Asker station

	Trefastransformator	Enfastransformator
Märkspänning [kV]	21,2/6,3	5,2/17
Märkeffekt [MVA]	10,7	10
Frekvens [Hz]	50	16,7
ur [%]	0,5	1,5
ux [%]	7,9	4,2

4 Koncept för mobila enheter

Både roterande omformare och statiska omriktare finns i mobila utförande. Att anläggningen är mobil betyder för en roterande omformare att denna är fast monterad på järnvägsvagnar. För en statisk omriktare innebär att anläggningen är i containerutförande som möjliggör transport på till exempel lastbil.

4.1 Koncept för mobil omformare

Det finns tre olika typer av mobila omformare; Q24/Q25, Q38/Q39 samt Q48/Q49 med respektive märkeffekter på 2,4 MVA, 4 MVA och 10 MVA [15].

I Asker omformarstation används Q48/Q49-omformare.

Q48 är benämning på omformarvagnen som är ca 10,5 m och väger totalt 138 ton. Denna vagn består av sex axlar som har ett fördelat axeltryck om 23 ton per axel [15].

Q49 är benämning på apparatvagnen som är ca 9,5 m och väger totalt 58,5 ton. Denna vagn består av tre axlar som har ett fördelat axeltryck om 19,5 ton per axel [15].

På omformarvagnen är motorn och generatoren för frekvensomformningen placerade, dessa har märkdata enligt Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Vagn Q48 specifikationer

	Motor (primärsida)	Generator (sekundärsida)
Märkspänning [kV]	6,3	5,2
Poltal	12	4
Varvtal [rpm]	500	500
Märkeffekt [MVA]	10,7	10,0
Kopplingsart	Y	- (enfasig)
Frekvens [Hz]	50	16,7

På apparatvagnen står utrustning för lokal övervakning av omformaren, inkommande ställverk, enfastransformator, skydd för omformaren samt den automatik som krävs för inkoppling mot nätet.

Omformare i en Q48/Q49 är dimensionerade för att klara en kontinuerlig last på 7 MVA med $\cos\varphi=0,8$ och överlast upp till 14 MVA med $\cos\varphi=0,9$ i 6 minuter [15].

4.2 Konceptet mobila omriktare

Mobila omriktare är ett relativt nytt koncept för banmatning, där omriktaren består av sex moduler:

- Omriktare
- Filter
- Inkommande ställverk
- Utgående 15 kV ställverk
- Trefastransformator 50 Hz
- Enfastransformator 16,7 Hz

Konceptet är framtaget för att leverera effekten där den behövs som mest. Anläggning skall från att vara placerad i en station och generera effekt till kontaktledningen, till att vara klar för idriftsättning i en annan station på två veckor. Omplaceringen innefattar alltså att anläggningen först monteras ner, transporteras till den nya anläggningsplatsen med hjälp av lastbilar, monteras och driftsätts för att generera effekt på den nya anläggningsplatsen.

Anläggningen är väderskyddad och uppfyller standarder för att stå placerad utomhus ner till 40 minusgrader. Den mobila omriktaren är en 15 MVA anläggning, som används med befintligt ställverk alternativt tillsammans med en kopplingscentral, beroende på om befintligt ställverk eller kopplingscentral används för fördelning av effekten till kontaktledningen. Anläggning behöver förutom kablage mellan modulerna även anslutas mot den befintliga anläggningens jordskena alternativt till egna jordspett avsedda för den mobila stationen. [24]

Den mobila omriktaren är tillverkad enligt IEC och EN-standarder vilka är ledande i både Sverige och Norge. Den är även anpassad för att passa de övriga norska standarderna. Om mobila omriktaren skall installeras i Sverige finns ytterligare svenska föreskrifter som måste följas.

4.2.1 Dimensioner av moduler

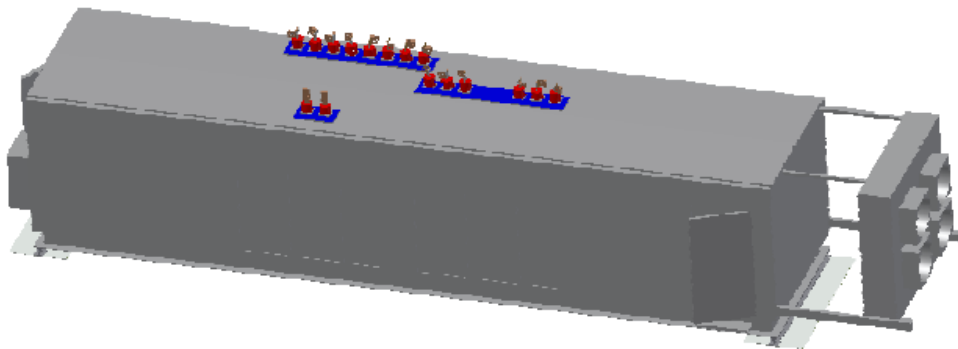
För att undersöka möjligheten att fysiskt placera omriktare i den befintliga stationen krävs dimensioner av de moduler som skall inhysas. Tabell 4.2 visar dimensionerna av modulerna som krävs för mobila omriktaren. [25, 26, 27, 28, 29, 30, 31]

Tabell 4.2: Modulspecifikationer yttermått och vikt.

Modul	Bredd [m]	Höjd [m]	Längd [m]	Totalvikt [ton]
Omriktare	3,0	3,3	15,6	28
Filter	3,4	3,5	8,0	14
AIS-Ställverk 22 kV	3,5	3,5	5,2	8
Ställverk 15 kV	3,4	3,6	10	18
Trefastransformator	3,2	3,5	7,1	38
Enfastransformator	3,3	3,5	6,9	58

4.2.1.1 Omriktarmodul

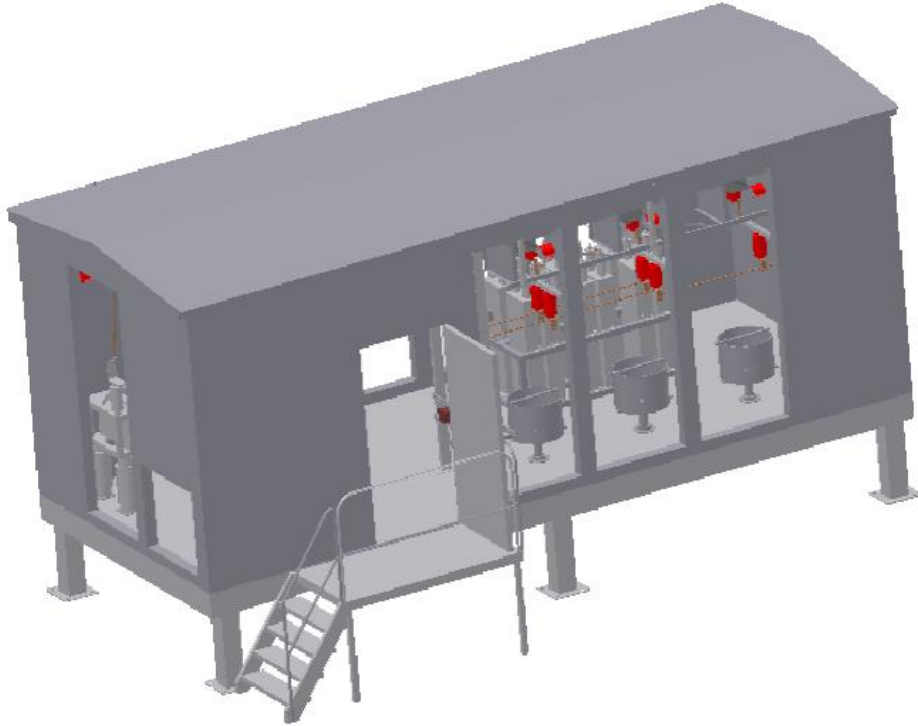
Omriktarmodulen är en modul i containerutförande, se Figur 4.1, och innehåller tre rum; kylrum, omriktarrum samt kontrollrum. Kontrollrummet är huvudenheten där omriktardator finns för kontroll och övervakning. I omriktarrummet återfinns halvledare och kretsar för frekvensomriktning. Omriktaren är av typen 12-puls PCS-omriktare. I kylrummet återfinns vattenkylningsaggregatet, för kylning av halvledarkomponenterna. Anslutningspunkterna för huvudkretsen till omriktaren återfinns på taket av omriktarmodulen där anslutningspunkterna för enfastransformatorn och för trefastransformatorn samt för 33Hz filtret som är anslutet i transformator kärlet.



Figur 4.1: Omriktarmodul med anslutningar på taket. Modulen har två ingångar, en på långsidan, in till kylrummet och en på kortsidan (till vänster i bild), till kontrollrummet. På figurens högra sida syns kylfläktarna, 3D-modellen är skapad av Torbjörn Dahlin på Balfour Beatty Rail AB

4.2.1.2 Filtermodul

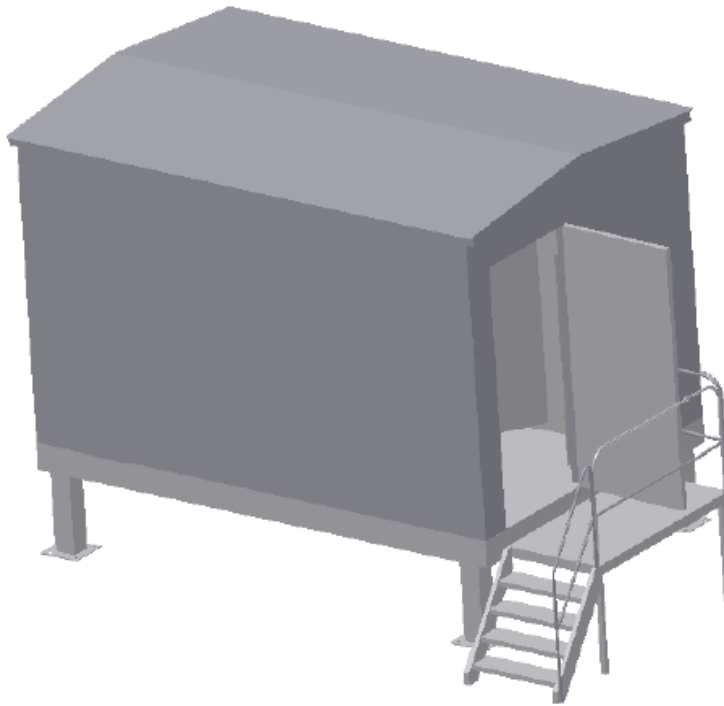
Filtermodulen är en modul i containerutförande, se Figur 4.2, och är utrustad med två filter, ett enfas- samt ett trefasfilter. Anslutningarna för enfas- och trefasfiltret kommer in via golvet i filtercontainern och sitter ansluta till respektive filter.



Figur 4.2: Filtermodul, 3D-modellen är skapad av Torbjörn Dahlin på Balfour Beatty Rail AB

4.2.1.3 AIS-modul

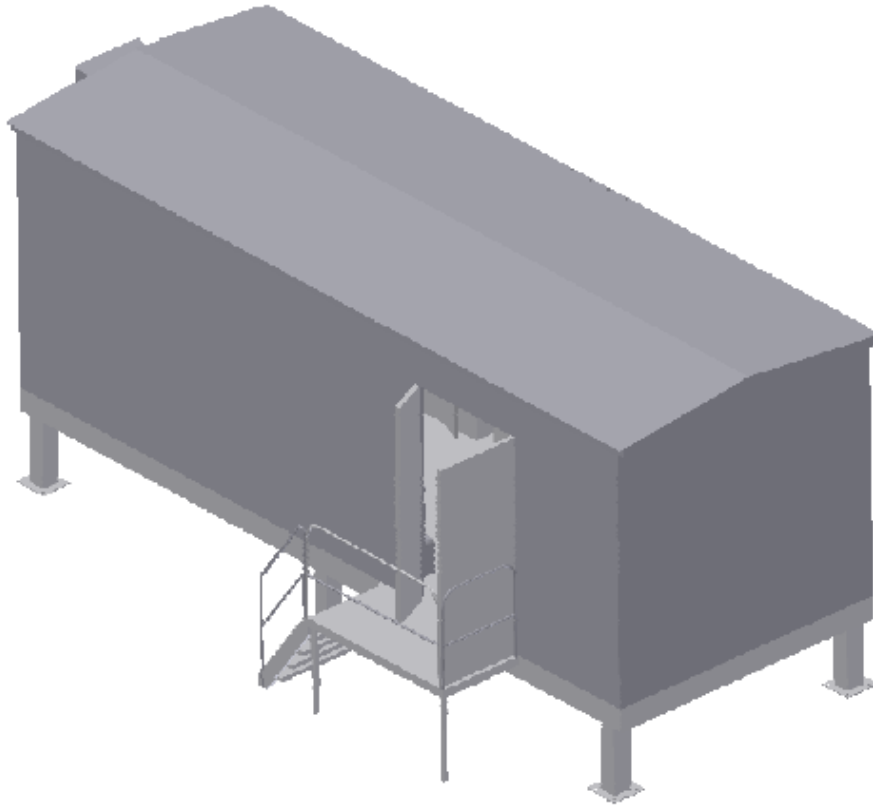
AIS-Modulen är bestyckad med ett inkommande trefasställverk där, brytare, kontrollskåp och övervakningsutrustning finns, se Figur 4.3. AIS containern har två ställverksfack och två kontrollskåp. Inkommande och utgående kablar ansluts genom golvet.



Figur 4.3: AIS-modul, 3D-modellen är skapad av Torbjörn Dahlin på Balfour Beatty Rail AB

4.2.1.4 15 kV Ställverksmodul

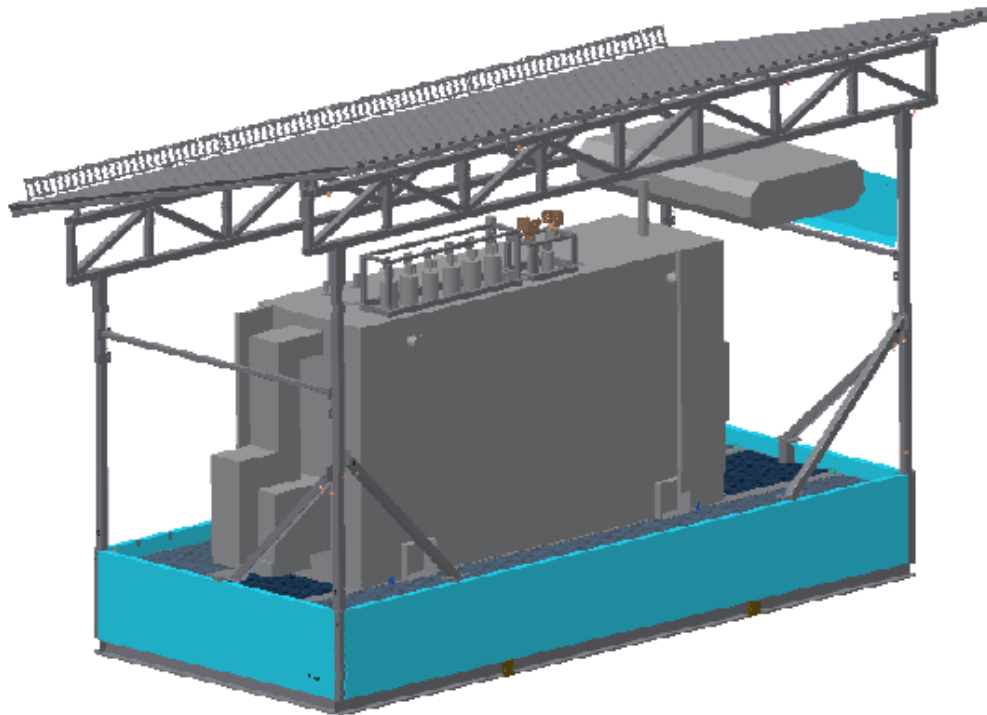
15 kV-ställverksmodulen är en modul i containerutförande, se Figur 4.4. Modulen är utrustad med 110 VDC-ställverk, 400 V-ställverk, lokalkrafttransformator från 15 kV samlingsskenan för 16,7 Hz som är kombinerad med en lokal frekvensomriktare för 400 V, övrig kontrollutrustning samt ett 15 kV-ställverk med omriktarens E-brytare.



Figur 4.4: 15 kV ställverksmodul, 3D-modellen är skapad av Torbjörn Dahlin på Balfour Beatty Rail AB

4.2.1.5 Trefastransformatormodul

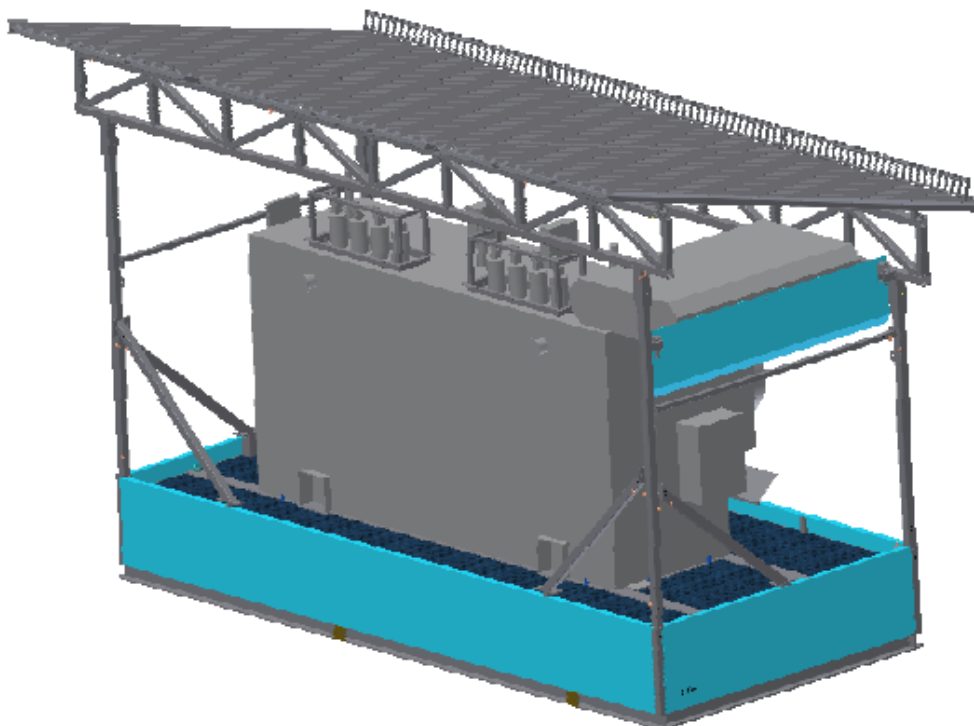
Trefastransformatorn är en 22/3 kV 50 Hz-transformator, se Figur 4.5, som är utrustad med två specialtillämpade sekundärlindningar, där ena används för anslutning av filter samt den andra för anslutning mot reservmatning för lokalkraft. I trefastransformatorns oljekärl innehar även mellanledsfiltret för 33 Hz-övertoner för att få tillräckligt med kylning.



Figur 4.5: trefastransformatormodul med oljeuppsamlingsstråg, 3D-modellen är skapad av Torbjörn Dahlin på Balfour Beatty Rail AB

4.2.1.6 Enfastransformatormodul

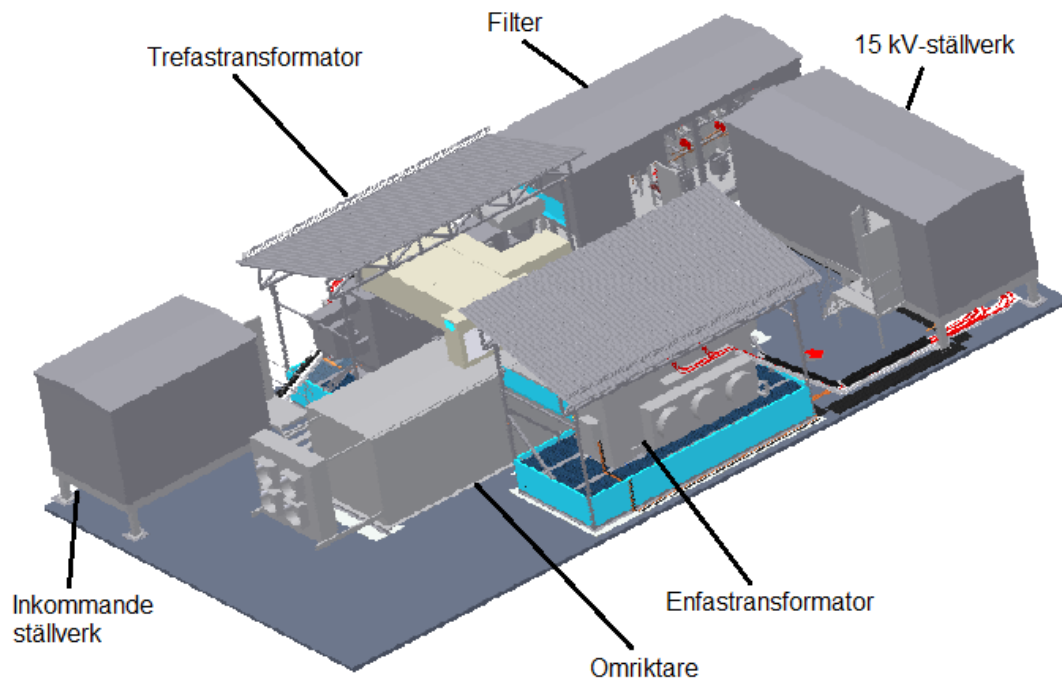
Enfastransformatorn är en 16/3 kV 16,7 Hz-transformator, se Figur 4.6.



Figur 4.6: enfastransformatormodul med oljeuppsamlingsstråg, 3D-modellen är skapad av Torbjörn Dahlin på Balfour Beatty Rail AB

4.2.1.7 Situationsplan över tidigare uppställning

Figur 4.7 visar hur den mobila omriktaren är uppställd i Holmlia och Alnabru.



Figur 4.7: Ordinarie uppställning av mobil statisk omriktare med skenförbindelse mellan omriktare och transformatorer, 3D-modellen är skapad av Torbjörn Dahlin på Balfour Beatty Rail AB

5 Elektrisk och mekanisk genomförbarhet

För att genomföra en uppgradering av en station fordras specifikationer på vad som krävs av moduler och station, både elektriskt och mekaniskt.

5.1 Uppställning av mobil statisk omriktare i Asker

För att både ställa upp och transportera modulerna för omriktaren på ett smidigt sätt är ett alternativ att ställa dessa på järnvägsvagnar inne i stationen.

Då Asker station för närvarande har mobila omformare installerade så står dessa redan på räls, vilket gör att det inte behöver anläggas någon ny räls i stationen. De vagnar som används till mobila omformare är dock inte möjliga att återanvända till det mobila omriktarkonceptet då de är fast monterade i de roterande omformarna. Detta gör att nya vagnar måste framställas som klarar modulernas vikter och mått. Vagnarna bör vara så korta som möjligt, då det är begränsat med plats i vagnhallarna. Det bör vara minst en meter mellan modulerna för möjlighet att öppna dörrar. Samtidigt bör avstånden inte vara för stora för att utnyttja vagnhallarna på ett effektivt sätt [8]. Med ett meterstort mellanrum mellan vagnarna blir uppställning möjlig att utföra enligt Bilaga A.

5.1.1 Filter- och ställverksmoduler

Då filter- och ställverksmodul är planerat att placeras i samma vagnhall gör detta att det är möjligt att ställa dessa på en gemensam vagn. Det finns en standardvagn som heter LGNS [32] som skulle passa detta ändamål. LGNS-vagnar finns i olika längder och viktklasser, en LGNS-752 har en lastlängd på ca 14,6 m vilket gör att det mellan modulerna skulle bli 1,2 m. Vagnen har en maxlast på 33 ton vilket gör att filter- och ställverksmodulen inte överlastar vagnen, då dessa tillsammans väger 21 ton. Det kan dock krävas modifikationer på vagnen för att passa dessa moduler.

Då modulerna placeras på en järnvägsvagn kommer inte stödbenen behövas från den ursprungliga konstruktionen, se Figur 4.2 och Figur 4.3. Denna förändring medför att det i järnvägsvagnen krävs hål för de inkommande och utgående kontrollkablar som ansluts undertill modulerna.

5.1.2 Omriktarmodulen

Omriktarmodulen är ca 16 meter lång och väger 28 ton. LGJNS är en järnvägsvagn av standardutförande som är 17,1 m lång och har en maxlast på 33 ton vilket gör att denna vagn passar till att bära omriktarmodulen [32].

Då omriktarmodulen placeras på en järnvägsvagn kommer inte stödbenen behövas från den ursprungliga konstruktionen, se Figur 4.1. Denna förändring medför att det i järnvägsvagnen krävs hål för de inkommande och utgående kontrollkablar som ansluts undertill modulen.

5.1.3 Transformatorer

Trefastransformatoren är 7,1 m lång och dess totalvikt är 38 ton, enfastransformatoren är 6,9 m lång med totalvikten 58 ton. Vikten och längden gör att det är inte finns några standardiserade vagnar för dessa.

Det finns så kallade U-vagnar av olika storlekar som är utformade för att klara transport av stora och tunga maskiner och transformatorer [32]. U-vagnar är gjorda för att minska höjden över rälsen genom en typ av U-form. Formen gör att hjulen hamnar framför och bakom lastlängden, istället för under den. Att inte ha hjulen under lasten medför att det krävs många hjulpar för att bära lasten samt att det medför att totallängden blir längre än vad själva modulen är. Då transformatorerna inte är högre än någon av de andra modulerna medför detta att de skulle gå att ställa på en plan vagn, inte en U-vagn, vilket skulle medföra en minskad längd av hela ekipaget. En möjlig lösning på problemet med att transformatorerna är tunga och därför besvärliga att placera på järnvägsvagn är att ställa dessa på golvet och skjuta in. Om transformatorerna skjuts in medför dock detta att mobiliteten av anläggningen blir påverkad.

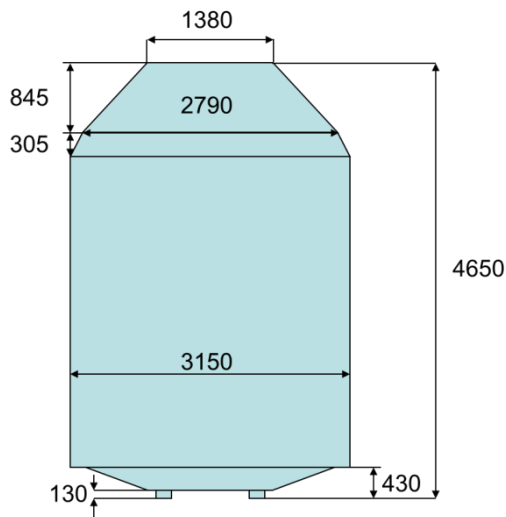
Enligt svensk standard 421 01 01 så krävs att transformatorerna har någon typ av oljekärl för uppsamling av den isolerande oljan vid ett eventuellt läckage. Det vore till stor fördel om detta kärl gick att integrera i järnvägsvagnen för att skapa en mindre skrymmande modul [33].

Då transformatorerna är tillverkade för att stå utomhus är dessa skapade med ett plåttak integrerat i oljegropen, se Figur 4.5 och Figur 4.6. När transformatorerna istället placeras inomhus kommer inte dessa tak att krävas, vilket gör att de utgår från ordinarie konstruktion.

5.2 Transport av moduler

Järnvägstransporter längs en elektrificerad järnväg har en begränsad lastprofil, denna lastprofil är begränsad för tunnlar, snäva svängar samt för att erhålla ett säkerhetsavstånd från närområdet till kontaktledningen.

Lastprofilen är uppbyggd så att lasten vid snäva svängar inte ska bidra med ett för stort utstick från spårområdet, därför är lastprofilen avsmalnande längst upp. I Sverige används lastprofilerna A, B och C [34] för olika spårtyper och i Norge används en standardiserad lastprofil som liknar Sveriges lastprofil A, se Figur 5.1.



Figur 5.1: Lastprofil för transport på norska järnvägar

Om en transport inte är möjlig att genomföra utan att frångå den ordinarie lastprofilen måste ansökan om ett transporttillstånd för specialtransport skickas till ansvarig myndighet, i Sverige är denna myndighet Trafikverket. [34, 35]

5.3 Placering av moduler

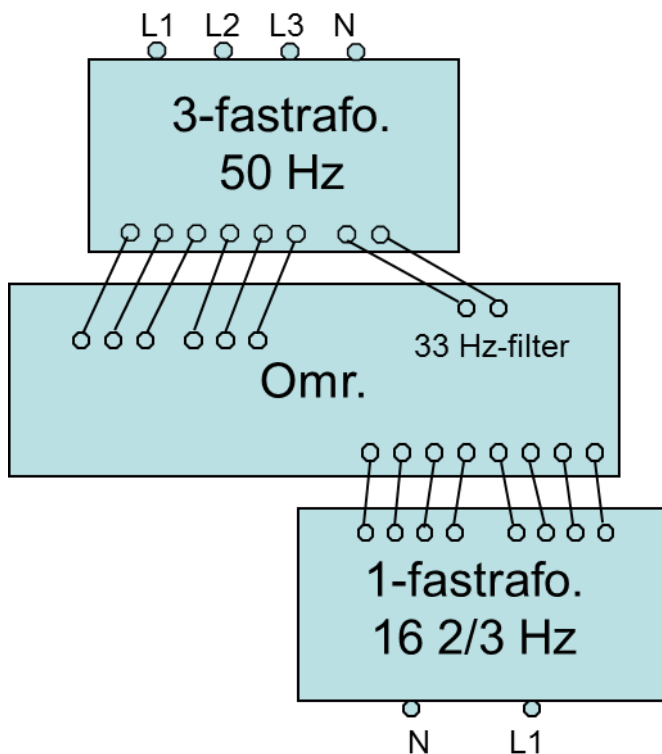
I Asker skall tre omformare ersättas med två mobila omriktare. Då en mobil statisk omriktare kräver mer utrymme än en mobil roterande omformare, är det inte möjligt att ersätta tre omformare med tre omriktare utan att ha tillgång till större yta, se Bilaga A. De moduler som de mobila omriktarna kommer bestå av i Asker är följande:

- Omriktare
- Filter
- Ställverk i AIS-utförande
- Trefastransformator
- Enfastransformator

Trefastransformator, omriktare och enfastransformator för den ena omriktaren skall placeras i vagnhall 1, respektive vagnhall 2 för den andra omriktaren. Vagnhall 3 kommer att vara gemensamt utrymme för de båda omriktarna där ställverk- och filtermodul för de båda omriktarna placeras, se Bilaga A.

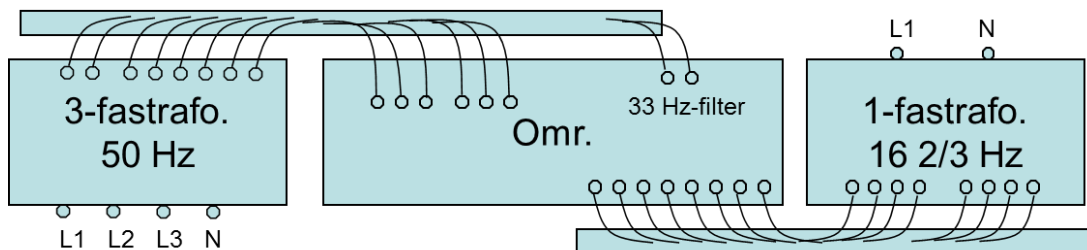
5.4 Effektöverföring till och från omriktaren

Modulerna för den mobila omriktaren är anpassade för att placeras sida vid sida enligt Figur 5.2. Modulerna är sammankopplade med skenförband av aluminiumrör med en ledararea av ca 2800 mm² med en ytterdiameter på ca 100 mm.



Figur 5.2: Dagens uppställningsplan för mobil statisk omriktare

Då uppställningen i Asker inte är möjligt att göra enligt Figur 5.2 så måste antingen nya skenlösningar utvecklas, eller så måste dessa ersättas av kabelförband. Uppställningen i Asker kommer istället att bli som visas i Figur 5.3.



Figur 5.3: Planerad uppställning av omriktare i Asker station

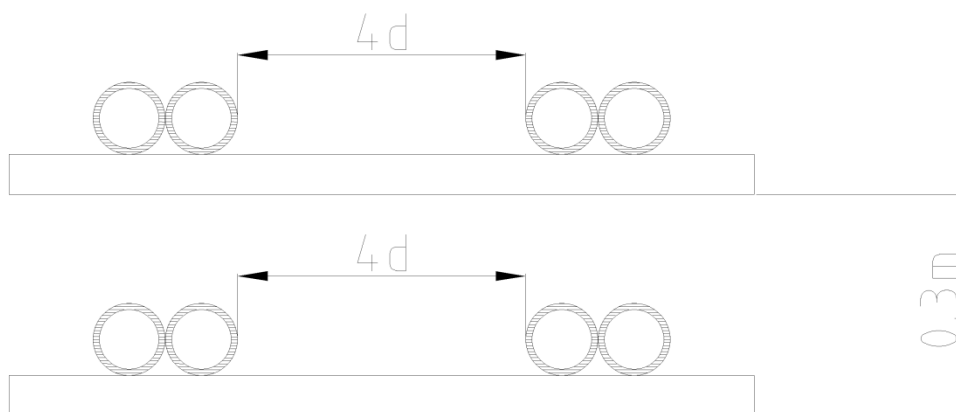
Vid standardutförande av den mobila omriktaren är denna anpassad för att placeras och drifställas utomhus vilket i enlighet med Svensk Standard 421 01 01 , Tabell 1 medför att skenorna måste ha ett isoleringsavstånd mellan varandra på 120 mm. Om dessa anpassas för att ställas upp inomhus kan detta säkerhetsavstånd minskas till 60 mm [33]. Det medför att det isoleringsavståndet blir 1,22 m för samtliga skenor mellan omriktaren och en transformator för att uppfylla standarden. Skenor har låg flexibilitet och blir känsliga för om uppställningen på något sätt förändras. Om skenor skall tillämpas minskar även flexibiliteten med olika uppställningsmöjligheter.

Om istället kabelförband utförs i enlighet med Bilaga B och kablarna förläggas på öppna stegar minst 0,3 m över varandra, så medför detta att det skulle bli $3 \times 240 \text{ mm}^2$

Cu-kablar för varje anslutningspunkt. Mellan omriktaren och respektive transformator resulterar detta i 24 kablar.

En 240 mm² Cu-kabel för 3 kV har en ytterdiameter på 36,7 mm [36].

Med förläggningssätt enligt norsk standard [37] Figur 5.4 resulterar detta i att en 800 mm steg rymmer samtliga kablar för maximalt tre anslutningspunkter. För att placera samtliga kablar mellan omriktaren och trefastransformator, inklusive 33 Hz-filter, krävs 3 stegar med 8 ledare på varje steg. Även för enfastransformatorn krävs 3 stegar med 8 ledare på varje.



Figur 5.4: Kabelförläggning med två stegar över varandra, där d motsvarar en kabeldiameter

5.5 Gränssnitt mellan omriktare och befintlig station

Uppställningen i Asker är olik från grundutförandet då Asker station utformas med fem moduler, på grund av begränsad uppställningsyta. Modulen för enfasstälverket uteblir och dess komponenter blir istället placerade i den befintliga byggnaden.

Ett exempel på hur enlinjeschema kan se ut efter att uppgradering är utförd visas i Bilaga C.

5.5.1 Allmänt om 15 kV ställverket

Det är möjligt att återanvända de ställverksskåp som för närvarande finns till de utgående linjerna. Om mer plats skulle behövas i ställverksrummet, till exempel för fler utgående linjer, så skulle provinkopplingskåpen ersättas med nyare teknik i form av linjeprovutrustning, AGP (Abzweiggebundene Prüfeinrichtung), tillsammans med en LTC (Line Test Controller) som är gränssnittet mellan AGP och överordnade system samt dess användare. Dessa komponenter kopplas in i samma skåp som linjens utgående brytare. Detta skulle frigöra ett ställverksfack per utgående linje. Då dagens provinkopplingskåp är funktionella och inga planer på fler linjer finns så finns ingen anledning att ersätta dessa provinkopplingsbrytare.

5.5.2 Anslutning av kraftkabel till AIS-ställverk

Vid användning av de mobila enheterna kommer befintliga ställverk och kontrollrum återanvändas i Asker. Inkommande 22 kV matarledningar från kraftleverantören skall anslutas direkt till AIS-Ställverken för respektive omriktare utan några förändringar.

5.5.3 Anslutning från enfastransformatorn till ställverk

E-Brytaren är omriktarens effektbrytare mot samlingsskenan. Brytaren är en 15 kV 16,7 Hz vakuumbrytare i truckutförande för frångiljningsfunktion. Brytaren återfanns i den tidigare modulen för enfasstallverket, som inte levereras till Asker. Befintligt ställverk är utrustat med ett fack per omformare. Dessa fack består av frångiljare, då brytare sitter inne i apparatvagnen för omformaren. Detta innebär att vid anslutning av omriktarna mot samlingsskenan kan E-brytare placeras i de befintliga frångiljarfacken, se Figur 5.5. Skåpet för en E-brytare är 800 mm brett, vilket gör att det går att infästa brytarna i de befintliga skåpen för omformarnas frångiljare, då dessa är 1000 mm breda. Då samlingsskenan är utrustad med sektioneringsbrytare som har möjlighet att dela samlingsskenan för ökad driftsäkerhet bör E-brytarna från de nya omriktarna därför monteras på var sin sida av sektioneringsbrytaren. Vid infästning av de nya brytarna i tidigare ställverksfack behövs nya anslutningar mellan befintliga samlingsskenorna och E-brytarna.

Vid utformning av en lågspänningsdel i tidigare ställverksfack måste gott om plats finnas för inkoppling av mättransformatorer, brytarförreglingar, manöverspänningar, mätkretsar samt för reläskydd. I Svensk Standard 421 01 01 avsnitt 5.2.1.1 står att [33]:

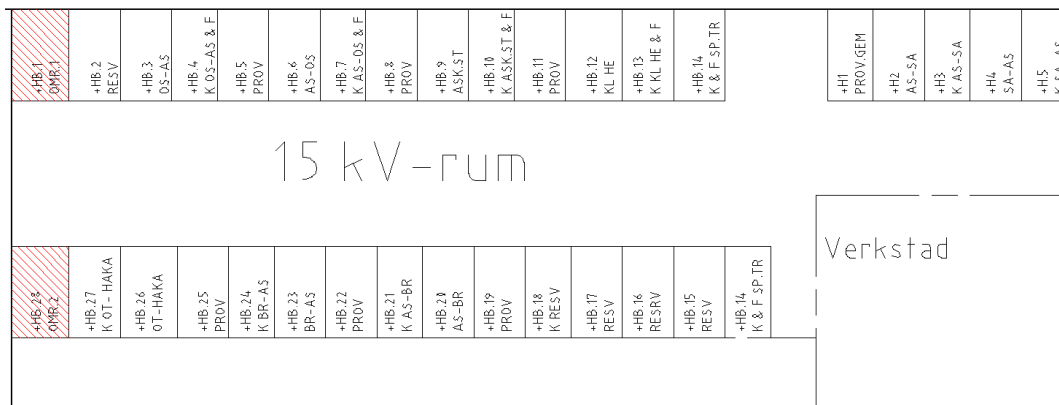
”En anordning skall finnas som indikerar kontaktläget på brytande eller frångiljande utrustning (inklusive jordningskopplare), antingen genom att kontakterna är direkt synliga eller med mekanisk lägesindikering.”

Detta medför att E-brytaren måste utrustas med lägesindikeringar för respektive frångiljare och brytare. Lägesindikeringar skall därmed monteras utanpå respektive brytarfack.

I Svensk Standard 421 01 01 avsnitt 5.2.1.3 står att [33]:

”När användaren särskilt anger detta skall lämpliga förreglingar och/eller låsanordningar för att förhindra felmanöver.”

Detta innebär att brytarna för enfasstallverket behöver förreglas gentemot övriga manöverdon i ställverket samt att brytaren skall förreglas mot omriktaren.



Figur 5.5: Utdrag ur Bilaga A över 15 kV-ställverksrum, de streckade är de nya brytarfacken för omriktaren som ersätter fränskiljarna för omformarna

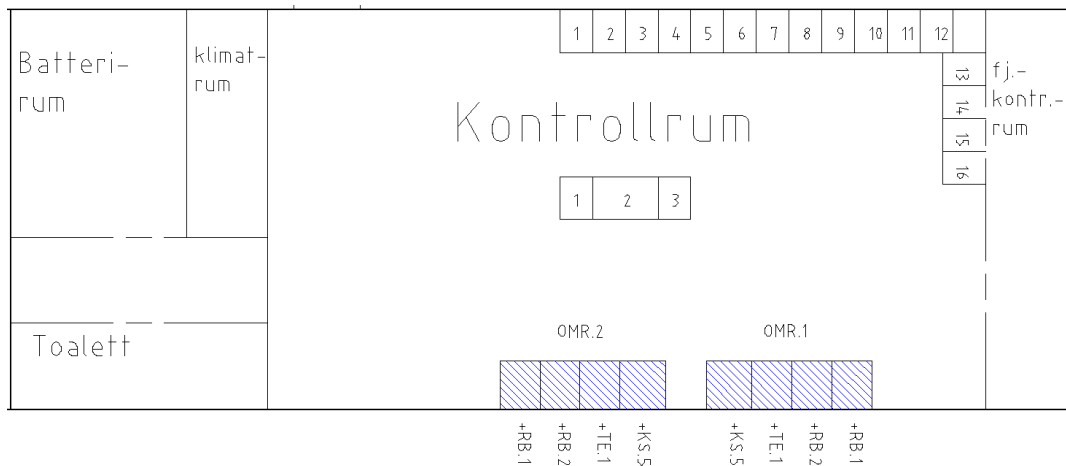
5.5.4 Kontroll och övervakningsutrustning

Då enfasstallverksmodulen för de mobila omriktarna uteblir, behöver kontrollskåpen placeras i befintlig station, +RB.1, +RB.2, +KS.5 och +TE.1 kan då placeras i kontrollrummet, se Tabell 5.1 samt Figur 5.6.

Tabell 5.1: Kontrollskåp för omriktare och dess uppgifter

Kontrollskåp [Beteckning]	Uppgift
+RB.1	Kontrollskåp för enfasstallverk
+RB.2	Loggutrustning
+TE.1	Teknikskåp
+KS.5	Kontrollskåp för omriktare

Teknikskåpet +TE.1 är ett skåp per omriktare för styrning och fjärrsignalering som har möjlighet att kombineras med varandra och leda till gemensamt teknikskåp för de båda omriktarna. Dessa skåp kommer att behöva signaler och spänningar från samtliga moduler och även den befintliga anläggningen. Nuvarande kontrollskåp i Askers kontrollrum använder mekaniska reläer och skydd. Eftersom reläer och skydd för den mobila enheten är elektroniska skiljs dessa från det befintliga systemet.



Figur 5.6: Utdrag ur Bilaga A över kontrollrummet, de streckade skåpen är kontrollskåpen för omriktarna

5.6 Sammanfattning av genomförande

De tidigare byggda mobila omriktarstationerna är utformade för att stå uppställda på en relativt stor kvadratisk uppställningsyta utomhus. I detta fall då omriktarstationen skall byggas in i ett befintligt bergtrum kommer andra lösningar för sammankopplingen att krävas. Tidigare har modulerna blivit placerade enligt Figur 4.7. I Asker omriktarstation kommer modulerna att placeras enligt Bilaga A.

5.6.1 Modifikationer som påverkar befintlig anläggning och mobila moduler

För att samtliga komponenter skall inrymmas i den befintliga anläggningen krävs att vissa förändringar görs. Dagens byggnad rymmer inte samtliga sex moduler, därmed har 15 kV ställverks-modulen brutits ner i dess komponenter som därefter delats upp och placerats i det befintliga ställverket och kontrollrummet. De komponenter som då behöver placeras ut är fem skåp per omriktare:

- HB – E-brytare 15 kV 16,7 Hz mellan omriktare och samlingskena. Ersätter omformarnas frånskiljare i ställverksrummet
- KS.5 – Kontrollskåp för omriktare, placeras i kontrollrummet
- TE.1 – Teknikskåp, placeras i kontrollrummet
- RB.2 – Loggutrustningsskåp, placeras i kontrollrummet
- RB.1 – Kontrollskåp för enfasställverk, placeras i kontrollrummet

5.6.2 Modifikationer på mobila omriktare

Då omriktarna ställs på rad enligt Bilaga A kommer inte det tidigare skenpaketet att vara möjligt att användas då modulerna är byggda för att ställas bredvid varandra, vilket gör att skenorna inte är kompatibla när modulerna ställs på rad. Istället

sammankopplas modulerna med kablar. Då skenpaket byts ut mot kablar krävs beräkningar för kabeldimensionering enligt Bilaga B.

5.6.3 Tillämpning av denna teknik i Sverige

Då kontaktledningens spänning i Sverige är densamma som i Norge samt att frekvenser både på matande nät och på kontaktledning är desamma i de båda länderna så kan en likadan omriktare användas i Sverige. Det som skiljer banmatningen åt i de olika länderna är i stora drag endast matarledningen. Matarledningen påverkas inte av om det är en omformare eller omriktare som frekvensomformar spänningen.

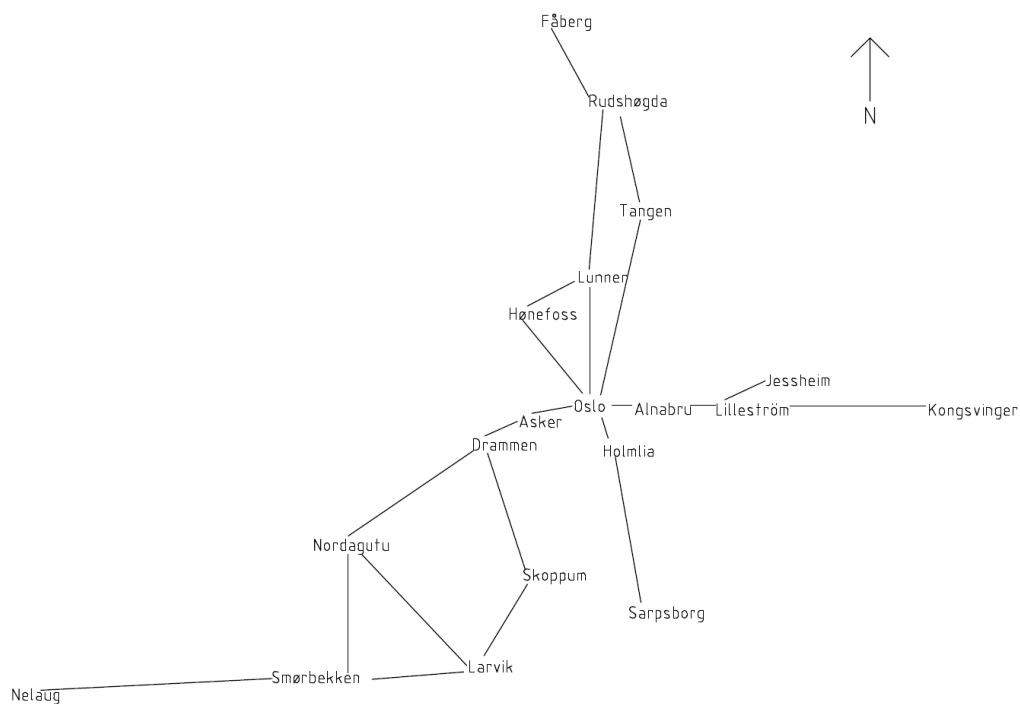
6 Effektflödessimulering

För att utföra rimliga beräkningar över effekten som tas ut från omformarstationen i Asker utförs simuleringar på tågtrafiken i närområdet. För att utföra denna simulering krävs bakgrundsinformation, både för Asker och omkringliggande stationer samt tågtrafiken i området.

Simuleringen som är utförd är tillhandahållen av Jernbaneverket [7] och är ett typfall över trafik en vardag kl. 15:00-18:00 år 2023 för att få med planerade effektökningar.

6.1 Simulering av tågtrafik

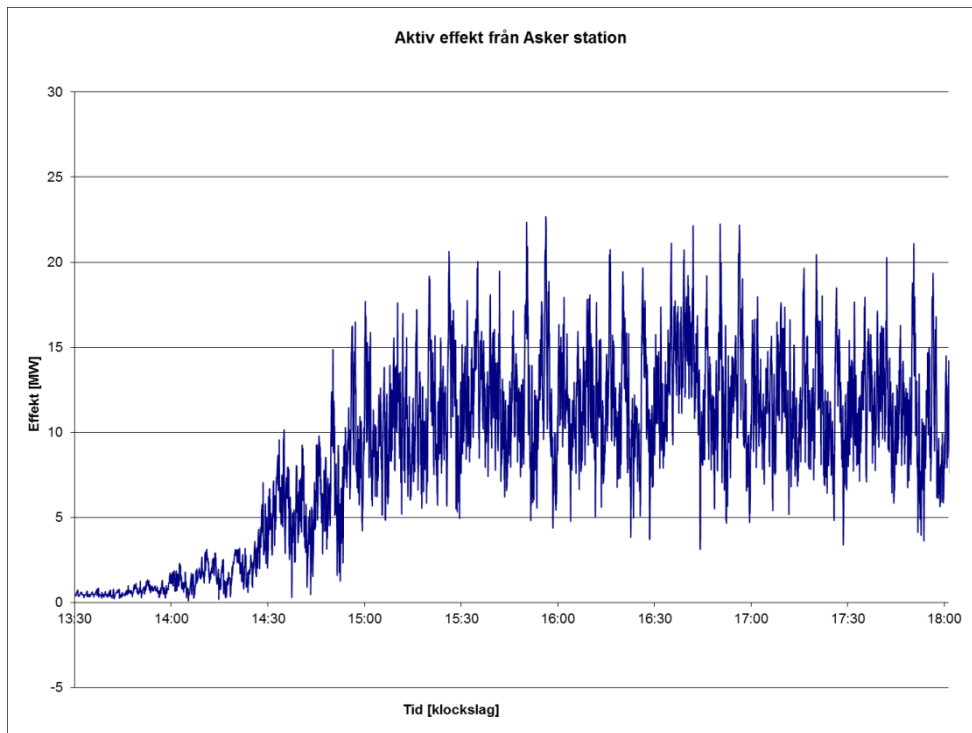
För att uppnå realistiska effektflöden så är det viktigt att simuleringen täcker så stora sträckor som möjligt. Den simulering som tillhandahållits av Jernbaneverket för denna undersökning täcker närområdet till Oslo enligt Figur 6.1.



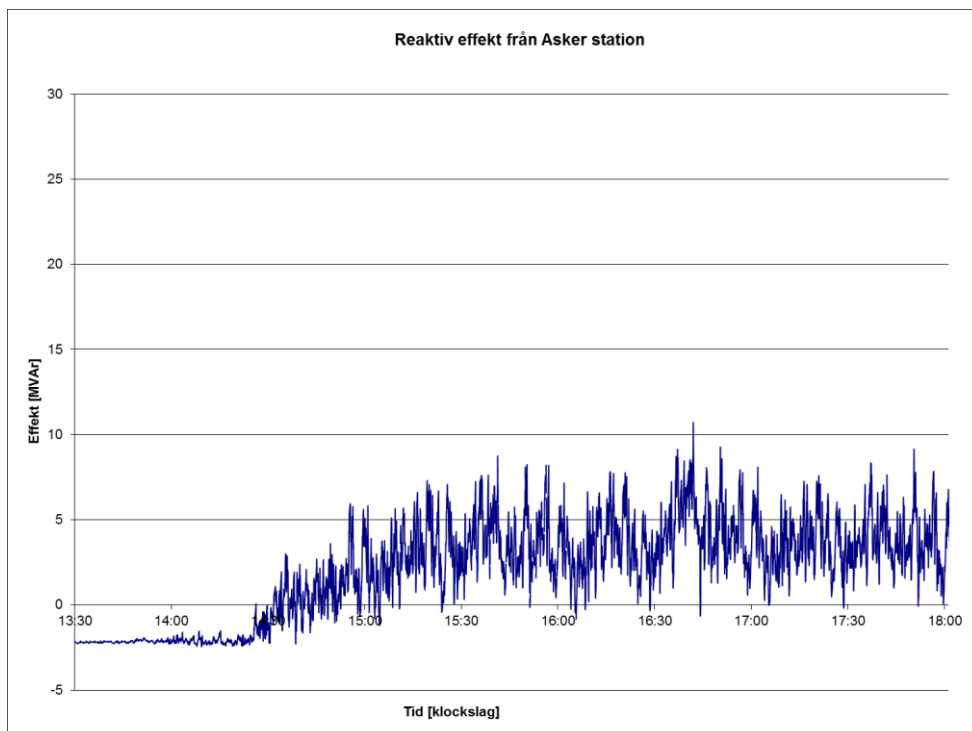
Figur 6.1: Spårvägar mellan matningsstationerna i simuleringen.

6.2 Simuleringsresultat och analys

De värden som använts i denna rapport är den aktiva, Figur 6.2, och reaktiva effekt, Figur 6.3, som matas ut från Asker station. Den punkt var effekten har mätts upp kan ses som skena H i Bilaga C.



Figur 6.2: Simulerad aktiv effekt i Asker omformarstation



Figur 6.3: Simulerad reaktiv effekt i Asker omformarstation

6.3 Bearbetning av simuleringsresultat

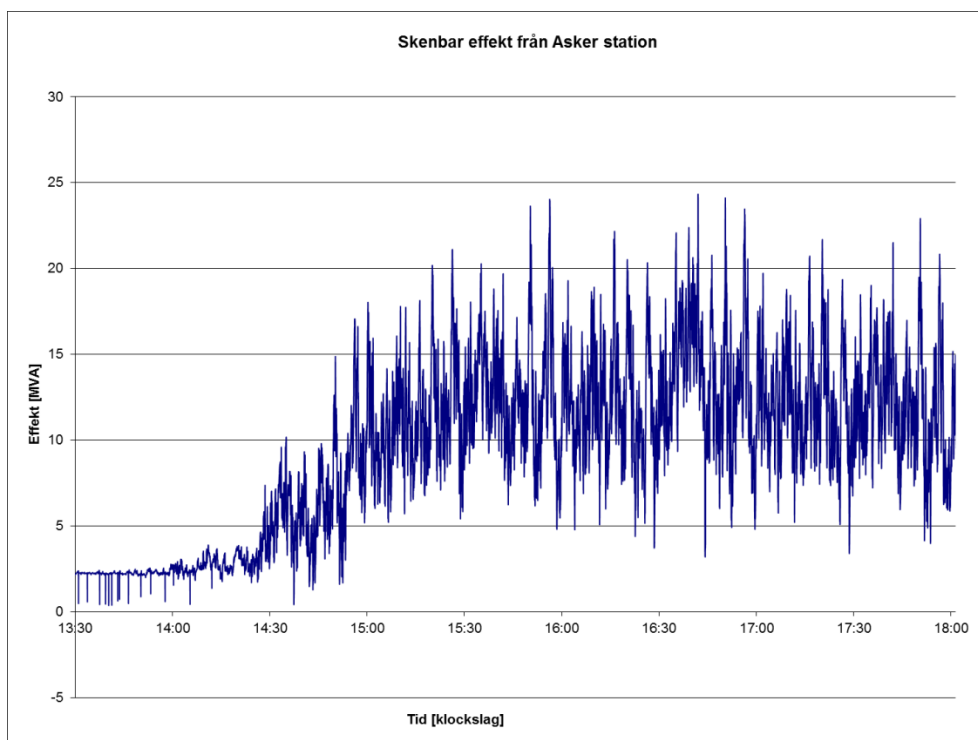
Det reaktiva och aktiva simulerade effektlödet har utnyttjats för beräkning av den skenbara effekten med hjälp av ekvation 4, resultaten visas i Figur 6.4.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4)$$

Där: S = Skenbar effekt

P = Aktiv effekt

Q = Reaktiv effekt



Figur 6.4: Beräknad skenbar effekt i Asker omformarstation

För att få en rimlig fördelning över effektlödet över ett dygn har 25 % extra tid tagits med från resultaten redan före tågen startade, kl. 15:00. Detta visar en mer rimlig varaktighet över ett helt dygn, då denna simulering endast visar normala höglast-perioden mellan intervallet 15:00-18:00. Jernbaneverket har inte utfört några simuleringar över ett helt dygn, då deras simuleringar i första hand används för att dimensionera efter maximala effekter. För att göra dessa antaganden har strömkurvor från Holmlia omriktarstation undersökts, se Bilaga D. Effekten mellan 13:30-14:00 kan då ses som låglast-period motsvarande nattlig drift samt att 14:00-15:00 kan ses som medellast-period.

Figur 6.4 visar att belastningen aldrig överstiger 25 MVA vilket betyder att två omriktare med märkeffekt 15 MVA är tillräckligt för att täcka effektbehovet för Asker station.

7 Ekonomiska kalkyler

Två exempel på LCC-kalkyler och återbetalningstider har beräknats i denna rapport. Det som skiljer kalkylerna åt är att i det ena fallet så försummas omformarnas restvärde. I det andra fallet är restvärde av omformare satt till 39 miljoner NOK, vilket enligt Jernbaneverket var inköspriset för en 38 år gammal omformare inklusive dess transformatorer år 2008. Enligt Jernbaneverket är 38 år den genomsnittliga åldern på deras omformare år 2014 [38].

7.1 Förutsättningar för LCC-kalkyler

Investeringsanalysen för Asker station utförs genom att använda tidigare grundinvestering för Larviks mobila omriktarstation. Investeringskostnaden för Larvik uppgick till ca 45 miljoner NOK per omriktare med dess tillhörande moduler [39]. De underhållskostnader som antagits för omformare och omriktare är de som tidigare tagits fram i LCC-analysen av Niklas Fransson för Trafikverket [9]. Projektomkostnaderna uppgår till 4 miljoner NOK per mobil omriktare [39].

LCC-analysen sträcker sig 25 år med en investeringsränta på 4,5 % i enlighet med Jernbaneverkets riktlinjer för investeringskalkyler. År 2012 var elpriset för Jernbaneverket 0,329 NOK/kWh [38].

För beräkning av restvärde har ekvation 5 använts:

$$R = G \cdot \frac{L-\dot{a}}{L} \quad (5)$$

Där: G = Grundinvestering

L = Ekonomisk livslängd i år

R = Restvärdet

å = Antalet gångna år från grundinvestering

I Tabell 7.1 redovisas de kostnader som LCC-kalkylen tar hänsyn till.

Tabell 7.1: Fasta kostnader för LCC-analys, samtliga värden är tusentals NOK där inget annat anges

Anläggningsdel	10 MVA omformare med tillhörande transformatorer	15 MVA omriktare med tillhörande moduler
Investering	39 000 *	45 000
Projektomkostnader **	-	4 000
Årligt underhåll	77	153
Revisionskostnad ***	15 000	15 000
Statuskontroll	- ****	700
Restvärde efter 25 år	0	16 875
Ekonomisk Livslängd [år]	60	40

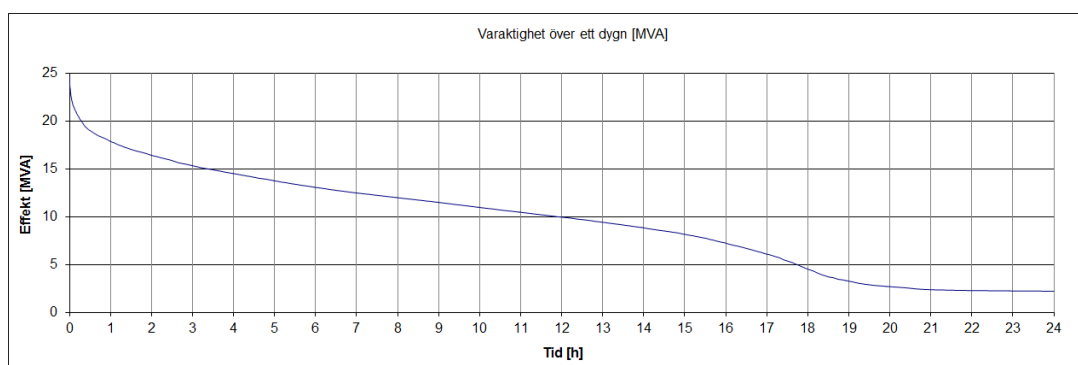
*Investeringskostnad för en 38 år gammal omformare (år 2008) [38]

**Omkostnader som skall täcka omkostnader vid byte till omriktare i form av transport, installation, montage, projektering och konstruktion [39]

***Omformare har revision var 20:e år, omriktare har revision var 25:e år

****Statuskontroll för omformare innefattas av revisionskostnaden

För att utföra förlustberäkningar har en varaktighetskurva, se Figur 7.1, sammanställts utifrån simuleringsresultat som visar skenbar effekt i Asker omformarstation, se Figur 6.4. Utifrån varaktighetskurvan har ett medelvärde beräknats för varje timme över ett dygn för att beräkna förlusteffekterna per timme. För beräkning av förluster har ekvationerna 6 och 7 använts [6].



Figur 7.1: Varaktighetskurva för den skenbara effekten i Asker omformarstation, utifrån värden i Figur 6.4

Antaget är att då effekten överstiger 10 MVA övergår driften från en omformare till två för att en omformare inte skall gå på överlast i onödan. Eftersom omformare har

en hög överbelastningsförmåga så antas att omformare tre inte behöver anslutas då effekten överstiger 20 MVA, detta kan två omformare driva själva då det handlar om låg överlast under en kort tid, ca 1 MVA per omformare i ca 20 minuter per dygn, se Figur 7.1. Maskinchefen i Asker omformarstation styrker även detta genom att påstå att samtliga tre aggregat aldrig drivs samtidigt samt att de två som är i drift aldrig går på kontinuerlig överlast [14].

7.2 Bearbetning av LCC-kalkyl

Varaktighetskurvan undersöks tillsammans med förlustfunktioner, se ekvation 6 för omformare och ekvation 7 för omriktare [6]. Det har utförts beräkningar på ett medelvärde av den skenbara effekten per timme på ett dygn. Den resulterande förlusteffekten har sedan multiplicerats med antalet dagar på ett år för att ge en resulterande förlust på ca 7 556 000 kWh/år för de tre omformarna i Asker station och ca 1 737 000 kWh/år för de två omriktarna med samma förutsättningar som omformarna.

$$W_{fomf} = 0,0094 \cdot S_h^5 - 0,1746 \cdot S_h^4 + 0,835 \cdot S_h^3 + 4,0169 \cdot S_h^2 + 9,8133 \cdot S_h + 256,54 \quad (6)$$

$$W_{fomr} = 0,5354 \cdot S_h^2 + 5,5767 \cdot S_h + 59,19 \quad (7)$$

Där: S_h = Ett medelvärde per timme över ett dygn av den skenbara effekten
 W_{fomf} = Energiförlusterna i en Q48-omformare vid en specifik skenbar effekt över en timme
 W_{fomr} = Energiförlusterna i en PCS-omriktare vid en specifik skenbar effekt över en timme

För att beräkna nuvärdet för samtliga kostnader har ekvationer använts beroende på om kostnaden varit årligt återkommande, ekvation 8, eller en engångskostnad, ekvation 9.

$$NV = K_a \cdot \frac{1}{r} \left(1 - \frac{1}{(1+r)^n}\right) \quad (8)$$

$$NV = K_n \cdot \frac{1}{(1+r)^{n_i}} \quad (9)$$

Där: K_n = Kostnad år n
 K_a = Årligt återkommande kostnad
 n = Kalkylperiod
 n_i = Investeringsår
 NV = Nuvärdet för kostnaden
 r = Investeringsränta

7.3 Resultat av LCC-kalkyl

7.3.1 Nuvärdeskostnad då restvärde av omformare försummas

Tabell 7.2: Samlat nuvärde tusentals NOK från LCC-kalkyl, se Bilaga E

	3 x 10 MVA omformare	2 x 15 MVA omriktare	Differens
Investering	-	90 000	-90 000
Projektomkostnader	-	8 000	-8 000
Underhåll (inkl. revisionskostnad och statuskontroll)	22 104	15 246	6 857
Förlustkostnader	36 892	8 472	28 420
Restvärde år 25*	-	-11 213	11 213
Totalt	58 996	110 505	-51 510

**Då omformarnas ekonomiska livslängd är 60 år och antagen ålder är 38 år i genomsnitt medför detta att de överstigit sin ekonomiska livslängd efter kalkylperioden 25 år*

Analysen visar att ett utbyte av omformare till omriktare leder till en ökad nuvärdeskostnad med ca 51,5 miljoner NOK vid en kalkylperiod på 25 år. För mer utförlig kalkyl, se Bilaga E.

7.3.2 Återbetalningstid då restvärde av omformare inte har försummats

Tabell 7.3: Samlat nuvärde tusentals NOK från LCC-kalkyl, se Bilaga E

	3 x 10 MVA omformare	2 x 15 MVA omriktare	Differens
Investering	-	-27 000	27 000
Projektomkostnader	-	8 000	-8 000
Underhåll (inkl. revisionskostnad och statuskontroll)	22 104	15 246	6 857
Förlustkostnader	36 892	8 472	28 420
Restvärde år 25*	-	-11 213	11 213
Totalt	58 996	-6 494	65 490

**Då omformarnas ekonomiska livslängd är 60 år och antagen ålder är 38 år i genomsnitt medför detta att de överstigit sin ekonomiska livslängd efter kalkylperioden 25 år*

Analysen visar att ett utbyte av omformare till omriktare, med försäljning av omformarna leder till en minskad nuvärdeskostnad med ca 65,5 miljoner NOK vid en kalkylperiod på 25 år. För mer utförlig kalkyl, se Bilaga E.

7.4 Återbetalningstid med pay back-metoden

Pay back-metoden är en enkel form av ekonomisk kalkyl där återbetalningstiden beräknas genom att ta grundinvesteringen genom den årliga besparingen, detta gäller då besparingen är densamma varje år, se ekvation 10. Det som bidrar till den årliga besparingen är underhållskostnader samt förlustkostnader. Denna kalkyl tar inte hänsyn till ränta eller inflation [13].

$$n = \frac{G}{A} \quad (10)$$

Där: A = Den årliga besparingen

G = Grundinvesteringen

n = Återbetalningstiden

I Bilaga E återfinns investeringen, underhållskostnad per år samt förlustkostnader per år före och efter investering.

7.4.1 Återbetalningstid då restvärde av omformare försummas

Tabell 7.4: Pay back-kalkyl, alla värden är i tusentals norska kronor

	Kostnad
G	98 000
Omformare*	2 720
Omriktare*	877
A**	-1 843

*Underhåll samt förlustkostnad per år

** $(\text{Kostnad efter uppgradering av statino}) - (\text{kostnad före uppgradering av station})$

Återbetalningstiden blir med värden ur Tabell 7.4 insatt i ekvation 10 = 53 år.

Enligt denna kalkyl har omriktaren en återbetalningstid på ca 53 år, vilket är något längre än kraven för levnadstiden för omriktaren enligt Jernbaneverkets teknisk beskrivning Mobil omformerenhet, kapittel E0 generelle krav [24]:

”Omformeren skal dimensjoneres og bygges for å ha en levetid på minimum 40 år”.

Denna beräkning innefattar dock inte något restvärde av de roterande omformarna. I nästa avsnitt beskrivs återbetalningstiden då hänsyn till restvärde tas.

7.4.2 Återbetalningstid då restvärde av omformare inte har försumrats

I Asker omformarstation skulle en direkt vinst på 3x39 miljoner erhållas vid försäljning av omformare. Med investeringskostnad av de mobila omriktarna på totalt 98 miljoner NOK skulle detta leda till att ett utbyte ger en direkt vinst på 19 miljoner NOK.

7.5 Nollpunkts-analys

En nollpunkts-analys eller så kallad break even-analys är lämpligt att genomföra för att uppskatta ett minimumkrav på restvärde. Med hjälp av restvärde på de roterande omformarna i Asker kan ett nollpunktsresultat i LCC-kalkylen uppnås.

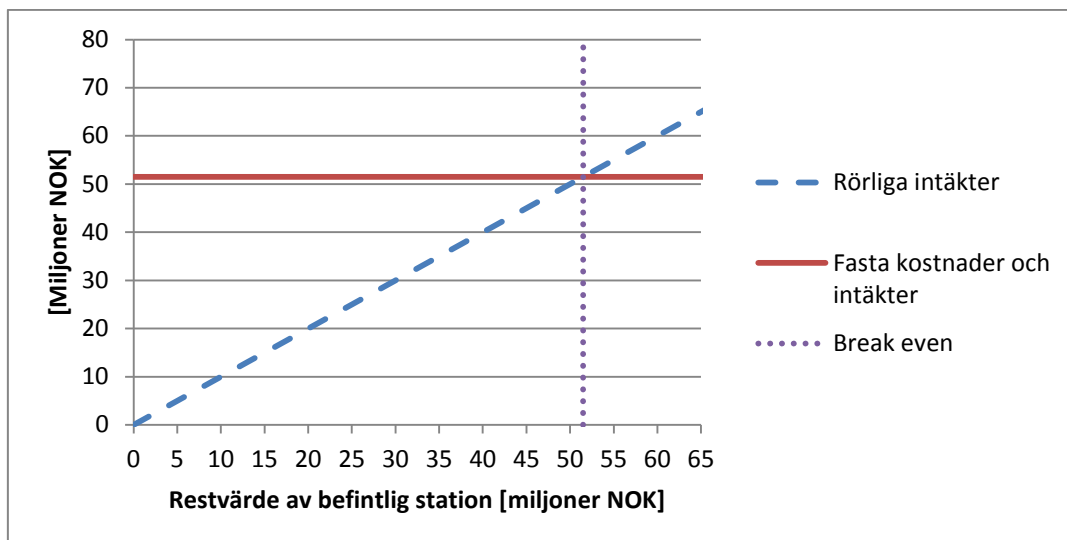
Då ett restvärde kan ses som en direkt inkomst är noll medför restvärdet en direkt inverkan på nuvärdet. För restvärdes-kravet från omformarna krävs endast nuvärdesdifferensen från den kalkyl då inget restvärde av omformare angivits och antalet omformare enligt ekvation 11.

$$NV = (FK + RK - FI) - RI \quad (11)$$

Där:

- FI = Fasta intäkter
- FK = Fasta kostnader
- RI = Rörliga intäkter
- RK = Rörliga kostnader
- NV = Nuvärde

I denna rapport är de fasta kostnaderna och intäkterna samt rörliga kostnaderna det som redovisas som differens mellan nuvärden i LCC-kalkylerna i Bilaga E. De rörliga intäkterna består av det restvärde som kan ses i de roterande omformarna i Asker station. Nollpunktsdiagramet kan utläsas i Figur 7.2.



Figur 7.2: Break even-diagram för Asker omformarstation. Restvärdet för den befintliga stationen bestäms av innehavaren av stationen. Rörligheten av intäkterna är inte antalet enheter eller dylikt, utan ansatt pris.

För att skapa ett nollvärde behöver därmed det totala restvärdet för omformarna uppgå till ca 51,5 miljoner NOK, vilket innebär att varje omformare kräver ett restvärde över 17,2 miljoner NOK för att göra detta utbyte lönsamt.

8 Resultat

8.1 Förändrad installerad effekt

De två mobila statiska omriktarna har en märkeffekt på 15 MVA vardera, vilket gör att totala märkeffekten för två omriktare blir 30 MVA. Genom att justera strömgränsen för en omriktare kan denna få en ökad effekt upp till ca 19 MVA, vilket gör att totala effekten blir 38 MVA [17]. Då den installerade effekten i dagsläget är 3x10 MVA innebär detta att med hjälp av omriktare kan märkeffekten ökas i Asker.

Omriktaren saknar överlastkapacitet, tre installerade omformare har möjlighet att leverera 14 MVA per omformare under sex minuters drift, vilket medför en överlastkapacitet på 42 MVA. Omriktare medför därmed en minskad överlastkapacitet till 38 MVA. För Asker station spelar inte denna minskning av maxeffekt någon roll då utgående effekt aldrig överstiger 25 MVA.

8.2 Uppställningskrav och mobilitet

En mobil statisk omriktare kräver en uppställningslängd på totalt 58 m om dess moduler ställs upp i ett led med ett mellanrum av 1 m. I denna studie överstiger detta den tillgängliga ytan vilket medför att 15 kV-ställverksmodulen utgår och dess ingående anläggningsdelar integreras istället i den befintliga anläggningen. När 15 kV-ställverksmodulen utgår medför detta att den totala längden blir 47,5 m. I Asker station är uppställningsplatsen totalt 105 m.

För att ställa upp en mobil statisk omriktare krävs minimala mått av portar och uppställningsytor som är större än 3,5 m breda och 4,7 m höga. Askers minsta mått är dess portar och dessa uppgår till 3,6 m breda och 4,8 m höga vilket gör det möjligt att föra in modulerna i stationen.

8.3 Ekonomiska resultat

Det ekonomiska resultatet är beroende på restvärdet av de befintliga omformarna i stationen. Om inget restvärde kan ses i omformarna ökar nuvärdeskostnaden med ca 51,5 miljoner NOK samt en pay back-tid på ca 53 år.

Om restvärdet används för omformarna så leder detta till en minskad nuvärdeskostnad på ca 72,5 miljoner NOK samt en pay back-tid på 0 år.

För att uppnå ett nollpunktsresultat krävs ett restvärde av de roterande omformarna om totalt 17,2 miljoner NOK per omformare.

9 Analys

Att byta ut en mobil roterande omformare mot en mobil statisk omriktare medför få komplikationer. Det som skiljer dessa anläggningar åt är att den mobila omriktaren tar upp en större yta än vad omformaren gör.

Då två mobila statiska omriktare ersätter tre mobila omformare så drivs dessa två omriktare samtidigt vid behov. Detta innebär att redundans inte längre finns i form av en reservomriktare på samma sätt som med omformarna där det alltid fanns en reservomformare. Det anses dock att statiska omriktare har en betydligt högre tillgänglighet än vad roterande omformare har vilket medför att de inte kräver någon reservomriktare.

Målet var att bevara så mycket som möjligt, både av befintlig anläggning samt det mobila konceptet. I Asker station krävs avvikelser från det mobila konceptet, på grund av platsbrist utgår den mobila 15 kV-ställverksmodulen. De ingående komponenterna i modulen blir istället placerade i befintlig anläggning i form av ett brytarfack och fyra kontrollskåp per statisk omriktare. Om Asker varit stort nog att inrymma samtliga moduler hade endast det befintliga ställverket använts som en kopplingscentral. Ytterligare modifikation som krävs av modulerna är att sammankopplingen mellan omriktare och transformatorer är komplicerat att utföra med hjälp av skenor. Skenanslutningar kräver precisa avstånd samt att de tar mer plats än kablar. Detta medför att skenorna ersätts med kablar för att öka flexibiliteten av anläggningen.

Det finns specialvagnar som är utformade för att frakta transformatorer, så kallade U-vagnar, dessa tar en stor plats och blir längre än vad som kan tillåtas i Asker station. Då möjligheten finns att transportera modulerna på lastbilar vid flytt kan speciella vagnar utformas på vilka transformatorerna kan ställas upp men inte fraktas utan att överstiga den tillåtna lastprofilen.

Det finns ingenting som tyder på att utbyte av roterande omformare mot mobila statiska omriktare i Sverige skulle innebära ytterligare komplikationer. Dock måste det kontrolleras att de svenska föreskrifterna för omriktarstationer överensstämmer med hur det mobila omriktarkonceptet är byggt.

Ekonomiskt sett så har denna rapport tagit upp två extremfall av kalkyler. I det ena fallet har de installerade omformarna inte något restvärde och i det andra fallet är det antaget att de roterande omformarna har ett restvärde beräknat efter anskaffningsvärde. Inget av dessa extremfall speglar egentligen hela verkligheten, utan detta måste undersökas i varje enskild station. För att ett utbyte skall medföra en direkt lönsamhet är ett krav på restvärde. Då restvärdet av de roterande omformarna påverkar nuvärdet direkt visar detta att ett restvärde över 17,2 miljoner NOK per omformare skulle göra denna affär ekonomiskt lönsam. Restvärdet för en omformare kan uppskattas på olika sätt, exempelvis försäljning av omformaren, skrotvärde,

minskade utgifter i form av inköp av nya omformare eller reservdelar alternativt en ökad vagnpark då detta ökar tillgängligheten. Restvärdet kan variera beroende på hur innehavaren eller köparen värderar omformaren. Då roterande omformare inte längre nytillverkas gör detta att reservomformare är något av en bristvara.

Det finns även tekniska fördelar med en uppgraderad station som är komplicerade att värdera. En uppgradering medför att omformarna kan placeras i andra stationer som förstärkning eller reservomformare, det medför även en förlängd livslängd av den ombyggda stationen samt minskade förlustkostnader. Ett utbyte till omriktare medför även att en möjlighet till effektstyrning skapas.

I denna förstudie har ekonomisk analys utförts med hjälp av simulerade värden över tre timmar. Om effektflöden istället skulle mätas i stationen skulle detta ge en större verklighetsförankring i effektflödet samt i de ekonomiska kalkylerna. Effekterna skulle då mätas över ett helt dygn eller en vecka för att ge större noggrannhet då tågens tidtabeller skiljer sig åt beroende på vilken tid på dygnet det är och om det är helg eller vardag. En fördel med simuleringen är att den tar hänsyn till planerna för framtiden, med förändrad trafik. Ytterligare en fördel med simulering är att det inte blir några problem med driftstörningar som kan uppstå i verkliga mätscenarion vilka kan försvåra analysering av mätningarna.

10 Framtida arbete

10.1 Asker station

För att implementera mobila omriktare i Asker station så är ett alternativ att modulerna placeras på järnvägsvagnar. Detta är något som behöver diskuteras med leverantören av transformatorerna eller alternativt med en tillverkare av järnvägsvagnar, då det inte finns någon standardvagn där transformatorer kan bäras ovanpå hjulaxlarna på grund av deras vikt. Det vore till en stor fördel om samma vagnar även kan tillämpas vid transport av transformatorerna längs järnvägen.

Då den befintliga anläggningen är gammal kan även en undersökning av hur EMC (Electromagnetic Compatibility) vid installation av statiska omriktare krävas, då omriktare kan påverka anläggningen på ett annat sätt mot vad omformarna gjort. För att vara helt säker på kompatibiliteten skulle även termiska beräkningar på transformatorerna och omriktarna krävas för att se om det finns några krav på ökad kylning, eller om den är tillräcklig.

10.2 Generellt för mobila omriktare

10.2.1 Möjlighet till effektstyrning

Roterande omformare har en fast fasvinkel mellan det matande nätet och järnvägsnätet. Denna fasvinkel kan i tomgång leda till att effektflöden uppstår mellan stationer, trots att det inte är någon last på linjen. Effekten matas ut från en station för att sedan återmatas till nätet i en annan station. Detta medför förluster i nätets impedanser. Detta är inte möjligt att justera med roterande omformare, men statiska omriktare kan styra fas vinkeln, så kallad effektstyrning. En undersökning av hur mycket detta egentligen påverkar kostnaden för innehavaren av stationen skulle förstärka argumentet att byta till statiska omriktare.

10.2.2 Möjlighet till effekthöjning

I en Q24/Q25 eller Q38/Q39-station finns det möjlighet att genomföra en liknande studie, då de roterande enheterna har lägre märkeffekter samt lägre verkningsgrad än Q48/Q49. Om en ersättning från Q24/Q25 alternativt Q38/Q39 till en mobil statisk omriktare är möjlig kan detta leda till en betydande effekthöjning och möjligtvis medverka till en snabbare ekonomisk lönsamhet.

Trafikverket har en bergstation med Q38/Q39 omformare i Uddevalla där det finns två Q38 omformare, som då motsvarar totalt 8 MVA.

En annan station med Q48/Q49-omformare skulle kunna få en ökad effekt om AIS- och filter-moduler placeras utanför anläggningen för att inrymma ytterligare en omriktare, vilket inte var möjligt i Asker på grund av begränsat utrymme även utanför stationen.

10.2.3 Uppgradering i en station med högre inkommande spänning

Det kan vara lämpligt att undersöka hur en station med högre inkommande spänning hanteras. Detta kräver att ett GIS-ställverk används och detta bidrar till grövre anslutningskablar. Detta medför att kablarna behöver större böjradie vilket i sin tur har till följd att modulen måste placeras högre över marken, då kablarna ansluts undertill modulen.

10.2.4 Miljöpåverkan

En studie som visar på miljöpåverkan skulle med största sannolikhet höja intresset av att byta från roterande omformare. Roterande omformare har stora energiförluster i form av värme. Även närmiljön för de som arbetar i stationen kan vara möjlig att förbättra i form av minskat buller och minskade vibrationer.

11 Slutsatser och rekommendationer

Installation av mobila omriktare är ett bra alternativ till att använda mobila roterande omformare. De mobila enheterna är även ett bra alternativ till de fast installerade statiska omriktarna som tidigare ersatt roterande omformare. De mobila enheterna ökar möjligheter av omstrukturering och underhåll.

Modulanpassning av en anläggning är en stor fördel då en modul kan bytas ut vid eventuella revisionsarbeten eller uppgraderingar av anläggningen. En modul skapar även en form av standardiserade anläggningar.

Att byta ut mobila roterande omformare mot mobila statiska omriktare kräver inga större förändringar av befintliga anläggningen eller konstruktionen av de mobila statiska omriktare.

Uppgradering av befintliga anläggningar innebär minskade förlustkostnader, fortsatt utnyttjande av befintliga anläggningar och är ett miljövänligt alternativ. Om restvärdeskraven uppnås är ett direkt utbyte även ekonomiskt försvarbart.

Då revision av en roterande omformare är angiven till 15 miljoner NOK skulle detta medför att installation av mobil statisk omriktare är ekonomiskt försvarbart. Därmed bör en ett utbyte göras senast vid nästa revisionstillfälle. För att direkt utföra en uppgradering och för att uppnå nollresultat krävs ett restvärde på 17,2 miljoner NOK per omformare.

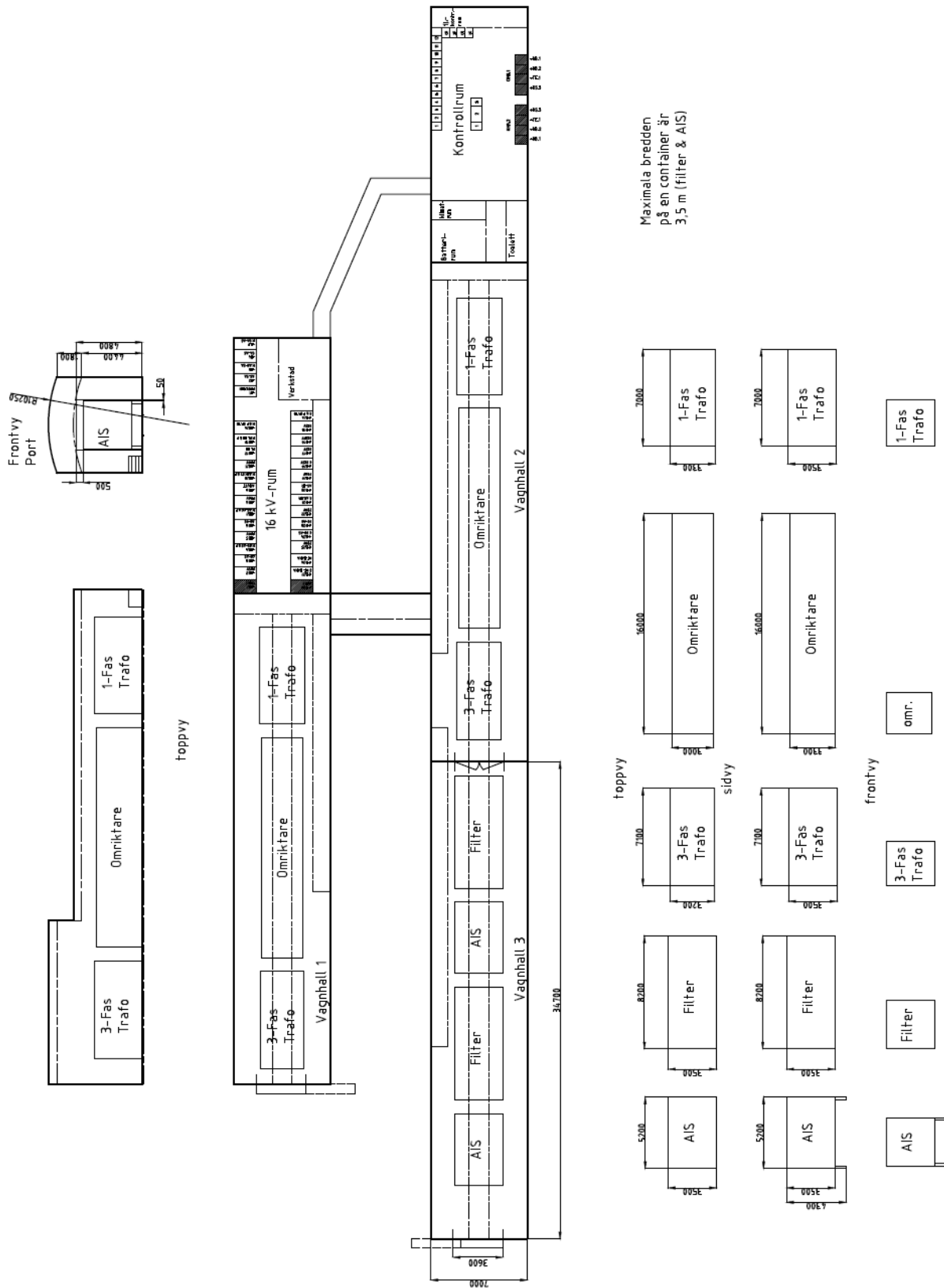
Författarna av denna rapport rekommenderar att utbyte sker omgående om ett restvärde på minst 17,2 miljoner NOK kan ansättas för respektive omformare. Alternativt om en större revision ligger inom snar framtid för omformarna.

Källförteckning

- [1] Jernbaneverket Region Sør, ”Planutredning for banestrømforsyning Asker - Kristianstad,” Jernbaneverket, Drammen, 1997.
- [2] Banverket, ”Allmän beskrivning av kraftförsörjningssystem för järnvägen i Sverige,” CBKE, 2004.
- [3] H. Eriksson, ”Tillvaratagande av förlustvärme från frekvensomformarstationer,” Umeå Universitet, Umeå, 2013.
- [4] S. m. f. Östlund, Elektrisk traktionsteknik, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan, 1996.
- [5] Öresundståg, ”Fakta & siffror om Öresundstågen,” [Online]. Available: <http://www.oresundstag.se/sv/Om-oss/Oresundstagen/Fakta--Siffror/>. [Använd 28 December 2013].
- [6] N. Fransson, Interviewee, *Roterande Omformare och Statiska Omriktare*. [Intervju]. 13 December 2013.
- [7] F. Martinsen, Interviewee, *TracFeed-Simulering av Oslo tågtrafik*. [Intervju]. 18 November 2013.
- [8] T. Dahlin, Interviewee, *Modulkonstruktion av mobil omriktare*. [Intervju]. December 2013.
- [9] N. Fransson, ”LCC Omformare [Version 0.6, EJ FASTSTÄLLT DOKUMENT],” Trafikverket, Borlänge, 2012.
- [10] M. Björklund och U. Paulsson, Seminarieboken - att skriva, presentera och opponera, Lund: Studentlitteratur AB, 2003.
- [11] Manitoba HVDC Research Centre, ”SIMPOW - Power-flow analysis module,” Manitoba, 27 11 2013. [Online]. Available: <http://simpow.com/powerFlow.html>.
- [12] F. Gauffin, ”Evaluation of Weak Relations in TracFeed,” Kungliga Tekniska Högskolan, Västerås, 2008.
- [13] P.-H. Skärvad och O. Jan, Företagsekonomi 100, Malmö: Liber AB, 1993.
- [14] F. Flåtsund, Interviewee, *Information om befintlig anläggning*. [Intervju]. 25 November 2013.
- [15] R. Lundberg, Lärobok i Elektroteknik, Stockholm: Svenska Tryckeriaktiebolaget, 1959.
- [16] S. Bratt, ”Ombyggd omformare effektivare och driftsäkrare,” i *Trafik*, p. 11, 2011.
- [17] S. Karlsson, Interviewee, *Omformar- och omriktarteori*. [Intervju]. 13 November 2013.
- [18] N. Biedermann, ”Kriterier för spänningen i banmatningsnät,” Kungliga Tekniska Högskolan, KTH, Stockholm, 2010.
- [19] L.-G. Hedin, ”Frekvensomriktare kan installeras utan problem,” *Elinstallatören Nummer 4*, 2010.
- [20] A. Sugulle, ”EMC problematik och el-kvalitet i elkraftnät,” Växjö Univeristet, Växjö, 2006.
- [21] ABB, ”Technical guide No.6, Guide to harmonics with AC drives,” 2011.
- [22] J. Moron, ”Filterteori, Resonansproblem hjälpmedel för filterdimensionering,” ASEA KABEL, 1983.

- [23] Bane Energi, *Koblingskjema Asker Omformarstation, teckningsnummer E-111 529*, Jernbaneverket.
- [24] Jernbaneverket, *Teknisk beskrivning Mobil omformerenhet*, 2011.
- [25] ABB, *Rail-Converter-Container, Outline Drawing - ritningsnummer 3BHE039194_E01*, Balfour Beatty Rail, 2012.
- [26] *Filter Container, Layout Bygning - ritningsnummer BE-129 114*, Jernbaneverket, 2013.
- [27] Balfour Beatty Rail, *12/24kV ställverkscontainer - ritningsnummer BE-132209*, Västerås: Jernbaneverket, 2013.
- [28] JACO, *15kV og hjelpkraft container - ritningsnummer BE-129 110*, Jernbaneverket, 2013.
- [29] ABB, *Transformator 3-fase, måltegnning - ritningsnummer STY-600206*, Jernbaneverket, 2013.
- [30] ABB, *Technical specification, three phase transformer*, ABB, 2011.
- [31] ABB, *Transformator 1-fase, Transport tegning - ritningsnummer BE 128 041*, Jernbaneverket, 2012.
- [32] GreenCargo, "Green Cargos vagnbok," Green Cargo AB, 2010. [Online]. Available: <http://www.greencargo.com/sv/Godsvagnar/Start/Oversikt/>. [Använd 12 December 2013].
- [33] Svensk Elstandard, SEK, "Starkströmsanläggningar med nominell spänning överstigande 1 kV AC," SIS Förlag AB, Stockholm, 2004.
- [34] Green Cargo AB, "Lastprofiler," 2010. [Online]. Available: <http://www.greencargo.com/sv/Godsvagnar/Start/Lastprofiler/>. [Använd 7 Januari 2014].
- [35] H. Dahlkvist, "Beslut om avvikelsemeddelande 1, järnvägsnätsbeskrivning 2013," Trafikverket, 2012.
- [36] Prysmian Cables and Systems, "Protolon NMTCGW0EU," Prysmian, 2008.
- [37] Norsk Elektroteknisk Komite, "NORSKE NORMER FOR KRAFTKABLER," Pronorm AS, Lysaker, 1975.
- [38] J. Andreassen, Interviewee, *Jernbaneverkets nyckeltal*. [Intervju]. 07 December 2013.
- [39] U. Urbanek, Interviewee, *Kostnader för mobil omriktare*. [Intervju]. 05 December 2013.

A. Skiss av planerad uppställning med omriktare



B. Beräkningar för kabelförband istället för skenförband

Detta är ett utdrag ur Balfour Beatty Rail ABs dimensionering av kraftkabel för mobila omriktare skapad av Bo Gustavsson för Jernbaneverket. Denna rapport är ej ännu färdigställd utan fortfarande under utvecklingsfas.

Kabelval 3-fas transformator till omriktare (ersätter skenförband)

- **Korrektionsfaktor** Korrektion med avseende på förläggning behövs inte, enligt NEN62.75 tab 4.4.4, om förläggning sker enligt ovan. Korrektion för omgivningstemperatur +30°C
(max temp för full prestanda) ger enligt NEN62.75 tab 4.3 ger vid 90°C ledartemp:
0,95
strömförträngning övertoner **0,75**
2 ledare i grupp istället för normen 3:
enligt SS424 14 24 utgåva 6 §A4 korrektionsfaktor = $1/\sqrt{n}/3 = \sqrt{3}/\sqrt{n}$
där n är antal belastade ledare i grupp; med 2 belastade ledare;
korrektion $\sqrt{3}/\sqrt{2} =$ **1,22**

Kabelval Fas: 3 // 1x240/25 mm² Cu (Um=6/10kV)

Kabelval 33 Hz reaktor

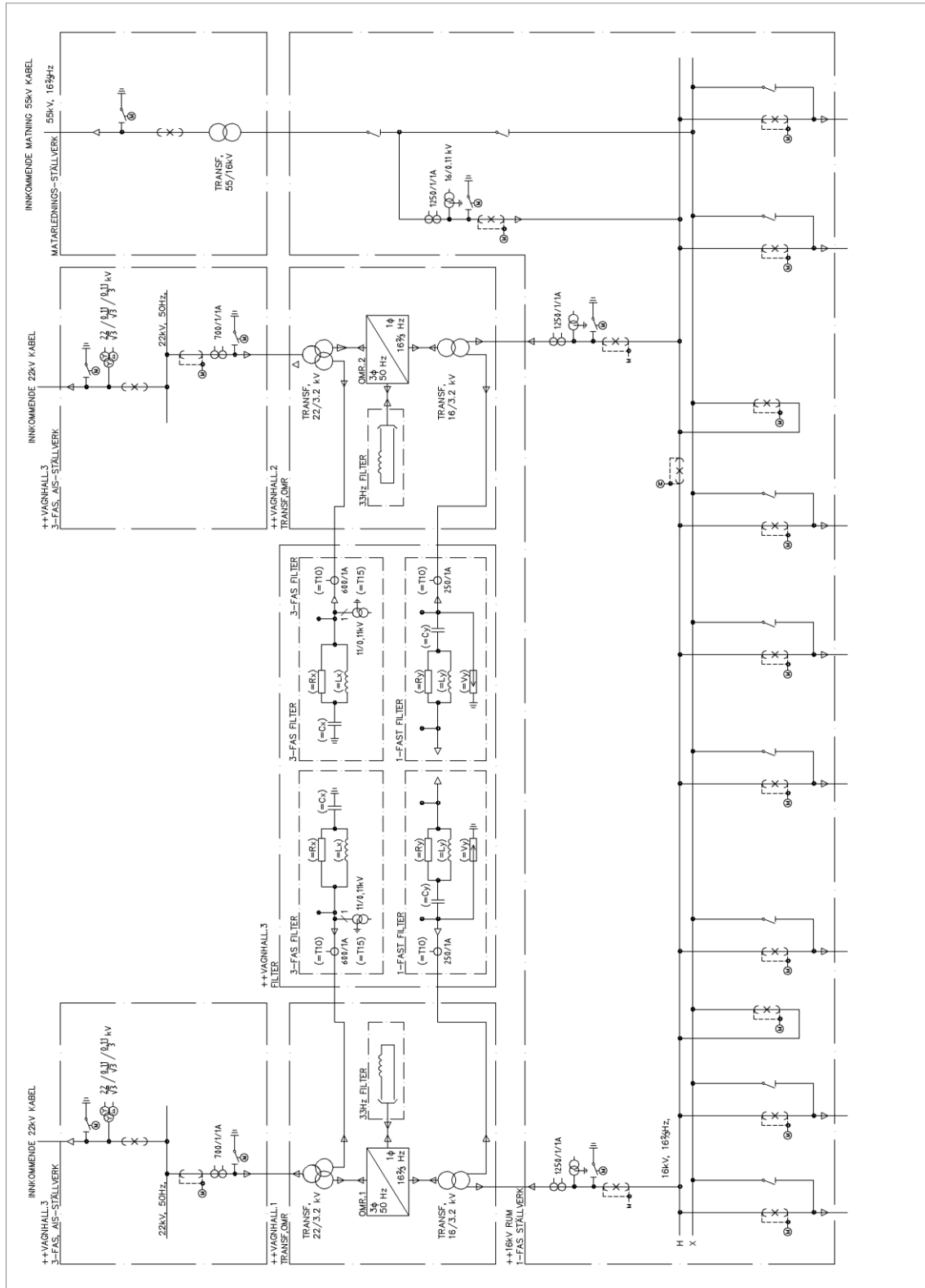
- **Korrektionsfaktor** Korrektion med avseende på förläggning behövs inte, enligt NEN62.75 tab 4.4.4, om förläggning sker enligt ovan. Korrektion för omgivningstemperatur +30°C
(max temp för full prestanda) ger enligt NEN62.75 tab 4.3 ger vid 90°C ledartemp:
0,95
2 ledare i grupp istället för normen 3:
enligt SS424 14 24 utgåva 6 §A4 korrektionsfaktor = $1/\sqrt{n}/3 = \sqrt{3}/\sqrt{n}$
där n är antal belastade ledare i grupp; med 2 belastade ledare;
korrektion $\sqrt{3}/\sqrt{2} =$ **1,22**

- **Kabelval 33 Hz:** 3 // 1x240/25 mm² Cu (Um=6/10kV)

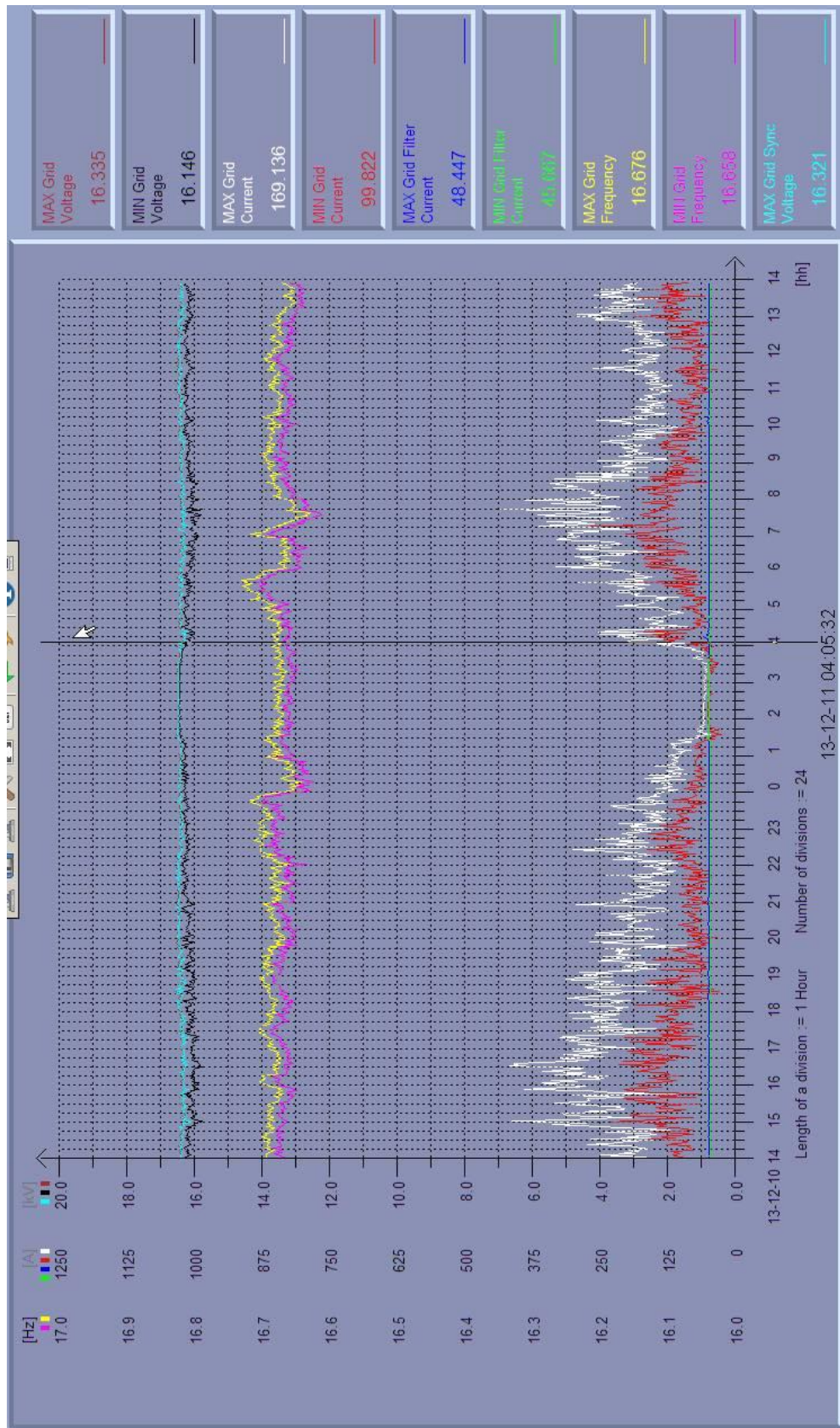
Kabelval 1-fas transformator till omformare (ersätter skenförband)

- **Korrektionsfaktor** Korrektion med avseende på förläggning behövs inte, enligt NEN62.75 tab 4.4.4, om förläggning sker enligt ovan. Korrektion för omgivningstemperatur +30°C
(max temp för full prestanda) ger enligt NEN62.75 tab 4.3 ger vid 90°C ledartemp:
0,95
2 ledare i grupp istället för normen 3:
enligt SS424 14 24 utgåva 6 §A4 korrektionsfaktor = $1/\sqrt{n}/3 = \sqrt{3}/\sqrt{n}$
där n är antal belastade ledare i grupp; med 2 belastade ledare;
korrektion $\sqrt{3}/\sqrt{2} =$ **1,22**
- **Kabelval Fas:** 2 // 1x240/25 mm² Cu (Um=6/10kV)

C. Enlinjeschema över Asker station med omriktare installerade



D. Holmlia omriktare, dygnsövervakning



E. LCC-kalkyler för mobila roterande omformare och mobila statiska omriktare

LCC omf. Jfr. omr.			Färgkodning:	
Kostnader i tnok [1000*NOK]			Inskriven	
			Beräknad	
			Differens mellan nytt och gammalt	
Kalkylränta:	4,50%			
Kalkylperiod [år]:	25			
Kostnad/kWh [øre]:	32,9			
Befintlig omformarstation				
		Kommentarer		
Investeringskostnad	0			
Underhåll/år	232	3 * 77 425		
Underhållskostnad NV	3444			
Förluster [kWh/år]	7562265			
Förlustkostnad/år	2488			
Förlustkostnad NV	36892			
Restvärde	0			
Restvärde NV	0		Revisionsår (0-25):	Revisionskostnad, NV
Övriga kostnader:	15000	Rev. 1 omf	20	6220
	15000	Rev. 1 omf	20	6220
	15000	Rev. 1 omf	20	6220
				0
				0
				0
				0
Total nuvärdeskostnad:	58996			
Planerad omriktarstation		Kommentarer		
Investeringskostnad	90000	2 * 45 MNOK		
Underhåll/år	306	2 * 153 120		
Underhållskostnad NV	4541			
Förluster [kWh/år]	1736675			
Förlustkostnad/år	571			
Förlustkostnad NV	8472			
Restvärde	33700			
Restvärde NV	11213		Revisionsår (0-25):	Revisionskostnad, NV
Övriga kostnader:	15000	Rev. 1 omr	25	4991
	15000	Rev. 1 omr	25	4991
	1400	Statuskontroll 2 omr	15	723
	8000	Projektomkostnader	0	8000
				0
				0
				0
Total nuvärdeskostnad:	110506			
Nuvärdeskostnad nytt-gammalt:	51510			

Figur B-1: Nuvärdeskalkyl då inget restvärde av roterande omformare antagits.

Utbyte av mobil roterande omformare till statisk omriktare med mobilt utförande i Asker
En förstudie

LCC omf. Jfr. omr.			Färgkodning:	
Kostnader i tnok [1000*NOK]			Inskrivet	
			Beräknad	
Kalkylränta:	4,50%		Differens mellan nytt och gammalt	
Kalkylperiod [år]:	25			
Kostnad/kWh [øre]:	32,9			
Befintlig omformarstation				
		Kommentarer		
Investeringskostnad	0			
Underhåll/år	232	3 * 77 425		
Underhållskostnad NV	3444			
Förluster [kWh/år]	7562265			
Förlustkostnad/år	2488			
Förlustkostnad NV	36892			
Restvärde	0			
Restvärde NV	0		Revisionsår (0-25):	Revisionskostnad, NV
Övriga kostnader:	15000	Rev. 1 omf	20	6220
	15000	Rev. 1 omf	20	6220
	15000	Rev. 1 omf	20	6220
				0
				0
				0
				0
Total nuvärdeskostnad:	58996			
Planerad omriktarstation				
		Kommentarer		
		2 * 45 MNOK -		
Investeringskostnad	-27000	Restvärde för Omf.		
Underhåll/år	306	2 *153 120		
Underhållskostnad NV	4541			
Förluster [kWh/år]	1736675			
Förlustkostnad/år	571			
Förlustkostnad NV	8472			
Restvärde	33700			
Restvärde NV	11213		Utförandeår (0-25)	Revisionskostnad, NV
Övriga kostnader:	15000	Rev. 1 omr	25	4991
	15000	Rev. 1 omr	25	4991
	1400	Statuskontroll 2 omr	15	723
	8000	Projektomkostnader	0	8000
				0
				0
				0
Total nuvärdeskostnad:	-6494			
Differens ombyggnad:	-65490			

Figur B-2: Nuvärdeskalkyl då restvärde av roterande omformare antagits.